

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL**

**ATRIBUTOS DO SOLO EM FUNÇÃO DE TRATOS
CULTURAIS EM LAVOURAS DE CAFEEIRO
CONILON NO SUL DO ESTADO DO ESPÍRITO
SANTO**

TEÓPHILO ANDRÉ MARETTO EFFGEN

**ALEGRE
ESPÍRITO SANTO - BRASIL
FEVEREIRO – 2006**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL**

**ATRIBUTOS DO SOLO EM FUNÇÃO DE TRATOS
CULTURAIS EM LAVOURAS DE CAFEIEIRO
CONILON NO SUL DO ESTADO DO ESPÍRITO
SANTO**

TEÓPHILO ANDRÉ MARETTO EFFGEN

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Orientador:

Prof. Dr Renato Ribeiro Passos -- CCA-UFES

Co-orientadores:

Prof. Dr. Elias Nascentes Borges -- ICIAG-UFU

Prof. Dr. Julião Soares de Souza Lima -- CCA-UFES

**ALEGRE
ESPÍRITO SANTO - BRASIL
FEVEREIRO – 2006**

ATRIBUTOS DO SOLO EM FUNÇÃO DE TRATOS CULTURAIS EM LAVOURAS DE CAFEIEIRO CONILON NO SUL DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO

TEÓFILO ANDRÉ MARETTO EFFGEN

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Aprovada em: 22 de fevereiro de 2006

Prof. Dr. Edvaldo Fialho dos Reis
Universidade Federal do Espírito Santo

Pesq. Dr. Luiz Carlos Prezotti
Instituto Capixaba de Pesquisa,
Assistência e Extensão Rural

Prof. Dr. Elias Nascentes Borges
Universidade Federal de Uberlândia
(Co-orientador)

Prof. Dr. Julião Soares de Souza Lima
Universidade Federal do Espírito Santo
(Co-orientador)

Prof. Dr. Renato Ribeiro Passos
Universidade Federal do Espírito Santo
(Orientador)

Aos meus pais

Anselmo Effgen (*in memoriam*)

e

Julia Alodia Maretto Effgen

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus.

À Universidade Federal do Espírito Santo, pela oportunidade para realizar o curso.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa.

À minha mãe Julia, maior incentivadora e aos meus irmãos.

Ao professor Renato Ribeiro Passos, grande e verdadeiro mestre, pela orientação e conhecimentos transmitidos, pelas responsabilidades concedidas, sugestões e incentivos, pela amizade e paciência, essenciais para a boa condução deste trabalho, o meu muito obrigado.

Aos professores Julião S. de S. Lima, Edvaldo F. dos Reis e Sebastião M. Filho, pela amizade, orientação, sugestões e ajuda nas análises estatísticas.

Ao professor José Francisco T. do Amaral, pela amizade, pelos sábios conselhos tanto na graduação como na Pós.

Aos professores Adilson Caten, Edvaldo F. dos Reis e José Augusto T. do Amaral, pela disponibilidade de laboratórios e equipamentos.

Ao professor Elias N. Borges, da Universidade Federal de Uberlândia, pela co-orientação, sugestões e participação na defesa da dissertação.

Ao pesquisador Luiz C. Prezotti, do Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência e Extensão Rural (INCAPER), pela participação na defesa da dissertação e sugestões apresentadas.

Aos demais professores do Centro de Ciências Agrárias e da Pós-Graduação em Produção Vegetal que participaram da minha formação acadêmica.

Aos colegas de mestrado Adriano, Fabrício, Fernando, Izaias, José Arcanjo, Omar, Pedro, Renata, Roni, Prof. Rosembergue, Sandro, Vitor e aos demais que não foram citados, mas importantes, pela prazerosa convivência.

Aos colegas Maria Christina e Marcos (Tuim), pela valorosa e preciosa ajuda, companhia e sugestões nas atividades de laboratório durante as etapas do curso, mesmo nos finais de semana. A vocês, o meu muito obrigado.

À Jamile, pelo carinho e paciente espera.

Aos colegas Carlos Eduardo, Fabrício (Ta osso), Francisco Augusto (Cirilo), Giovani, Gustavo, Justino, Leandro Pires, Michel, Paulo César e Ramom, sempre pude contar com a ajuda de vocês desde a graduação.

Aos alunos de graduação Cínthia, Emanuel, Rafael, Rogério e Willian, pela ajuda nas amostragens de campo e análises de laboratório.

Aos laboratoristas Alessandro, Marcelo e Ronaldo Maraboti do Laboratório de Fertilidade dos Solos, Silvio do Laboratório de Fisiologia Vegetal e Nutrição Mineral de Plantas, Joceli e Luiz do Laboratório de Recursos Hídricos pela colaboração na execução das análises físicas e químicas, e que com muita dedicação e simplicidade me ensinaram a trabalhar em um laboratório.

Aos funcionários Paulinho e Tulli.

Aos funcionários da Biblioteca Setorial de Ciências Agrárias.

A todos os amigos de Jerônimo Monteiro - ES e a galera da pelada “Os Intocáveis”, pelos momentos de descontração.

Aos senhores Adomar Dardengo, Lídio Portela e em especial ao Sebastião Fosse (Batok), por gentilmente permitirem a realização dos estudos em suas lavouras de café conilon, como também por toda informação e ajuda prestada durante os períodos de amostragem.

Aos todos os professores, que desde o primário, contribuíram para minha formação.

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

BIOGRAFIA

TEÓPHILO ANDRÉ MARETTO EFFGEN, filho de Anselmo Effgen e Julia Alodia Maretto Effgen, nasceu em 03 de maio de 1979, no município de Alegre, Estado do Espírito Santo.

Formou-se em Técnico de Estradas, em 1997, pela Escola Técnica Federal do Espírito Santo.

Trabalhou na iniciativa privada durante os anos de 1997 e 1998, executando serviços na área de topografia.

Em março de 1999, ingressou no curso de Agronomia, na Universidade Federal do Espírito Santo, diplomando-se Engenheiro Agrônomo em maio de 2004.

No período de fevereiro de 2001 a dezembro de 2002, fez o curso de Técnico em Informática pela Escola Agrotécnica Federal de Alegre.

Iniciou o curso de Mestrado em Produção Vegetal, em março de 2004, na Universidade Federal do Espírito Santo.

CONTEÚDO

RESUMO GERAL.....	viii
GENERAL ABSTRACT.....	x
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	01
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	02
2.1. Cultura do café.....	02
2.2. Atributos físicos do solo.....	03
2.3. Atributos químicos do solo.....	10
3. REFERÊNCIAS.....	14
4. CAPÍTULO 1 - ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO EM FUNÇÃO DE TRATOS CULTURAIS EM LAVOURAS DE CAFEEIRO CONILON NO SUL DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO.....	22
RESUMO.....	23
ABSTRACT.....	24
4.1. INTRODUÇÃO.....	25
4.2. MATERIAL E MÉTODOS.....	26
4.2.1. Escolha das áreas.....	26
4.2.2. Histórico das áreas.....	29
4.2.3. Amostragem de solo.....	30
4.2.4. Atributos físicos de solos avaliados.....	31
4.2.5. Análises estatísticas.....	35
4.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36
4.3.1. Textura ou Granulometria.....	36
4.3.2. Densidade do solo, Porosidade total, Macroporosidade e Microporosidade.....	42

4.3.3. Resistência do solo à penetração.....	48
4.3.4. Argila dispersa em água e Grau de flocculação.....	51
4.4. CONCLUSÕES.....	54
4.5. REFERÊNCIAS.....	55
5. CAPÍTULO 2 - ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E PRODUTIVIDADE DE LAVOURAS EM FUNÇÃO DE TRATOS CULTURAIS EM LAVOURAS DE CAFEIEIRO CONILON NO SUL DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO.....	60
RESUMO.....	61
ABSTRACT.....	62
5.1. INTRODUÇÃO.....	63
5.2. MATERIAL E MÉTODOS.....	64
5.2.1. Atributos químicos de solos avaliados.....	64
5.2.2. Produtividade da lavoura cafeeira.....	67
5.2.3. Análises estatísticas.....	67
5.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	68
5.3.1. pH em água (pH), alumínio trocável (Al), acidez potencial (H + Al), saturação por bases (V) e CTC potencial (CTC).....	68
5.3.2. Cálcio (Ca) e magnésio (Mg).....	73
5.3.3. Fósforo (P) e potássio (K).....	77
5.3.4. Carbono orgânico total (COT).....	80
5.3.5. Produtividade do cafeeiro.....	83
5.4. CONCLUSÕES.....	86
5.5. REFERÊNCIAS.....	87
6. CONCLUSÕES GERAIS.....	91

RESUMO GERAL

EFFGEN, Teóphilo André Maretto, M. Sc., Universidade Federal do Espírito Santo, Fevereiro de 2006. **Atributos do solo em função de tratos culturais em lavouras de cafeeiro conilon no Sul do Estado do Espírito Santo.** Orientador: Prof. Dr. Renato Ribeiro Passos. Co-orientadores: Prof. Dr. Elias Nascentes Borges; Prof. Dr. Julião Soares de Souza Lima.

O trabalho teve como objetivo avaliar, em diferentes sítios de amostragem, os atributos de solos cultivados com lavouras cafeeiras sob distintos tratos culturais no Sul do Estado do Espírito Santo. Foram realizadas amostragens nas profundidades de 0,00 - 0,20 m e 0,20 - 0,40 m, na parte superior da projeção da “saia” do cafeeiro, em relação ao sentido de declive do terreno. Foram utilizadas, para o estudo, lavouras, representativas da região Sul do Estado Espírito Santo, apresentando a mesma unidade de solo (Latosolo Vermelho-Amarelo distrófico, relevo forte ondulado), tendo os seguintes tratos culturais: M1 - irrigação por gotejamento, calagem a cada dois anos, adubação, roçadas e uso da palha de café; M2 - adubação, roçadas e capinas; e M3 - capinas e roçadas. Dentro de cada trato também foram avaliadas os seguintes sítios de amostragem: TS - terço superior, TM - terço médio; e TI - terço inferior, ao longo do declive. As variáveis em estudo foram analisadas considerando-se o delineamento inteiramente casualizado em esquema de parcelas subdivididas, com cinco repetições. Os dados experimentais foram submetidos à análise de variância e, posteriormente, aplicação do teste de Tukey a 5%, para comparação entre as médias. Os resultados demonstram que a maioria dos atributos dos solos estudados foi influenciada pelo trato cultural e sítio de amostragem, apresentando-se como importantes indicadores de mudanças na

qualidade do solo. As práticas de adubação e calagem, associadas aos tratos, promoveram efeitos nos atributos do solo, principalmente nos químicos. As análises física e química, para avaliação das reais condições dos solos cultivados com cafeeiro conilon, são práticas muito importantes visando à utilização racional e equilibrada de calcário e adubos. A divisão das áreas em segmentos (terço superior, médio e inferior) faz-se necessária, para avaliação de atributos do solo em condições de relevo forte ondulado, em função das diferenças associadas aos solos, existentes ao longo do declive. A melhoria das condições dos solos cultivados com lavouras cafeeiras e, conseqüentemente, da produtividade da cultura está associada à utilização de práticas de manejo conservacionistas, principalmente quando se trata de áreas declivosas, como a região do Sul do Estado do Espírito Santo.

Palavras-chave: propriedades do solo, manejo do solo, café, *Coffea canephora*

GENERAL ABSTRACT

EFFGEN, Teóphilo André Maretto, M. Sc., Universidade Federal do Espírito Santo, February of 2006. **Soil attributes in function of management in crops of conilon coffee in the South of the Espírito Santo State.** Advisor: Prof. Dr. Renato Ribeiro Passos. Co-advisors: Prof. Dr. Elias Nascentes Borges; Prof. Dr. Julião Soares de Souza Lima.

The work had as objective to evaluate, in different sampling site, the attributes of soils cultivated with conilon coffee trees crops under different management in the South of Espírito Santo State. Soil samplings were taken in the depths of 0.00 – 0.20 m and 0.20 – 0.40 m at the upper side of the canopy projection of the coffee plants, in relation to the land slope (down hill). It was used in this study representative crops of the South of the Espírito Santo State, which have the same soil unit (Haplustox, mountainous fort), with the following management: M1 - irrigation for leak, liming of each two years, manuring, cleared and use of the coffee straw; M2 - manuring, cleared and weedings; M3 - weedings and cleared. Within of each management it was also evaluated the following soil sampling sites: UT - upper third, MT - medium third; LT - lower third, along to the slope (down hill). The variables were analyzed considering the randomized completely design, using the split-plot scheme, with five repetitions. The experimental data were submitted to the variance analysis and thereafter the test of Tukey (5%), for data means comparison, was applied. The results demonstrated that most of the attributes of the studied soils was influenced by the management and sampling site, showing to be an important indicator of changes in the quality of the soil. The manuring practices and liming, associated to the management, promoted effects in the attributes of the soil, mainly in the chemical

ones. The physics and chemical analyses of the soils, for evaluation of the real conditions of the soils cultivated with conilon coffee trees are procedures very important to the rational use of balanced limestone and fertilizers. For evaluation of attributes of the soil, in conditions of wavy and mountainous strong relief, it is necessary the division of the areas in parts (upper, medium and lower third), in function to the differences associated to the soils, which exist along the slope. The improvement of the conditions of the soils cultivated with coffee crops and, consequently, of the yield of the coffee crop it is associated to the use of practices of management conservationists, mainly in places with high slopes as is the case of South of Espirito Santo State.

Key words: soil properties, soil management, coffee, *Coffea canephora*

1. INTRODUÇÃO GERAL

Os solos agrícolas estão sujeitos a modificações em seus atributos físicos e químicos de acordo com o tipo de uso e sistemas de manejo adotados. Se o solo fica degradado, mais recursos em termos de tempo, dinheiro e energia serão gastos para produzir mais alimentos, logo os objetivos de sustentabilidade na agricultura não são alcançados. Por outro lado, se a degradação do solo é revertida e a qualidade do solo é mantida ou melhorada, pela utilização de métodos de manejo adequados, a sustentabilidade da agricultura pode ser uma realidade. Logo, entender e conhecer a qualidade do solo é imprescindível à definição de estratégias para um manejo sustentável sem comprometer sua qualidade no futuro.

O sucesso do agronegócio do café está condicionado à utilização racional dos diversos fatores de produção que atuam sobre os atributos do solo e da planta. Estas alterações são referentes às condições químicas, físicas e biológicas, que ocorrem quando o manejo é inadequado.

Apesar do cultivo do café conilon contribuir para a sustentabilidade econômica e social do Estado do Espírito Santo, as pesquisas envolvendo o estudo de solos cultivados com lavouras cafeeiras para as condições ecológicas do Sul do Estado são escassas. Considerando o solo como um fator importante de produção, pode-se justificar, em parte, que as produções obtidas estão aquém do total de seu potencial de crescimento reprodutivo. Dentro desse contexto, o conhecimento dos atributos do solo, como densidade do solo, porosidade, estrutura, textura, argila dispersa em água, matéria orgânica do solo, presença de nutrientes e elementos tóxicos, possibilitará melhor exploração agrícola, resultando em maior produtividade do cafeeiro, aliada à conservação do solo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Cultura do Café

Devido a suas características peculiares de relevo e clima, o Estado do Espírito Santo caracteriza-se por apresentar um quadro natural diversificado com diferentes ambientes climáticos, o que permite o cultivo de várias espécies de interesse econômico, como também o emprego de diversas formas de manejo para uma mesma cultura.

Dentre as diversas culturas implantadas no Espírito Santo, o café merece destaque especial dada a sua importância econômica e social. Devido às safras de café conilon e arábica, o Estado encontra-se em segunda posição no ranking nacional de produção de café, merecendo destaque para a cultura do café conilon, que deixa o estado na vanguarda de maior produtor dessa espécie.

O cultivo dessa espécie de café concentrou-se inicialmente nas regiões Norte e Baixo Rio Doce (PAULINO et al., 1987), expandindo-se posteriormente para as áreas litorâneas (MATIELLO & FLORENCE, 1987), bem como para outras regiões igualmente quentes e de baixas altitudes ao Sul do Estado (PAULINO et al., 1987). A ocupação do solo para implantação da lavoura cafeeira ocorreu de forma predatória, utilizando algumas áreas impróprias para o cultivo e sem o uso de práticas de manejo adequadas, que provocaram o empobrecimento do solo (DADALTO et al., 1995).

A cafeicultura e as atividades dela resultantes geram nos variados setores divisas e empregos de forma significativa, fixa o homem no campo, promove melhor a interiorização e contribui para o desenvolvimento econômico e social nas propriedades, regiões e país. No Espírito Santo, a produção do café conilon ocorre,

em sua maioria, em propriedades de agricultura familiar (MATIELLO, 1998), estando hoje, presente em mais de 35 mil propriedades do Estado (FERRÃO et al., 2004).

O Sul do Estado do Espírito Santo compreende principalmente uma região acidentada e heterogênea nos aspectos de geologia, solos e regime pluviométrico, resultando em uma enorme diversidade de ambientes (LANI, 1987). É caracterizado por apresentar variação climática, principalmente no sentido leste-oeste, ou seja, de baixa altitude (áreas litorâneas) para altitudes elevadas (áreas serranas) (SANTOS, 1999), sendo compreendido pelos municípios: Alegre, Apiacá, Atílio Vivacqua, Bom Jesus do Norte, Cachoeiro de Itapemirim, Castelo, Divino São Lourenço, Dolores do Rio Preto, Guaçuí, Ibatiba, Ibitirama, Irupi, Itapemirim, Luna, Jerônimo Monteiro, Marataízes, Mimoso do Sul, Muqui, Muniz Freire, Presidente Kennedy, São José do Calçado e Vargem Alta (DADALTO & BARBOSA, 1997). De acordo com o zoneamento agroecológico proposto por Dadalto & Barbosa (1997), o cafeeiro conilon pode ser cultivado, na região Sul, em 40,07% de sua área total, sendo em sua maioria locais de expressiva declividade.

O cultivo de café conilon possui enorme importância econômica e social para o Estado do Espírito Santo. Entretanto, as pesquisas envolvendo o estudo de solos cultivados com lavouras cafeeiras para as condições ecológicas do Sul do Estado ainda são escassas. Segundo Ferrão et al. (2004), a produtividade média de café conilon no Espírito Santo é de 22,5 sacas beneficiadas por hectare, apresentando a região Sul do Estado, produtividade abaixo da média estadual (INCAPER, 2005).

2.2. Atributos físicos do solo

Os atributos do solo são dinâmicos e estão sujeitos a alterações de acordo com o manejo adotado. A determinação dos atributos físicos do solo, quando realizada de forma adequada, possibilita melhor utilização agrícola. Dentre os atributos físicos que estão relacionados com a capacidade da planta em absorver água, nutrientes e ar do solo, encontram-se o estado de compactação do solo, a macroporosidade e microporosidade, a densidade do solo, a estrutura e a textura do solo.

Os latossolos são considerados solos possuidores de boas propriedades físicas (LEPSCH, 1993; RESENDE et al., 2002). Entretanto, em localidades de

declive acentuado e chuvas torrenciais esse tipo de solo necessita de cuidados especiais (BRADY, 1989), devendo-se observar o relevo, sendo que este condiciona o fluxo de água em superfície e subsuperfície (SOUZA et al., 2003) e, principalmente, quando o solo é colocado em produção, como na condução de lavouras. Segundo Dadalto et al. (1995), o Latossolo Vermelho-Amarelo está concentrado na região Sul do Estado do Espírito Santo.

A textura do solo refere-se às proporções relativas das partículas de variados tamanhos que ocorrem em um determinado solo. Este atributo físico do solo ajuda a determinar maior ou menor capacidade de disponibilidade de nutrientes, água e ar para as plantas (GAVANDE, 1972; BRADY, 1989). Carvalho Júnior (1995) relata a importância da distribuição quanto à granulometria para ditar o comportamento dos solos em relação à formação das camadas compactas e/ou adensadas. Resende et al. (2002) relatam que altos teores de silte e areia fina podem favorecer o encrostamento do solo. Este atributo físico possui estreita correlação com outros atributos do solo (GAVANDE, 1972). Segundo Matiello et al. (2002), as partículas finas (argila e silte) possuem grande importância na retenção de água e nutrientes. Reichardt & Timm (2004) afirmam que a argila é a fração do solo que mais decisivamente determina o comportamento físico dos solos. Segundo Ferrão et al. (2004), grande parte das regiões aptas para café conilon, no Estado do Espírito Santo, apresenta textura arenosa, e está localizada em áreas de expressiva declividade.

A granulometria do solo também tem influência nas perdas de nutrientes por lixiviação, sendo maior em solos de textura grosseira em comparação aos solos de textura argilosa (GAVANDE, 1972). Segundo Toledo et al. (1996), lavouras cafeeiras, quando capinadas de forma intensiva, mantêm a superfície do terreno descoberta, aumentando o transporte de partículas do solo. Deve-se, também, ressaltar a importância da topografia do terreno, o comprimento da rampa e a declividade, que podem aumentar consideravelmente o volume de água, devido ao escoamento superficial. Nesta situação, a não utilização de práticas conservacionistas facilita o arraste de partículas e nutrientes do solo (FERRÃO et al., 2004).

Grohmann (1960) afirma que solos com elevados teores de argila apresentam também elevada porosidade. Contudo, Guimarães e Lopes (1986) comentam que solos de textura média são melhores para o desenvolvimento das

raízes das plantas. Entretanto, solos excessivamente argilosos dificultam o desenvolvimento das raízes do cafeeiro (MATIELLO et al., 2002).

A retirada das frações argila e silte do solo pode ocorrer devido à percolação de água no perfil, colocando essas partículas em suspensão e arrastando-as. Segundo Basic et al (2002), a erosão do solo não retira igualmente todas as partículas do solo, sendo seletiva, retirando primeiramente as partículas mais leves que serão carregadas ao longo do declive. Segundo Soares et al. (2005), a argila pode translocar-se lateralmente, ao longo da vertente, acumulando-se principalmente nas partes mais baixas do relevo.

Dentre os atributos do solo, a textura é um dos que dificilmente sofrem alteração (GAVANDE, 1972; BRADY, 1989; REICHARDT, 1990; RESENDE et al., 2002; REICHARDT & TIMM, 2004).

A densidade do solo é definida como: relação entre a massa de solos secos e o volume total de sólidos de um solo em condições naturais e de campo. A densidade do solo pode apresentar valores variáveis para um mesmo solo, sendo influenciada diretamente, nas camadas superficiais, pelo tipo de manejo adotado (BRADY, 1989), podendo ser usada como medida quantitativa da compactação do solo (MANTOVANI, 1987; CAMARGO & ALLEONI, 1997).

O aumento na densidade do solo não é exclusivo de camadas de solos cultivados e com o uso intensivo de máquinas, pode ocorrer também em camadas sob vegetação natural (CARVALHO JÚNIOR, 1995), como também devido à dispersão das argilas (GAVANDE, 1972; GUIMARÃES & LOPES, 1986; CARVALHO JÚNIOR, 1995; NUNES, 2003). Jantsch et al. (1999) observaram que os solos de mesma classe situados em altitudes menores apresentam maior suscetibilidade ao adensamento, implicando no uso de um manejo diferenciado em relação aos localizados em maiores altitudes.

Gontijo (2003), ao trabalhar em solo sob cafeicultura, verificou que a densidade do solo variou conforme o manejo adotado, a época de avaliação e a profundidade de amostragem, sendo encontrado o maior valor para a densidade do solo na camada superficial, o que é corroborado por Alcântara (1997). Alcântara & Ferreira (2000) verificaram que a não intervenção antrópica (sem capinas) sobre o solo reduziu gradualmente os valores de densidade do solo ao longo de 18 anos sob o cultivo de café.

Por serem desprovidas de pelos radiculares, a raiz do cafeeiro é extremamente exigente em relação ao bom arejamento do solo e, portanto, dependente de sua textura, estrutura, quantidade e relação de macroporos e microporos dos solos (GUIMARÃES & LOPES, 1986). Plantas jovens de café conilon, provenientes tanto de estaquia ou de sementes, têm o comprimento das raízes reduzidos em solos com densidade superior a $1,08 \text{ kg dm}^{-3}$ (RENA & SILVEIRA, 2003). Contudo, Matiello et al. (2002) afirmam que, devido ao café robusta (conilon) apresentar raízes mais vigorosas, a densidade do solo crítica para este café está em torno de $1,45 \text{ kg dm}^{-3}$. Entretanto, as raízes de café robusta só não são capazes de romper solos com densidade acima de $1,80 \text{ kg dm}^{-3}$ (MATIELLO et al., 2002; RENA & SILVEIRA, 2003).

Rufino et al. (1985), ao avaliarem práticas de manejo e cobertura vegetal em lavouras de café, relatam a importância da cobertura vegetal devido a sua ação protetora ao solo. Segundo Matiello (1998), em cafezais mais novos, tem-se uma maior exposição do solo.

A compactação e/ou adensamento do solo tem sido um ponto desfavorável à agricultura. As camadas compactadas são consideradas um dos principais fatores de degradação do solo, haja vista que o aumento da densidade do solo restringe a infiltração de água, aumenta as taxas de erosão e reduz o desenvolvimento das culturas.

A estrutura é um dos principais atributos da qualidade do solo, tendo grande influência sobre o sistema poroso do solo. A porosidade total é formada por um arranjo poroso dos materiais sólidos que compõem o solo, e está relacionada com a aeração, o movimento e a retenção de água no solo (GAVANDE, 1972). É uma medida do espaço poroso do solo (REICHARDT & TIMM, 2004) disponível para o ar e a água (REICHARDT, 1990). Um solo ideal, segundo Jorge (1985) e Camargo & Alleoni (1997), deve apresentar 50% de volume de poros totais do solo. A porosidade total é variável em solos com mesma classe textural (RESENDE et al., 2002), umidade do solo e manejo adotado. Jorge (1985) e Brady (1989) relatam que a porosidade total dos solos arenosos está situada entre 35 a 50% e para os solos argilosos pode variar entre 40 e 60% do volume total, podendo ainda variar conforme a profundidade e as condições reinantes. Segundo Resende et al. (2002), solos argilosos apresentam maior microporosidade.

Quando o solo é colocado em produção, a porosidade total tende a sofrer alterações. Essas alterações, segundo Jorge (1985), ocorrem devido ao rearranjo ou movimentação das partículas sólidas e da fase líquida do solo tomando parte do espaço destinado à aeração e são dependentes das características de cada solo. Segundo Kutílek (2004), a destruição da estrutura do solo implica em mudanças da configuração do sistema poroso do solo.

Alcântara (1997), ao trabalhar em lavouras de café arábica, sob Latossolo Roxo, observou que a porosidade total do solo reduziu com o uso de implementos agrícolas e aumentou quando a lavoura não recebeu nenhum tipo de capina. Santos & Ribeiro (2000), ao estudarem um Latossolo Amarelo e um Argissolo Amarelo, notaram que a porosidade total do Argissolo Amarelo reduziu à medida que se intensificava o seu uso.

A formação da estrutura ou do arranjo espacial das partículas dá origem aos poros com importantes conseqüências para o comportamento físico do solo, tais como: percolação, difusão, resistência à penetração e penetração das raízes.

O arranjo estrutural do solo, a consistência, a porosidade total, o número e o tamanho dos poros e a difusão de gases são afetados pela compactação, que, por conseqüência, afeta o crescimento das raízes (TAYLOR & BRAR, 1991). À medida que se compacta um solo, observa-se um decréscimo na porosidade total (BORGES et al., 1999), na macroporosidade e aeração do solo. Grohmann (1975) afirma que qualquer alteração na estrutura original do solo seja pelo manejo incorreto durante uso agrícola, pisoteio de animais, ou qualquer outra força externa, irá provocar diminuição do espaço poroso, com surgimento de camada compactada.

A porosidade total do solo é composta por um arranjo de poros de vários tamanhos e formas sendo dividida em macroporos e microporos. Segundo Kiehl (1979) e Brady (1989), um solo ideal é aquele que possui 2/3 (66%) de microporos e 1/3 (34%) de macroporos do volume total de poros.

O aumento do conteúdo volumétrico de sólidos traduz-se em aumento da densidade do solo e drástica redução na macroporosidade, na quantidade de água prontamente disponível à planta e na aeração (ALVARENGA et al., 1996).

A compactação e/ou adensamento nas camadas superficiais de solos sob cultivo, caracterizada por elevados valores de densidade do solo, é comumente associada à redução da porosidade total e/ou da macroporosidade (SILVA et al., 1986; MANTOVANI, 1987; CAMARGO & ALLEONI, 1997; BORGES et al., 1999;

SANTOS & RIBEIRO, 2000; STONE & SILVEIRA, 2001), sendo também influenciada pela textura, pela estrutura, pela porosidade e pelo manejo do solo, apresentando-se bastante prejudicial, e em certos casos, restritiva ao cultivo do cafeeiro (MATIELLO et al., 2002).

Alcântara (1997), após estudar lavouras de café arábica, constatou que o aumento da matéria orgânica diminuiu a densidade do solo e aumentou a porosidade, criando assim melhores condições para o desenvolvimento da cultura. Alcântara & Ferreira (2000), estudando os efeitos de diferentes métodos de controle de plantas daninhas na cultura do café arábica, verificaram que capinas manuais e uso de herbicidas de pós-emergência mostraram-se eficientes na manutenção da qualidade física do solo.

Vomocil & Flocker (1966) e Kiehl (1979) consideram $0,1 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ como sendo o volume de macroporos que correspondem ao limite crítico necessário para manter as condições satisfatórias de trocas gasosas e drenagem. Já Alvarenga (1993), comenta que o espaço poroso de aeração (macroporosidade) não deve ficar aquém de 10 a 12% do volume do solo, para que o crescimento de raízes e de microrganismos não seja comprometido.

A macroporosidade tem importante papel em muitos fatores do solo, como o movimento de água e solutos (BOUMA, 1991). Assim, a conseqüente redução no espaço poroso, em decorrência da compactação, poderá ter importantes implicações no suprimento de oxigênio, disponibilidade de nutrientes e elementos em níveis tóxicos para plantas e microrganismos (RAIJ, 1987; BRADY, 1989; CARVALHO JÚNIOR, 1995).

A compactação do solo cria um ambiente desfavorável para o crescimento das plantas, associado com o aumento da resistência a penetração (GAVANDE, 1972; BUSSCHER et al., 1997). A resistência do solo à penetração das raízes é um dos atributos físicos do solo que influenciam diretamente o desenvolvimento das culturas, constituindo uma determinação importante, rápida e fácil, podendo ser utilizada para orientar o manejo e o controle da qualidade física do solo. Entretanto, alguns autores enfatizam a necessidade de levar em consideração a umidade do solo na avaliação da resistência do solo à penetração (JORGE, 1985; BUSSCHER, 1997; CARMARGO & ALLEONI, 1997; KLEIN et al., 1998; e IMHOFF et al., 2000), a qual ainda pode ser influenciada por variáveis como a densidade (IMHOFF et al., 2000) e a textura do solo (CARMARGO & ALLEONI, 1997). De acordo com Tormena

et al. (1999), Imhoff (2002) e Araújo et al. (2004), a resistência do solo à penetração está negativamente relacionada com a umidade e positivamente com a densidade do solo. Segundo Mantovani (1987) e Camargo & Alleoni (1997), a resistência do solo à penetração é um método secundário de avaliação, sendo freqüentemente utilizada para indicação comparativa da compactação do solo.

Os níveis críticos de resistência do solo à penetração para o crescimento das plantas são variáveis conforme o tipo de solo e a espécie cultivada. Silva et al. (1989), trabalhando em um Latossolo Vermelho-Escuro, observaram a formação de uma camada com resistência à penetração superior a $17,57 \text{ kgf cm}^{-2}$ entre 13 e 50 cm do solo. Perez Filho et al. (1993) adotaram esse valor ($17,57 \text{ kgf cm}^{-2}$) como índice do limite inferior, para que o solo seja considerado compactado. Já Taylor et al. (1966) e Silva et al. (1994) adotaram o valor de 2 MPa como o limite crítico de resistência para a penetração das raízes, associando-o a condições impeditivas para o crescimento das raízes e da parte aérea das plantas. Por sua vez, Canarache (1990) citado por Camargo & Alleoni (1997), sugere que valores acima de 2,5 MPa começam a restringir o desenvolvimento das raízes das culturas.

A resistência do solo à penetração, associada à compactação e à textura do solo, pode restringir o movimento de água, gases e nutrientes. Assim, seu monitoramento periódico em áreas agrícolas, é uma forma prática de se determinar o grau de compactação e, também, a facilidade de penetração das raízes no solo.

Práticas de manejo, tais como: preparo do solo, adubações e calagens intensivas, algumas vezes executadas de modo incorreto, ocasionam alterações físicas do solo, com reflexos nos atributos físicos, químicos, físico-químicos e atividades biológicas (CARVALHO JÚNIOR, 1995).

Gavande (1972) relata que a flocculação é importante para solos argilosos devido à formação de agregados estáveis, sendo influenciada pelos íons presentes no solo e a dupla camada difusa. Segundo Jucksch (1987), a calagem afeta a dispersão da argila, como também modifica a concentração de certos íons, tendo influência na dupla camada difusa. O mesmo autor afirma que a dupla camada difusa tem grande influência sobre a dispersão e flocculação, sendo a sua espessura alterada pelas concentrações ou atividades iônicas na suspensão coloidal (BRADY, 1989). De acordo com Alleoni & Camargo (1994), os teores de argila dispersa em água diminuem com a profundidade do solo.

Sumner (1992) afirma que a calagem e as adubações químicas pesadas têm contribuído para a dispersão de argila com conseqüente movimento vertical. A deposição dessa argila entre 20 e 30 cm de profundidade proporciona a formação de uma camada compactada que, além de restringir a infiltração de água (SOARES et al., 2005) e o crescimento de raízes, provoca a formação de um ambiente redutor com produção de elementos tóxicos (VOMOCIL & FLOCKER, 1966). Entretanto, Tormena et al. (1998), avaliando a influência da calagem e preparo do solo sobre as propriedades físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro argiloso em plantio direto, observaram que a calagem não influenciou a densidade do solo, a porosidade total, a macro e a microporosidade e o conteúdo de água disponível.

A movimentação da argila do horizonte superficial pode ser causada devido à dispersão da argila (GAVANDE, 1972; HELALIA et al., 1988; FULLER et al., 1995; PRADO & CENTURION, 2001). A dispersão de argila se dá pelas intensas calagens e adubações realizadas nos solos quando em produção (JUCKSCH, 1987; SUMNER, 1992; CARVALHO JÚNIOR, 1995; NUNES, 2003).

As raízes de gramíneas perenes exercem grande influência sobre a formação e estabilidade dos agregados e podem ser usadas como recuperadoras da estrutura do solo em áreas degradadas (SILVA & MIELNICZUK, 1997). Em solo onde não há o revolvimento de solo, as partículas de argila e matéria orgânica participam como agregantes na floculação (METZNER et al., 2003).

Segundo Levy et al. (1993), a dispersão da argila está correlacionada com o teor de silte e de argila. De acordo com Vitorino et al. (2003), as composições mineralógica e química dos solos têm efeito marcante na dispersão da argila, com reflexos na fração silte. Dufranc et al. (2004) afirma que quanto maior o teor de argila total do solo maior será a dispersão de argila no solo.

2.3. Atributos químicos do solo

Sabe-se que uma adubação adequada pode conferir às plantas maior produtividade, melhor qualidade dos frutos, maior tolerância e resistência às pragas e doenças. Entretanto, para se fazer uma adubação adequada, dentre as diversas práticas utilizadas, faz-se necessária a avaliação da fertilidade do solo, principalmente em regiões onde a obtenção de elevadas produtividades é limitada

em função de desequilíbrios nutricionais das culturas, devido aos baixos níveis de fertilidade dos solos. A fertilidade do solo é dependente da rocha matriz e do manejo físico e químico a que o solo é submetido. Segundo Cogo et al. (2003), a fertilidade do solo em uso agrícola é um dos requerimentos básicos mais importantes na conservação do solo e da água e, conseqüentemente, do meio ambiente. Nesse contexto, a fertilidade do solo constitui-se um dos fatores de maior importância para que a planta expresse seu potencial máximo de produtividade.

A análise de solo proporciona informações importantes que favorecem a utilização racional de insumos agrícolas, melhorando o equilíbrio nutricional para as plantas e, conseqüentemente, a produtividade. Na cafeicultura, a amostragem de solo apresenta particularidades, por ser esta uma cultura perene e de adubação localizada, o que proporciona maior grau de acidez no local de aplicação dos adubos, onde no caso dos terrenos inclinados, ocorre principalmente na parte superior da projeção da copa (PREZOTTI & BRAGANÇA, 1995). Bragança et al. (2001) recomendam que a amostragem para análise química do solo seja feita na faixa onde são aplicados os adubos e corretivos. De acordo com Taiz & Zeiger (2004), a análise de solo reflete os níveis de nutrientes potencialmente nele disponíveis para as raízes das plantas. Segundo Ferrão et al. (2004), as recomendações de calagem e adubações devem ser realizadas com base nas análises de solo, de folhas e na expectativa de produção dos talhões cultivados.

Segundo Matiello (1998), o cafeeiro conilon, devido ao seu sistema radicular explorar maior área de solo, tem menos problemas nutricionais quando comparado ao café arábica. De acordo com Ferreira et al. (1999), os latossolos, por seu elevado grau de intemperismo, apresentam baixa fertilidade natural. No Estado do Espírito Santo, o café conilon, em sua maioria, é cultivado em solos de baixa fertilidade (BRAGANÇA et al., 2001). A calagem é conseqüentemente uma das práticas mais importantes para melhorar as condições de baixa fertilidade natural desses solos. A aplicação de calcário eleva a produção da lavoura (PREZOTTI & BRAGANÇA, 1995). Segundo De Muner (2002), a calagem adequada beneficia o cafeeiro em função de uma combinação de vários efeitos favoráveis, tais como: aumento do pH do solo, fornecimento de cálcio e magnésio como nutrientes, aumento da eficiência de adubos e da atividade microbiana entre outros. Segundo Matiello et al. (2002), em solos para café, o pH deve estar entre 5,6 e 6,0. Entretanto, Rena e Silveira (2003) relatam que o pH ideal deve estar compreendido entre 5,8 e 6,0.

O desenvolvimento e a produção econômica dos cafezais dependem do fornecimento, pelo solo e pelas adubações, dos nutrientes necessários ao cafeeiro, de forma equilibrada. Em ordem de exigência, o cafeeiro adulto extrai os nutrientes N, K, Ca, Mg, P, S, Zn, B e Cu (MATIELLO, 1991). Bragança et al. (2000) verificaram que os macronutrientes mais absorvidos pelo cafeeiro conilon, aos 3,6 anos, foram N, K, Ca, Mg, S e P.

No Espírito Santo, a área predominante na cafeicultura possui solos ácidos com níveis baixos de cálcio, magnésio e fósforo (MATIELLO, 1998). Lani (1987), analisando diferentes tipos de solos em diversos ambientes, verificou que o fósforo é considerado limitante na região Sul do Espírito Santo. Baldotto et al. (2000), ao trabalharem com 28 lavouras de café conilon em Alegre no Sul do Espírito Santo, observaram que a maioria das lavouras apresentou produtividade baixa, menor de 15 sacas beneficiadas por hectare, tendo como nutrientes limitantes o Ca, o Mg e o K. Wadt (2005) destaca a importância do solo na nutrição do café conilon no Estado do Espírito Santo.

Quando o manejo é inadequado, ocorre inevitavelmente um decréscimo no teor de matéria orgânica. A matéria orgânica do solo é comumente conhecida como um indicador químico da qualidade de solo, em razão de sua função na regulação de uma série de processos que ocorrem no solo (KELTING et al., 1999), funcionando ainda como um reservatório de nutrientes disponibilizando elementos para as plantas, como o nitrogênio, o fósforo e o enxofre (BAYER & MIELNICZUK, 1997). Em solos tropicais, a CTC da matéria orgânica pode representar boa parte da CTC total. De acordo Nunes (2003), a diminuição dos teores de matéria orgânica não se deve exclusivamente à redução no aporte de resíduos vegetais, mas também ao aumento da atividade microbiana. Segundo o mesmo autor, a redução do carbono orgânico do solo, que é um componente da matéria orgânica, ocorre na camada superficial com o desmatamento e a monocultura cafeeira. Para Janzen et al. (1998), as mudanças ocorridas no solo, provenientes de práticas inadequadas, podem levar a um rápido declínio dos estoques de carbono, podendo vir a colaborar com o aumento das emissões de gás carbônico (CO₂) à atmosfera. Marchiori Junior & Melo (2000) observaram que a substituição da mata natural pela agricultura fez com que o teor de carbono total do solo diminuísse.

Alcântara (1997), após estudar lavouras de café arábica, constatou que o aumento da matéria orgânica diminuiu o teor de Al e a saturação por Al e aumentou

o pH, os teores de P, K, Ca, Mg, CTC e o índice de saturação de bases, criando assim melhores condições para o desenvolvimento da cultura. Theodoro et al. (2003), ao compararem formas de manejo de café arábica para produção de “café orgânico”, “em conversão” e “convencional”, observaram que estes proporcionaram aumentos na fertilidade do solo, quando comparados com a condição do solo do fragmento de mata nativa, sendo essas alterações mais evidentes na camada superficial do solo. Pavan et al. (1986) demonstraram que a cobertura morta contribuiu para a elevação do pH e redução do alumínio trocável. Segundo Alcântara (1997) e Villatoro (2004), os resíduos vegetais e a cobertura do solo contribuem para melhorar o estado das propriedades do solo relacionadas com a conservação da umidade, controle da erosão, fertilidade, desenvolvimento radicular e atividade biológica.

Rocha et al. (2000) e Ferrão et al. (2004) enfatizam a importância do uso de práticas conservacionistas na condução e manejo de lavouras cafeeiras, principalmente em regiões de declive acentuado. Segundo Bertol et al. (2003), as concentrações de N, P, K, Ca e Mg são influenciadas fortemente pelo manejo do solo e aumentam quando maior for a fertilização e intensidade do manejo.

3. REFERÊNCIAS

ALCÂNTARA, E. N. **Efeitos de diferentes métodos de controle de plantas daninhas na cultura do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) sobre a qualidade de um Latossolo Roxo distrófico.** 1997. 133p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Lavras, UFLA. 1997.

ALCÂNTARA, E. N.; FERREIRA, M. M. Efeitos de métodos de controle de plantas daninhas na cultura do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) sobre a qualidade física do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, p.711-721, 2000.

ALLEONI, L. R. F.; CAMARGO, O. A. Atributos físicos de Latossolos ácricos do norte paulista. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.51, p.321-326, 1994.

ALVARENGA, R. C. **Potencialidade de adubos verdes para conservação e recuperação de solos.** 1993. 112p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Viçosa, UFV. 1993.

ALVARENGA, R. C.; COSTA, L. M.; MOURA FILHO, W. REGAZZI, A. J. Crescimento de raízes de leguminosas em camadas de solo compactadas artificialmente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.20, p.319-326, 1996.

ARAÚJO, M. A.; TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p.337-345, 2004.

BALDOTTO, M. A.; BRAUN, L. V.; PARTELLI, F. L.; AMARAL, J. A. T.; CATEN, A.; AMARAL, J. F. T.. Avaliação do estado nutricional do cafeeiro conilon (*Coffea canephora* Pierre) pelo método DRIS em Alegre-ES. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 26, 2000, Marília. **Trabalhos apresentados...** Rio de Janeiro: PROCAFÉ, 2000. p.226-227.

BASIC, F.; KISIC, I.; NESTROY, O.; MESIC, M.; BUTORAC, A. Particle size distribution (texture) of eroded soil material. **Journal Agronomy & Crop Science**, Berlin, v.188, p.311-322, 2002.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetados por métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.21, p.105-112, 1997.

BERTOL, I.; MELLO, E. L.; GUADAGNIN, J. C.; ZAPAROLLI, A. L. V.; CARRAFA, M. R. Nutrient losses by water erosion. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.60, p.581-586, 2003.

BORGES, E. N.; LOMBARDI NETO, F.; CORREA, G. F.; BORGES, A. V. S. Alterações físicas introduzidas por diferentes níveis de compactação em Latossolo Vermelho-Escuro textura média. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, p.1663-1667, 1999.

BOUMA, J. Influence of soil macroporosity on environmental quality. **Advances in Agronomy**, San Diego, v.46, p. 1-37, 1991.

BRADY, N. C. **Natureza e propriedades do solo**. 7 ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1989. 898p.

BRAGANÇA, S. M.; COSTA, A. N.; LANI, J. A. Absorção de nutrientes pelo cafeeiro Conilon (*Coffea canephora* Pierre ex Froenher) aos 3,6 anos de idade: macronutrientes. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Caldas. **Resumos expandidos...** Brasília: EMBRAPA Café; Belo Horizonte : Minasplan, 2000. 2v. p.1350-1352.

BRAGANÇA, S. M.; LANI, J. A.; DE MUNER, L. H. **Café conilon: adubação e calagem**. Vitória: INCAPER, 2001. 31p. (Circular técnica, 1).

BUSSCHER, W. J.; BAUER, P. J.; CAMP, C. R.; SOJKA, R. E. Correction of cone index for soil water content differences in a costal plain soil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.43, p.205-217, 1997.

CAMARGO, O. A. de; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba: USP/ESALQ, 1997. 132p.

CARVALHO JÚNIOR, I. A. **Estimativas de parâmetros sedimentológicos para estudo de camadas compactas e/ou adensadas em Latossolo de textura média, sob diferentes usos**. 1995. 83p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Viçosa, UFV. 1995.

COGO, N. P.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, R. A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.743-753, 2003.

DADALTO, G. G.; LANI, J. A.; PREZOTTI, L. C. Conservação do solo. In: COSTA, E. B da. (coord.). **Manual técnico para a cultura do café no estado do Espírito Santo**. Vitória: SEAG-ES, 1995. p. 107-110.

DADALTO, G. G.; BARBOSA, C. A. **Zoneamento agroecológico para a cultura do café no estado do Espírito Santo**. Vitória: SEAG-ES, 1997. 28p.

De MUNER, L. H. **Calagem: saiba como fazer e colha muito benefícios**. Vitória: INCAPER, 2002. (INCAPER – Documentos 109)

DUFRANC, G.; DECHEN, S. C. F.; FREITAS, S. S.; CAMARGO, O. A. Atributos físicos, químicos e biológicos relacionados com a estabilidade de agregados de dois Latossolos em plantio direto no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p.505-517, 2004.

FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A.; FERRÃO, M. A. G.; De MUNER, L. H.; VERDIN FILHO, A. C.; VOLPI, P. S.; MARQUES, E. M. G.; ZUCATELI, F. **Café conilon: técnicas de produção com variedades melhoradas**. Vitória: INCAPER, 2004. 60p. (Circular técnica 03-1)

FERREIRA, M. M.; FERNANDES, B.; CURI, N. Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolos da região sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.23, p.515-524, 1999.

FULLER, L. G.; GOH, T. B.; OSCARSON, D. W. Cultivation effects on dispersible clay of soil aggregates. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v.75, p.101-107, 1995.

GAVANDE, S. A. **Física de suelos: principios y aplicaciones**. Arco de Belém: Editorial Limusa-Wiley, 1972. 351p.

GONTIJO, I. **Avaliação de atributos físicos em solo de cerrado sob cafeicultura em dois sistemas de manejo de plantas espontâneas, utilizando testes de hipóteses e geoestatística**. 2003. 86p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Uberlândia, UFU. 2003.

GROHMANN, F. Distribuição e tamanho de poros em três tipos de solos do estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v.19, p.319-328, 1960.

GROHMANN, F. Compacidade. In: MONIZ, A. C. (Ed.). **Elementos de pedologia**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1975. p.93-99.

GUIMARÃES, P. T. G.; LOPES, A. S. Solos para o cafeeiro: características, propriedades e manejo. In: RENA, A. B. et al. (Ed). **Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e o Fosfato, 1986. p.115-161.

HELALIA, A. M.; LETEY, J.; GRAHAM, R. C. Crust formation and clay migration effects on infiltration rate. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v.52, p.251-255, 1988.

IMHOFF, S.; SILVA, A. P.; TORMENA, C. A. Aplicações da curva de resistência no controle da qualidade física de um solo sob pastagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, p. 1493-1500, 2000.

IMHOFF, S. Del C. **Indicadores de qualidade estrutural e trafegabilidade de Latossolos e Argissolos Vermelhos**. 2002. 94p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Piracicaba, ESALQ/USP. 2002.

INCAPER, PEDEAG. Disponível em:
<http://www.incaper.es.gov.br/pedeag/setores03_02.htm>. Acesso em: 22/09/2005.

JANTSCH, R. L.; OLSZEWSKI, N.; COSTA, L. M. Influência do clima ao adensamento de três classes de Latossolos brasileiros. **Revista Ceres**, Viçosa, v.46, p.445-454, 1999.

JANZEN. H. H.; CAMPBELL, C. A.; IZAURRALDE, R. C. Management effects on soil C storage on the Canadian prairies. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.47, p.181-195, 1998.

JORGE, J. A. **Física e manejo dos solos tropicais**. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1985. 328p.

JUCKSCH, I. **Calagem e dispersão de argila em amostrade um Latossolo Vermelho-Amarelo**. 1987. 37p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Viçosa, UFV. 1987.

KELTING, D. L.; BURGER, J. A. ; PATTERSON, S. C. ; AUST, W. M.; MIWA, M. & TRETTIN, C. C. Soil quality assessment in domesticated forests - a south pine example. **Forest Ecology & Management**, v.122, p.167-185, 1999.

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

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L.; SILVA, A. P. et al. Resistência do solo à penetração sob diferentes condições de densidade e teor de água. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.18, p.45-54, 1998.

KUTÍLEK, M. Soil hydraulic properties as related to soil structure. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.79, p.175-184, 2004.

LANI, J. L. **Estratificação de ambientes na Bacia do Rio Itapemirim, no sul do Estado do Espírito Santo**. 1987. 114p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Viçosa, UFV. 1987.

LEPSCH, I. F. **Solos: formação e conservação**. 5 ed. São Paulo: Melhoramentos, 1993. 157p.

LEVY, G. J.; EISENBERG, H.; SHAINBERG. Clay dispersion as related to soil properties and water permeability. **Soil Science**, Baltimore, v. 155, p.15-22, 1993.

MANTOVANI, E. C. Compactação do solo. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.13, p.52-55, 1987.

MARCHIORI JUNIOR, M.; MELO, W. J. Alterações na matéria orgânica e na biomassa microbiana em solo de mata natural submetido a diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília v.35, p.1177-1182, 2000.

MATIELLO, J. B.; FLORENCE, M. D. Diagnose foliar da deficiência de magnésio e de problemas relacionados no café conilon: In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 14., 1987, Campinas. **Anais...** Rio de Janeiro: IBC/GERCA, 1987. p.26-27.

MATIELLO, J. B. **O café: do cultivo ao consumo**. São Paulo: Globo, 1991. 320p.

MATIELO, J. B. **Café Conillon: como plantar, tratar, colher, preparar e vender**. Rio de Janeiro: MAA/SDR/PROCAFE/PNFC, 1998. 162p.

MATIELLO, J. B.; SANTINATO, R.; GARCIA, A. W. R.; ALMEIDA, S. R.; FERNADES, D. R. **Cultura do café no Brasil: novo manual de recomendações**. Rio de Janeiro: MAPA/PROCAFE, 2002. 387p.

METZNER, A.F.; CENTURION, J. F.; MARCHIORI JÚNIOR, M. Relação entre grau de floculação e atributo do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29, 2003. Ribeirão Preto-SP, **Anais...** Botucatu, 2003. CD.

NUNES, L. A. P. L. **Qualidade de um solo cultivado com café e sob mata secundária no município de Viçosa-MG**. 2003. 102p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Viçosa, UFV. 2003.

PAULINO, A. J.; MATIELO, J. B.; PAULINI, A. E.; BRAGANÇA, J. B. 1987. **Cultura do café conilon: Instruções técnicas sobre a cultura de café no Brasil**. Rio de Janeiro: MIC/IBC/DIPRO, 1987. 43p.

PAVAN, M. A.; CARAMORI, P. H.; ANDRICIOLI FILHO, A.; SCHOLZ, M. manejo da cobertura vegetal do solo para a produção e formação de uma lavoura cafeeira. I. Influência na fertilidade do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.21, p.197-192, 1986.

PEREZ FILHO, A.; TESTEZLAF, R.; TERESO, M. J. A. Efeito da irrigação na compactação de Latossolos argilosos submetidos ao uso agrícola intensivo. **Engenharia Agrícola**, São Paulo, v.13, p.39-55, 1993.

PRADO, R. M.; CENTURION, J. F. Alterações na cor e no grau de floculação de um Latossolo Vermelho-Escuro sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, p.197-203, 2001.

PREZOTTI, L. C.; BRAGANÇA, S. M. Nutrição. In: COSTA E. B da. (coord.). **Manual técnico para a cultura do café no estado do Espírito Santo**. Vitória: SEAG-ES, 1995. p.42-53.

RAIJ, B. Van. **Avaliação da fertilidade do solo**. Piracicaba: Instituto da Potassa e do Fosfato, 1987. 142p.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole. 1990. 188p.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. São Paulo: Manole. 2004. 478p

RENA, A. B.; SILVEIRA, J. S. M. Fatores que afetam o desenvolvimento e a atividade do sistema radicular. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto-SP, **Anais...** Botucatu, 2003. Palestras. CD.

RESENDE, M; CURI, N.; REZENDE, S. B.; CORRÊA, G. F. **Pedologia: base para distinção de ambientes**. 4 ed. Viçosa: NEPUT, 2002. 338p.

ROCHA, A. C.; PREZOTTI, L. C.; DADALTO, G. G. Práticas de conservação de solo em café arábica na região serrana do Espírito Santo. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Caldas. **Resumos expandidos...** Brasília: EMBRAPA Café; Belo Horizonte: Minasplan, 2000. 2v. p.1376-1378.

RUFINO, R. L.; HENKLAIN, J. C.; BISCAIA, R. C. M. Influência de práticas de manejo e cobertura vegetal do cafeeiro nas perdas de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.9, p.277-280, 1985.

SANTOS, A. R. **Zoneamento agroclimatológico para a cultura do café conilon (*Coffea canephora* L.) e arábica (*Coffea arabica* L.), na bacia do Rio Itapemirim, ES.** 1999, 62p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) - Viçosa, UFV, 1999.

SANTOS, E. E. F.; RIBEIRO, M. R. Influência da irrigação e do cultivo nas propriedades de um Latossolo e um Argissolo na região do Submédio São Francisco: atributos morfológicos e físicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, p.875-884, 2000.

SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L.; CAMARGO, O. A. Influência da compactação nas propriedades físicas de dois Latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.10, p.91-95, 1986.

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

SILVA, A. P.; KAY, B. D.; PERFECT, E. Characterization of the least limiting water range. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 58, p. 1775-1781, 1994.

SILVA, I. de F.; MIELNICZUK J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, p.113-117, 1997.

SOARES, J. L. N.; ESPINDOLA, C. R.; FOLONI, L. L. Alteração física e morfológica em solos cultivados com citros e cana-de-açúcar, sob sistema tradicional de manejo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v35, p.353-359, 2005.

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

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, p.395-401, 2001.

SUMNER, M.E. Uso atual do gesso no mundo em solos ácidos. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DO GESSO NA AGRICULTURA, 2., 1992, Uberaba. **Anais...** Brasília: Nagy, 1992. p.7-40.

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

TAYLOR, H. M.; ROBERSON, G. M.; PARKER JUNIOR, J. J. Soil strength root penetration relations for medium to coarse textured soil materials . **Soil Science**, Baltimore, v. 102, p. 18-22, 1966.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Trad. SANTARÉM, E. R. et al. Porto Alegre: Artmed, 3 ed., 2004, 719p.

THEODORO, V. C. A.; ALVARENGA, M. I. N., GUIMARAES, R. J. et al. Alterações químicas em solo submetido a diferentes formas de manejo do cafeeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.1039-1047, 2003.

TOLEDO, S. V.; MORAES, M. V.; BARROS, I. Efeito da frequência de capinas na produção do cafeeiro. **Bragantia**, Campinas, v.55, p.317-324, 1996.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.22, p.573-581, 1998.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L. Soil physical quality of a Brazilian Oxisol under two tillage systems using the least limiting water range approach. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.52, p.223-232, 1999.

VILLATORO, M. A. A. **Matéria orgânica e indicadores biológicos da qualidade do solo na cultura de café sob manejo agroflorestal e orgânico**. 2004. 186 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Seropédica, UFRRJ. 2004.

VITORINO, A. C. T.; FERREIRA, M. M.; CURI, N.; LIMA, J. M.; SILVA, M. L. N.; MOTTA, P. E. F. Mineralogia, química e estabilidade de agregados do tamanho de silte de solos da Região Sudeste do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.38, p.133-141, 2003.

VOMOCIL, J. A.; FLOCKER, W. J. Effects of soil compaction on storage and movement of soil, air and water. **American Society Agricultural Engineering**, v.4, p.242-246, 1966.

WADT, P. G. S. Relationships between soil class and nutritional status of coffee plantations. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, p.227-234, 2005.

4. CAPÍTULO 1

ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO EM FUNÇÃO DE TRATOS CULTURAIS EM LAVOURAS DE CAFEIEIRO CONILON NO SUL DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO

RESUMO

O trabalho teve como objetivo avaliar, em diferentes sítios de amostragem, os atributos físicos de solos cultivados com lavouras cafeeiras sob distintos tratos culturais no Sul do Estado do Espírito Santo. Foram realizadas amostragens nas profundidades de 0,00 - 0,20 m e 0,20 - 0,40 m na parte superior da projeção da “saia” do cafeeiro, em relação ao sentido de declive do terreno. Foram utilizadas para o estudo, lavouras representativas da região Sul do Estado Espírito Santo, apresentando a mesma unidade de solo (Latosolo Vermelho-Amarelo distrófico, relevo forte ondulado), tendo os seguintes tratos: M1 - irrigação por gotejamento, calagem, adubação, roçadas e uso da palha de café; M2 - adubação, roçadas e capinas; e M3 - capinas e roçadas. Dentro de cada trato cultural também foram avaliadas os seguintes sítios de amostragem: TS - terço superior, TM - terço médio; e TI - terço inferior, ao longo do declive. Dentre os atributos físicos do solo estudado, a argila dispersa em água, o grau de floculação, a resistência do solo à penetração, a macro e a microporosidade mostraram-se importantes indicadores físicos da qualidade do solo, influenciados pelo trato cultural, sítio de amostragem e profundidade de avaliação. As frações granulométricas (areia, silte e argila) foram influenciadas pelo sítio de amostragem e pelo trato cultural empregado na lavoura cafeeira. Os maiores valores para densidade do solo foram observados na profundidade de 0,00 - 0,20 m em todos os tratos culturais. O solo sob trato cultural M3 apresentou os maiores valores para a resistência à penetração, em ambas as profundidades. Os tratos culturais M1 e M2 apresentam valores superiores de argila dispersa em água e inferiores de grau de floculação na camada de 0,00 - 0,20 m do solo. Em áreas de relevo forte ondulado, a divisão das áreas em segmentos (terço superior, médio e inferior), para avaliação das condições de solo, se faz necessária dada à heterogeneidade observada para a maior parte dos atributos físicos estudados.

Palavras-chave: propriedades físicas do solo, manejo do solo, *Coffea canephora*.

ABSTRACT

The work had as objective to evaluate, in different sampling site, the physical attributes of soils cultivated with conilon coffee trees under different management in the South of Espírito Santo State. Soil samplings were taken in the depths of 0.00 – 0.20 m and 0.20 – 0.40 m at the upper part of the canopy projection of the coffee plants, in relation to the slope of the land. It was used for this study representative coffee crops of the South of the Espírito Santo State, which have the same soil unit (Haplustox, mountainous fort), with the following management: M1 - irrigation for leaking, liming of each two years, manuring, cleared and use of coffee straw; M2 - manuring, cleared and weedings; M3 - weedings and cleared. Within of each management were also evaluated the following soil sampling sites: UT - upper third, MT - medium third; LT - lower third, along to the slope. Among the physical attributes of the soil studied, the clay disperses in water, the flocculation degree, the resistance of the soil to the penetration, the macro and microporosity showed to be an important physical indicator of the soil quality, and was influenced by the management, sampling sites and evaluation depths. The physical soil fractions (sand, silt and clay) were influenced by the sampling site and by the management used in the coffee crops. The largest values for soil density were observed in the depth of 0.00 – 0.20 m, in all of the management. The soil under management M3 presented the largest values for the resistance to the penetration, in both depths. The managements M1 and M2 present superior values of clay disperses in water and lower flocculation degree in the depth of 0.00 – 0.20 m of the soil. In areas of mountainous strong relief, for evaluation of the soil conditions, it is necessary the division in segments (UT, MT and LT), due the heterogeneity observed for most of the studied soil physical attributes studied.

Key words: Soil physical properties, soil management, *Coffea canephora*.

4.1. INTRODUÇÃO

O café é produto importante no mundo econômico, tanto para os países em desenvolvimento onde é produzido quanto para os industrializados, que são os principais consumidores. A produção do café conilon e as atividades dele resultante geram, nos variados setores, renda e empregos de forma significativa. Entretanto, para a obtenção de produções sustentáveis é necessário o conhecimento dos atributos do solo, indicativos de sua qualidade, bem como do ambiente em que se encontram.

O Estado do Espírito Santo destaca-se por ser o maior produtor de café conilon do país e, devido a suas características de relevo e clima, possui diversas formas de manejo para uma mesma cultura. No Sul do Estado do Espírito Santo, a maioria das lavouras encontra-se em propriedades de agricultura familiar e situadas em regiões declivosas (MATIELLO, 1998).

As atividades agrícolas têm causado problemas quanto à compactação e/ou adensamento, aumentando a densidade do solo e, conseqüentemente, diminuindo a porosidade total, principalmente a macroporosidade, dificultando as trocas gasosas, a infiltração e o movimento da água no perfil do solo (BORGES et al., 1997).

O efeito de sistemas de uso e manejo sobre os atributos físicos do solo e culturas tem sido tema de várias pesquisas (MELO FILHO & SILVA, 1993; CARVALHO JÚNIOR, 1995; GONTIJO, 2003; BEUTLER et al., 2004). Fontes et al. (1995) observaram que os cultivos provocaram mudanças nítidas nos atributos físicos, como aumento da densidade do solo, da argila dispersa em água e redução da porosidade total, quando comparados com os solos sob vegetação natural.

A caracterização desses atributos nos diferentes sistemas de tratos culturais adotados pelos agricultores possibilita selecionar aqueles que conduzem a uma maior produtividade das culturas, com menor interferência negativa ao meio ambiente. A maioria dos atributos do solo possui variabilidade casual (intemperismo diferencial pontual, erosão e adição diferencial, fatores biológicos e hidrológicos diferenciais, erros analíticos e de amostragem, etc.) e podem ser explicados em função da paisagem, do próprio uso e manejo do solo.

Este trabalho objetivou avaliar, em diferentes sítios de amostragem, os atributos físicos do solo de lavouras cafeeiras sob distintos tratos culturais no Sul do Estado do Espírito Santo.

4.2. MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1. Escolha das áreas

Para a condução dos trabalhos, foram selecionadas, no ano agrícola de 2004 - 2005, três lavouras de café representativas da região, com sete a oito anos de implantação, submetidas a diferentes tratos culturais, em condição de relevo forte ondulado (EMBRAPA, 1999), localizadas no município de Jerônimo Monteiro, nas coordenadas 20° 47' 25" S e 41° 23' 48" W, com altitude entre 120 m, situadas na Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim no Sul do Estado do Espírito Santo. A espécie de café cultivada é o café conilon (*Coffea canephora* Pierre), proveniente de mudas clonais.

O clima é classificado, segundo a classificação de Köppen, como sendo do tipo Aw, com estação seca no inverno e verão quente e chuvoso. A temperatura média anual é de 26 °C. A precipitação no ano agrícola 2004 - 2005 foi de 1723 mm, sendo sua distribuição de forma irregular (Figura 1).

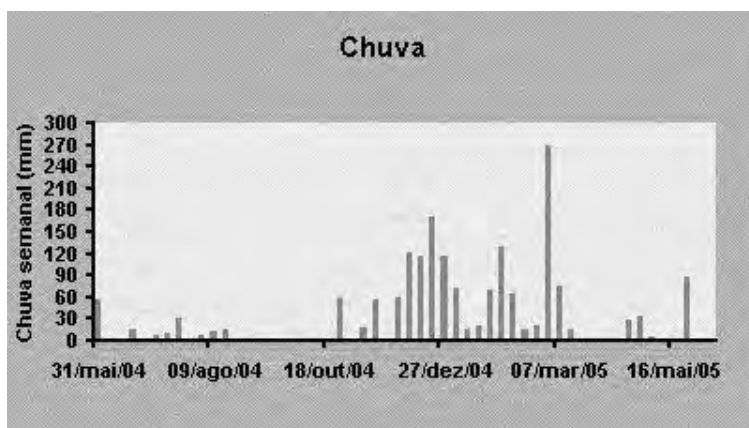


Figura 1 - Distribuição da precipitação pluviométrica do ano agrícola 2004 - 2005, em semanas, no município de Jerônimo Monteiro. Fonte: NEDTEC - CCA - UFES (2005).

Os solos em que as três lavouras de café estão implantadas foram classificados como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (EMBRAPA, 1999), textura argilosa (LEMOS & SANTOS, 2002).

Foram locados três sítios de amostragem ao longo do declive do terreno, em regiões consideradas exportadoras de materiais, conforme demonstrado na Figura 2.

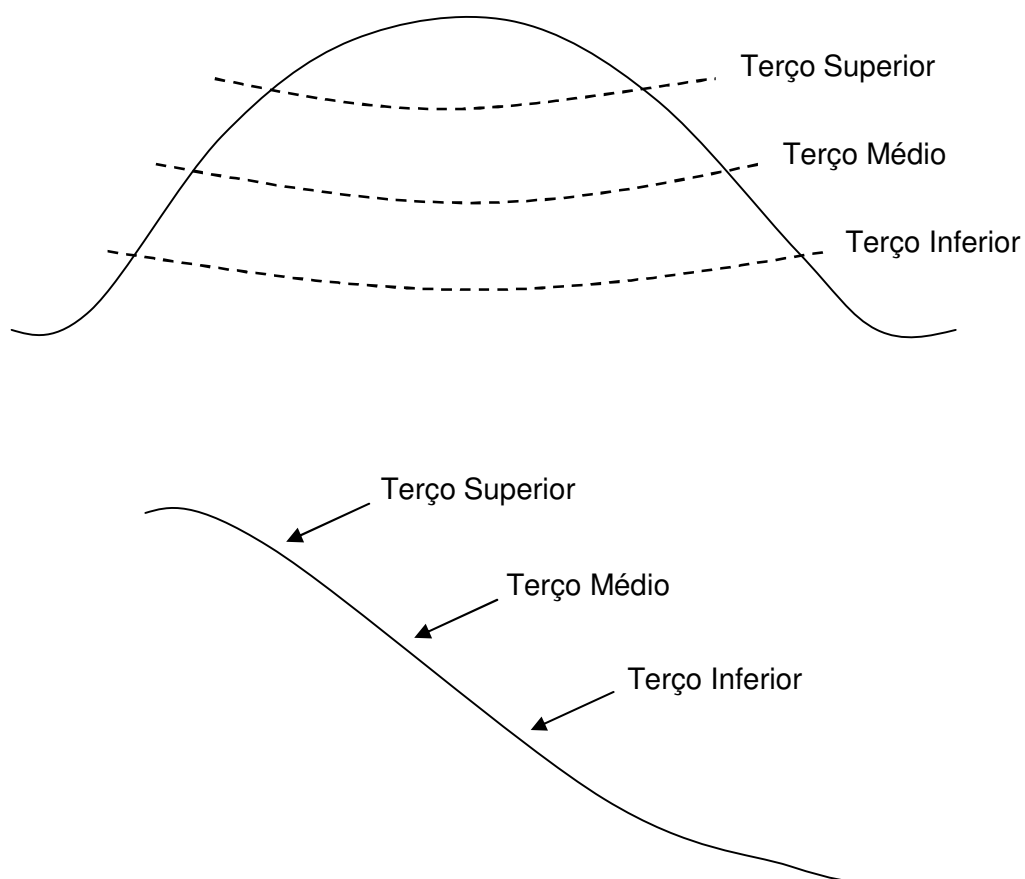
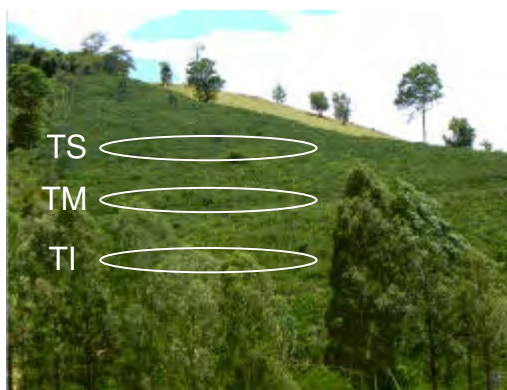


Figura 2 - Esquema demonstrativo dos sítios de amostragem nas lavouras cafeeiras.

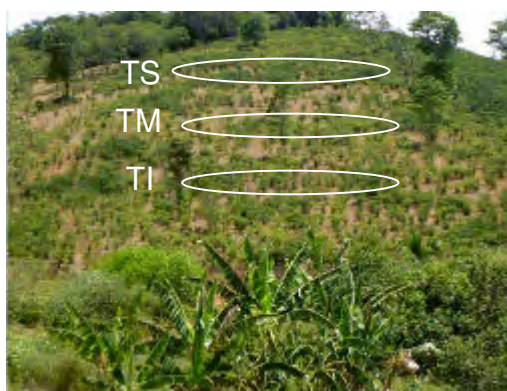
As lavouras cafeeiras distinguem-se quanto ao trato cultural aplicado (M1, M2 e M3), cujas principais práticas culturais adotadas são apresentadas na Figura 3. Dentro de cada manejo foram avaliados os três sítios de amostragem (TS - terço superior; TM - terço médio; e TI - terço inferior) ao longo do declive, conforme demonstrado na Figura 3.



M1 - irrigação por gotejamento, calagem a cada dois anos, adubação, roçadas e uso da palha de café.



M2 - adubação, roçadas e capinas.



M3 - capinas e roçadas.

Figura 3- Fotos das lavouras cafeeiras, indicando os tratos culturais (M1, M2 e M3) e os sítios de amostragem (TS, TM e TI).

2.2. Histórico das áreas

A área onde está implantada a lavoura sob trato cultural M1 foi utilizada anteriormente para a atividade de pastagem, sendo o café conilon implantado no ano de 1998, com espaçamento de 1,50 x 2,50 m. A capina manual foi realizada até o ano de 2002, sendo feita duas capinas por ano, posteriormente passou-se a adotar as roçadas (duas por ano). No ano de 2001, foi implantado o sistema de irrigação por gotejamento, sendo utilizado até hoje. A calagem é feita a cada dois anos, sendo a última realizada após a colheita do ano agrícola 2002-2003.

A adubação é parcelada em duas vezes por ano e é feita utilizando formulados com NPK, sendo o 25 - 5 - 20, o mais utilizado. O retorno da palha de café para a lavoura é feito após o seu beneficiamento na propriedade, sendo distribuída alternadamente, ou seja, em um ano é distribuída de cima para baixo e no outro ano, de baixo para cima, devido a palha do café beneficiado na propriedade não ser o suficiente para ser distribuída como em um todo. Após a colheita do ano agrícola 2003-2004, a palha do café foi distribuída de cima para baixo na lavoura. Nesse ano, também foi realizada a poda da lavoura de café conilon. A declividade da lavoura no TS é de 22%, no TM é de 26% e no TI é de 35%.

A área onde está implantada a lavoura sob trato cultural M2 foi utilizada anteriormente para o cultivo de citros por 8 anos, sendo o café conilon implantado no ano de 1999, com espaçamento de 1,60 x 2,30 m. A capina manual é feita de duas a três vezes por ano, e uma roçada por ano. Foi feita a calagem na cova durante o plantio, sendo que posteriormente não se utilizou mais a calagem. A adubação é parcelada em duas vezes por ano, e é feita utilizando adubados à base de uréia e KCl. A poda do café conilon começou a ser realizada no ano de 2003. A declividade da lavoura no TS é de 24%, no TM é de 28% e no TI é de 30%.

A área onde está implantada a lavoura sob trato cultural M3 foi utilizada anteriormente para pastagem, sendo o café conilon implantado no ano de 1998, com espaçamento de 1,50 x 2,60 m. A capina manual é feita de três a quatro vezes por ano, e as roçadas são em número de duas por ano. No plantio, foi feita a calagem a lanço na superfície do terreno onde está implantada a lavoura cafeeira, sendo que posteriormente não se utilizou mais a calagem. Não é feita a adubação. Junto com a lavoura é realizado o cultivo de culturas anuais como o milho que é plantado em outubro ou novembro, e o feijão que é plantado em março ou abril. Não é feita a

poda na lavoura cafeeira. A declividade da lavoura no TS é de 28%, no TM é de 30% e no TI é de 41%.

4.2.3. Amostragem de solo

As amostragens de solo para avaliação dos atributos físicos foram realizadas entre os dias 09 de fevereiro e 06 de março de 2005. Para tal, foram retiradas amostras deformadas (utilizando um trado do tipo holandês), indeformadas (utilizando amostrador tipo Uhland) e medida a resistência do solo à penetração nas profundidades de 0,00 - 0,20 m e 0,20 - 0,40 m, na parte superior da projeção da “saia” do cafeeiro, em relação ao sentido de declive do terreno (Figura 4). Dentro de cada trato cultural foram avaliados três sítios de amostragem (TS, TM e TI), ao longo do declive, conforme indicado nas Figuras 2 e 3. Foram feitas cinco repetições em cada sítio de amostragem e profundidade.



Figura 4 - Local da amostragem de solo nas lavouras cafeeiras.

A determinação dos atributos físicos do solo foi realizada nos laboratórios do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCA-UFES).

4.2.4. Atributos físicos de solos avaliados

Densidade do solo

Para avaliação da densidade do solo (D_s), foram utilizadas amostras indeformadas retiradas em anel de aço de bordas cortantes (EMBRAPA, 1997), introduzido no solo com auxílio do amostrador tipo Uhland até o preenchimento total do anel, à profundidade desejada (0,00 a 0,20 e 0,20 a 0,40 m). O excesso de solo foi removido e, em seguida, a parte superior e inferior do anel que continha a amostra de solo foram revestidas com gaze e presas com um elástico. As amostras processadas foram levadas para o laboratório, secas em estufas por um período de aproximadamente 24 horas até atingirem peso constante. Após esse período, determinou-se a D_s (kg dm^{-3}), através da equação 1:

$$D_s = \frac{M_s}{V_t} \quad (1)$$

em que:

M_s = massa da amostra de solo seca a 105°C (kg);

V_t = volume do anel (dm^3).

Densidade de partículas

A densidade de partículas (D_p) foi obtida pelo método do balão volumétrico (EMBRAPA, 1997). Para isso, pesaram-se 20 g de terra fina seca em estufa (TFSE), transferindo-se a mostra para um balão volumétrico de 50 mL aferido. Adicionou-se ao balão com TFSE 25 mL de álcool etílico. Agitou-se o balão por 1 (um) minuto para facilitar a penetração do álcool nos capilares do solo. Deixou-se o balão em repouso por 15 minutos, completando-o com álcool etílico e, em seguida, procedeu-se à leitura do nível de álcool na bureta (L). O volume de TFSE contido no balão volumétrico foi determinado pela expressão: $V_s = 50 - L$. A densidade de partículas (D_p), em kg dm^{-3} , foi calculada usando a equação 2:

$$D_p = \frac{M_s}{V_s} \quad (2)$$

em que:

M_s = massa da TFSE (kg);

V_s = volume de sólidos (dm^3).

Para a determinação da densidade de partículas (D_p), as amostras foram agrupadas formando uma amostra composta de cada sítio de amostragem (TS, TM e TI) sob seus respectivos tratamentos culturais (M1, M2 e M3) e profundidades (0,00 - 0,20 e 0,20 - 0,40 m). Os valores de densidade de partículas obtidos pelo método do balão volumétrico, necessários para o cálculo da porosidade total (P_t), foram respectivamente de 2,67 e 2,63 kg dm^{-3} para as profundidades de 0,00 - 0,20 m e 0,20 - 0,40 m, em todos os sítios de amostragem (TS, TM e TI) e tratamentos culturais adotados (M1, M2 e M3). Esses valores encontram-se próximos do valor médio dos solos minerais (KIEHL, 1979).

Porosidade Total

A porosidade total (P_t), ou seja, o volume de vazios totais do solo que pode estar ocupado por água e/ou ar, foi obtida indiretamente através da relação existente entre a densidade do solo (D_s) e a densidade de partículas (D_p) de acordo com EMBRAPA (1997), obtida pela equação 3:

$$P_t = \frac{(D_p - D_s)}{D_p} \quad (3)$$

em que:

P_t = porosidade total ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$);

D_s = densidade do solo (kg dm^{-3});

D_p = densidade de partículas (kg dm^{-3}).

Microporosidade

Para estudo da microporosidade do solo (MiP), considerou-se como microporosidade o teor volumétrico de água retida no solo após a aplicação de uma tensão de 0,006 MPa. Foram utilizadas amostras indeformadas, retiradas conforme descrição para densidade do solo. No laboratório, essas amostras, após saturadas com água durante aproximadamente 12 horas, foram colocadas em placas de cerâmica de 0,1 MPa (previamente saturadas) e submetidas à sucção de 0,006 MPa no aparelho extrator de Richards, determinando-se a MiP , através da equação 4:

$$MiP = \frac{(a - b)}{c} \quad (4)$$

em que:

MiP = microporosidade do solo ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$);

a = massa da amostra de solo submetida a uma pressão de 0,006 MPa (kg);

b = massa da amostra de solo seca a 105°C (kg);

c = volume do cilindro (dm^3).

Macroporosidade

O cálculo da macroporosidade do solo (MaP) permite avaliar o volume do solo ocupado por poros com diâmetro maior que 0,05 mm, dado pela diferença entre a porosidade total e o volume de microporos (EMBRAPA, 1997), obtidos através da equação 5:

$$\text{MaP} = \text{Pt} - \text{MiP} \quad (5)$$

em que:

MaP = macroporosidade do solo ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$);

Pt = porosidade total do solo ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$);

MiP = microporosidade do solo ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$).

Resistência do solo à penetração

A resistência do solo à penetração (RP), avaliada nos diferentes tratos culturais, sítios de amostragem e profundidades, foi obtida com a utilização de penetrômetro de impacto (STOLF, 1991), sendo a calibração do penetrômetro feita conforme a fórmula proposta pelos holandeses e descrita por Stolf (1991).

$$\text{RP (kgf cm}^{-2}\text{)} = \frac{(M + m) g}{A} \cdot \frac{M}{M + m} \cdot N \cdot \frac{Mgh}{A}$$

O penetrômetro de impacto utilizado, neste trabalho, possui as seguintes características: massa do êmbolo que produz o impacto $\mathbf{M} = 3,830 \text{ kg}$ ($\mathbf{Mg} = 3,830 \text{ kgf}$); massa do restante do conjunto $\mathbf{m} = 3,140 \text{ kg}$ ($\mathbf{mg} = 3,140 \text{ kgf}$); altura de queda do êmbolo $\mathbf{h} = 40,00 \text{ cm}$; diâmetro da base da agulha de cone $\mathbf{A} = 1,29 \text{ cm}^2$; o cone possui semi-ângulo de penetração de 30° ; $\mathbf{(M+m)g} = 6,970 \text{ kgf}$; $\mathbf{M (M+m)^{-1}} = 0,549$; aceleração da gravidade $\mathbf{g} = 1 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$; e $\mathbf{N} = 1 \text{ X}^{-1}$, número de impactos cm^{-1} .

A resistência do solo à penetração, em kgf cm^{-2} , foi convertida para MPa através da equação 6:

$$\text{RP (MPa)} = (5,40 + 65,258 \cdot \text{N}) \cdot 0,098 \quad (6)$$

em que:

N = número de impactos por camada de solo analisada;

0,098 = fator de conversão da unidade em kgf cm^{-2} para MPa.

Juntamente com a RP, determinou-se também a umidade do solo, próxima ao ponto de amostragem, utilizando o método termogravimétrico, conforme EMBRAPA (1997).

Textura ou Granulometria

A textura ou a granulometria das amostras foi determinada conforme EMBRAPA (1997). As amostras foram coletadas em campo com o auxílio de um trado tipo holandês, acondicionadas em sacos plásticos e secas ao ar por um período mínimo de quarenta e oito horas. Após este período, foram destorroadas e passadas pela peneira com malha de 2 mm, obtendo-se a terra fina seca ao ar (TFSA).

Determinaram-se os teores, em g kg^{-1} , de areia grossa (AG), areia fina (AF), silte e argila total (Arg) em cada amostra de solo. Para a realização da análise granulométrica, utilizou-se 20 g de TFSA, 100 mL de água destilada e 10 mL de NaOH 1 mol L^{-1} , com agitação mecânica rápida (12.000 rpm) por 15 minutos. As frações de areia grossa e areia fina foram separadas, via peneiramento, utilizando, respectivamente, peneiras de malha 0,210 e 0,053 mm. As frações argila e silte, que englobam partículas com tamanho inferior a 0,053 mm, foram separadas por sedimentação, segundo a lei de Stokes. Para obtenção de cada uma das frações, utilizaram-se as equações de 7 a 10:

$$\text{Areia Grossa (g kg}^{-1}\text{)} = M_{AG} \cdot 50 \quad (7)$$

em que:

M_{AG} = massa de areia grossa (g) retida na peneira de 0,210 mm

$$\text{Areia Fina (g kg}^{-1}\text{)} = M_{AF} \cdot 50 \quad (8)$$

em que:

M_{AF} = massa de areia fina (g) retida na peneira de 0,053 mm

$$\text{Argila total (g kg}^{-1}\text{)} = (M_{\text{Arg}} - 0,02) \cdot 1000 \quad (9)$$

em que:

M_{Arg} = massa de argila total (g)

0,02 = massa do dispersante químico (g)

$$\text{Silte (g kg}^{-1}\text{)} = 1000 - (\text{Areia Grossa} + \text{Areia Fina} + \text{Argila total}) \quad (10)$$

Argila dispersa em água

A argila dispersa em água (ADA) foi determinada conforme EMBRAPA (1997), a partir de TFSA, utilizando agitação mecânica rápida (12.000 rpm) e água destilada, obtendo-se os teores de ADA através da equação 11:

$$\text{ADA (g kg}^{-1}\text{)} = M_{\text{ADA}} \cdot 1000 \quad (11)$$

em que:

M_{ADA} = massa de argila dispersa em água (g)

Grau de Flocculação

O grau de flocculação (GF) foi calculado pela equação 12:

$$\text{GF(\%)} = 100 \cdot \frac{(\text{Argila total} - \text{ADA})}{\text{Argila total}} \quad (12)$$

4.2.5. Análises estatísticas

Os atributos físicos do solo em estudo foram analisados considerando-se o delineamento inteiramente casualizado distribuído em esquema de parcelas subdivididas, tendo nas parcelas os tipos de tratos culturais adotados (M1, M2 e M3) e nas subparcelas os sítios de amostragem (TS, TM e TI), com cinco repetições, nas profundidades de 0,00 - 0,20 e 0,20 - 0,40 m do solo. Os dados experimentais foram submetidos à análise de variância pelo teste “F” e, posteriormente, aplicado o teste de Tukey a 5% para comparação entre as médias, por meio do software SAEG.

4.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.3.1. Textura ou Granulometria

Pela Tabela 1, percebe-se que houve interação significativa entre os tipos de tratos culturais adotados (M1, M2 e M3) e os sítios de amostragem (TS, TM e TI) na profundidade de 0,00 - 0,20 m para os atributos areia fina, argila e silte e, na profundidade de 0,20 - 0,40 m para os atributos areia fina e silte, mostrando que, o efeito do trato cultural sobre estes atributos depende do sítio de amostragem, e vice-versa. Percebe-se ainda, que em ambas as profundidades, para o atributo areia grossa, houve efeito significativo do trato cultural e do sítio de amostragem, isoladamente. Comportamento semelhante é observado para a argila na profundidade de 0,20 - 0,40 m.

Tabela 1 - Análise de variância dos atributos físicos: areia grossa (AG), areia fina (AF), argila (Arg) e silte, obtidos em lavouras de cafeeiro conilon cultivadas sob distintos tratos culturais e em diferentes sítios de amostragem

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio			
Profundidade de 0,00 - 0,20 m					
		AG	AF	Arg	Silte
Tratos (T)	2	2557,438 *	944,442 **	8484,656 **	5787,471 *
Resíduo a	12	797,473	31,267	275,347	990,072
Sítios (S)	2	26910,80 **	1413,691 **	46093,27 **	5077,853 **
Interação T x S	4	724,575	490,235 **	7599,526 **	5824,808 **
Resíduo b	24	1697,169	53,152	1548,055	705,243
CV (%)		12,86	8,80	8,65	18,62
Média Geral		320,23	82,79	454,36	142,62
Profundidade de 0,20 - 0,40 m					
		AG	AF	Arg	Silte
Tratos (T)	2	3454,818 **	696,699 **	12087,41 **	6249,347 **
Resíduo a	12	417,996	36,596	570,752	770,062
Sítios (S)	2	13098,84 **	2067,927 **	20356,71 **	326,583
Interação T x S	4	1387,262	260,047 **	2948,77	6834,612 **
Resíduo b	24	1272,638	14,024	1549,782	1250,870
CV (%)		12,72	4,82	7,89	24,67
Média Geral		280,36	77,55	498,74	143,35

** , * Significativo a 1 e 5%, respectivamente pelo teste F.

Para a areia grossa (AG), na camada superficial do solo (0,00 - 0,20 m), não houve diferença significativa entre os tratos culturais adotados (Tabela 2). Na profundidade de 0,20 - 0,40 m, houve diferença significativa entre os tratos culturais adotados, sendo que M3 diferiu dos demais tratos. O fato do solo sob o trato cultural M3 apresentar maior teor de AG, neste local, pode estar associado à maior contribuição do mineral quartzo, principal constituinte da fração areia (RESENDE et al., 2005), apesar de as lavouras encontrarem-se sob a mesma ordem de solo (Latossolo). Nota-se, também, que os maiores teores de AG estão ocorrendo na camada superficial do solo.

Tabela 2 - Valores médios da areia grossa (AG) em g kg^{-1} , nas profundidades de 0,00 - 0,20 e 0,20 - 0,40 m do solo, obtidos em lavouras de cafeeiro conilon cultivadas sob distintos tratos culturais e em diferentes sítios de amostragem ⁽¹⁾

Profundidade 0,00 - 0,20 m					
Tratos ⁽²⁾			Sítios ⁽³⁾		
M1	M2	M3	TS	TM	TI
322,2 A	306,2 A	332,1 A	273,2 B	332,0 A	355,3 A
Profundidade 0,20 - 0,40 m					
Tratos ⁽²⁾			Sítios ⁽³⁾		
M1	M2	M3	TS	TM	TI
267,2 B	276,8 B	296,9 A	260,5 B	266,2 B	314,3 A

⁽¹⁾ Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5%;

⁽²⁾ M1 - irrigação por gotejamento, calagem a cada dois anos, adubação química, roçadas e uso da palha de café; M2 - adubação química, roçadas e capinas; e M3 - capinas e roçadas;

⁽³⁾ TS - terço superior; TM - terço médio; e TI - terço inferior.

A Tabela 2 demonstra que existe diferença significativa entre os sítios de amostragem para os teores de AG, em ambas as profundidades. Nota-se que, para a profundidade de 0,00 - 0,20 m, o sítio de amostragem TS diferiu dos demais sítios, entretanto, o TM e o TI não apresentam diferença significativa entre si. Já para a profundidade de 0,20 - 0,40 m, o sítio TI diferiu dos demais sítios, sendo que TS e TM não diferiram entre si. Os maiores teores de AG nos sítios de amostragem TM e

TI na camada superficial do solo e em TI na camada subsuperficial podem ser devido ao peso das partículas, à ação da gravidade e à declividade do terreno.

Sob trato cultural M1, verifica-se que os três sítios de amostragem diferiram entre si, com menor teor de areia fina (AF) sendo encontrado em TS (Tabela 3). Nota-se, ainda, que os menores valores encontrados no TS podem estar relacionados ao fato de não serem adotadas práticas conservacionistas e ao declive do terreno, favorecendo o movimento desta fração ao longo do sentido do declive do terreno. Para M2, percebe-se que não há influência do sítio de amostragem para AF na camada superficial (0,00 - 0,20 m), ocorrendo diferença, quanto ao sítio de amostragem, somente na profundidade de 0,20 - 0,40 m, sendo que o TI diferiu dos demais, apresentando os maiores valores observados. Com relação ao M3, percebe-se que, na camada superficial, o sítio de amostragem TI não diferiu de TM e este último não diferiu de TS. Na profundidade de 0,20 - 0,40 m, o TI diferiu dos demais sítios de amostragem.

Quando se comparam os tratos culturais adotados, dentro de cada sítio de amostragem (Tabela 3), percebe-se que para o sítio TS, em ambas as profundidades, o trato M2 diferiu significativamente dos demais tratos (M1 e M3), apresentando teores superiores de AF. Para o sítio TI, o trato cultural M1, em ambas as profundidades, diferiu dos demais, o que pode ser devido os tratos culturais M2 e M3 apresentarem maior declividade no sítio de amostragem TI.

Como os latossolos são solos muito intemperizados, espera-se menores teores de silte nos solos, como ficou evidenciado neste trabalho (Tabela 3). Entretanto, percebe-se que este atributo também foi influenciado pelos tratos culturais e sítios de amostragem. Na camada superficial (0,00 - 0,20 m), há diferença entre os teores de silte existentes dentro de cada trato cultural em relação aos sítios de amostragem, sendo que para M1 e M2, o teor de silte em TM diferiu dos demais sítios, indicando a instabilidade desta fração no sítio de amostragem TM em relação ao TS. Comportamento semelhante foi observado no trato cultural M1 para a profundidade de 0,20 - 0,40 m, o que é corroborado por Bockheim et al. (2000), que ao trabalharem em solos sob florestas nos Estados Unidos, observaram que os teores de silte eram variáveis conforme a topografia. Entretanto, na profundidade de 0,20 - 0,40 m para M2 e M3, verifica-se que não ocorreu diferença significativa entre os sítios de amostragem.

Tabela 3 - Valores médios da areia fina (AF) e silte, nas profundidades de 0,00 - 0,20 e 0,20 - 0,40 m do solo, obtidos em lavouras de cafeeiro conilon cultivadas sob distintos tratos culturais e em diferentes sítios de amostragem⁽¹⁾

Tratos ⁽²⁾	Profundidade 0,00 - 0,20 m			Profundidade 0,20 - 0,40 m		
	Sítios de amostragem ⁽³⁾			Sítios de amostragem ⁽³⁾		
	TS	TM	TI	TS	TM	TI
-----AF (g kg ⁻¹)-----						
M1	70,0 Cb	89,1 Ba	109,4 Aa	65,3 Cb	84,3 Ba	99,1 Aa
M2	86,6 Aa	78,7 Aab	89,0 Ab	78,3 Ba	73,4 Bb	87,7 Ab
M3	65,7 Bb	74,9 ABb	81,4 Ab	60,3 Bb	64,3 Bc	85,0 Ab
-----Silte (g kg ⁻¹)-----						
M1	169,3 Aa	85,5 Bb	132,9 Aa	157,7 Aa	73,1 Bb	130,8 Aa
M2	147,2 Aa	104,5 Bb	148,3 Aab	131,2 Aa	174,3 Aa	142,7 Aa
M3	130,4 Ba	175,5 Aa	189,5 Ab	154,8 Aa	182,9 Aa	142,2 Aa

⁽¹⁾ Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5%;

⁽²⁾ M1 - irrigação por gotejamento, calagem a cada dois anos, adubação química, roçadas e uso da palha de café; M2 - adubação química, roçadas e capinas; e M3 - capinas e roçadas;

⁽³⁾ TS - terço superior; TM - terço médio; e TI - terço inferior.

Pela Tabela 4, na profundidade de 0,00 - 0,20 m, pode-se observar que para os tratos culturais M1 e M2, o sítio de amostragem TI diferiu dos demais sítios, já para M3, a posição TS diferiu significativamente de TM e TI, apresentando os maiores teores de argila (Arg). Quando se comparam os tratos culturais adotados nas lavouras cafeeiras, verifica-se, para o sítio de amostragem TS, que não houve diferença significativa entre os tratos culturais adotados, contudo, para os sítios TM e TI, nota-se que o trato cultural M3 diferiu significativamente dos demais. Para a profundidade de 0,20 - 0,40 m, verifica-se que M1 diferiu significativamente de M2 e M3, já para os sítios de amostragem, nota-se que TI diferiu significativamente dos demais, apresentando os menores teores de Arg.

Analisando o efeito entre os tratos culturais adotados (M1, M2 e M3), constata-se, pela Tabela 4, que no terço superior não houve efeito dos tipos de tratos empregados, enquanto que, para o TM e TI, o trato M3 proporcionou o menor teor de argila em comparação ao M1 e M2, que por sua vez não diferiram entre si. Esse fato pode estar relacionado à maior estabilidade dos microagregados, já que

nesse sítio os teores de silte foram maiores (Tabela 3). Para o atributo argila, possivelmente as diferenças existentes entre os sítios de amostragem, nos tratos M1, M2 e M3, é também devido à declividade do terreno, principalmente M3 que apresenta a maior declividade. Dentro dos tratos culturais M2 e M3, as diferenças existentes entre os sítios de amostragem, para os teores de Arg, podem ser explicadas pelos tratos culturais, como capinas que deixam o solo exposto e a falta de práticas conservacionistas, o que é corroborado por Rufino et al. (1985), Dadalto et al. (1995) e Ferrão et al. (2004), favorecendo assim um aumento do volume e da velocidade da água ao longo do declive e, conseqüentemente, o processo erosivo.

Tabela 4 - Valores médios da argila (Arg) em g kg^{-1} , nas profundidades de 0,00 - 0,20 e 0,20 - 0,40 m do solo, obtidos em lavouras de cafeeiro conilon cultivadas sob distintos tratos culturais e em diferentes sítios de amostragem ⁽¹⁾

Profundidade 0,00 - 0,20 m						
Tratos ⁽²⁾	Sítios de amostragem ⁽³⁾					
	TS	TM	TI			
M1	486,0 Aa	484,3 Aa	406,3 Ba			
M2	495,5 Aa	502,9 Aa	428,2 Ba			
M3	529,3 Aa	408,1 Bb	348,4 Bb			
Profundidade 0,20 - 0,40 m						
Tratos ⁽²⁾			Sítios de amostragem ⁽³⁾			
M1	M2	M3	TS	TM	TI	
529,2 A	493,8 B	473,1 B	523,5 A	516,2 A	456,4 B	

⁽¹⁾ Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5%;

⁽²⁾ M1 - irrigação por gotejamento, calagem a cada dois anos, adubação química, roçadas e uso da palha de café; M2 - adubação química, roçadas e capinas; e M3 - capinas e roçadas;

⁽³⁾ TS - terço superior; TM - terço médio; e TI - terço inferior.

Os dados apresentados para o atributo do solo argila (Arg), sob os tratos culturais M1, M2 e M3, sugerem que esteja ocorrendo possível movimentação de argila pela erosão da encosta, sendo que esta fração do solo não está sendo depositada em TI, já que os três sítios de amostragem se encontram em regiões

exportadoras de materiais. A argila perdida possivelmente está sendo carregada para os cursos d'água e mananciais promovendo o assoreamento.

Segundo Imhoff (2002), a variação nos teores de argila é encontrada em áreas de latossolos devido ao grau de pedogênese, características de superfícies geomorfológicas (relevo) e material de origem, os quais são um dos principais fatores responsáveis pelas mudanças seqüenciais nos atributos do solo ao longo do gradiente de inclinação das vertentes.

Observando as Tabelas 2, 3 e 4, percebe-se que há um predomínio da fração argila (Arg) em relação às demais frações, em ambas as profundidades, independente do trato cultural adotado e do sítio de amostragem. Os teores de Arg na profundidade de 0,00 - 0,20 m são, em média, inferiores aos observados na profundidade de 0,20 - 0,40 m (Tabela 4). Nota-se, também que, à medida que os teores de AG são maiores na camada superficial (Tabela 2), os teores de Arg tendem a diminuir (Tabela 4). Esses menores valores podem estar associados à remoção da argila da camada superficial por erosão. Segundo Basic et al. (2002), a erosão do solo não retira igualmente todas as partículas do solo, sendo a mesma seletiva, retirando primeiramente argila e silte, as quais são carregadas ao longo do declive.

As diferenças existentes entre os atributos areia, silte e argila podem estar associados aos diferentes tipos de tratamentos culturais empregados nas lavouras cafeeiras, que deixam maior ou menor proporção de área com cobertura vegetal sobre o solo, o que é corroborado por Toledo et al. (1996), Alcântara (1997), Alcântara & Ferreira (2000) e Ferrão et al. (2004). Já as diferenças observadas quanto aos sítios de amostragem, podem ser devido ao declive do terreno, que facilita o transporte das partículas do solo, principalmente as de menor tamanho, como argila e silte, como também devido aos sítios de amostragem terem sido localizados em regiões consideradas exportadoras de materiais, o que possivelmente estaria condicionando migração das partículas do solo (areias grossa e fina, silte e argila), para regiões consideradas de "depósito" de materiais, tais como cursos d'água e mananciais, promovendo assoreamento e perda da qualidade do solo e do ambiente circundante à lavoura cafeeira.

Percebe-se, ainda, que os solos onde estão implantadas as lavouras, encontram-se em condições apropriadas para a cafeicultura, pois os mesmos não

são excessivamente arenosos e/ou excessivamente argilosos, conforme salientam Matiello (1998) e Rena e Silveira (2003).

Apesar das diferenças encontradas na análise granulométrica para os atributos areia, silte e argila, verifica-se que, independente do trato cultural empregado, do sítio de amostragem e da profundidade estudada, todos os materiais de solos apresentaram textura argilosa (LEMOS E SANTOS, 2002).

4.3.2. Densidade do solo, Porosidade total, Macroporosidade e Microporosidade

Pela Tabela 5, verifica-se que houve interação significativa entre os tratos culturais (T), bem como nos sítios de amostragem (S) para os atributos densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), macroporosidade (MaP) e microporosidade (MiP), sendo então aplicado o teste de Tukey para comparação entre as médias, conforme apresentado na Tabela 6.

Tabela 5 - Análise de variância dos atributos físicos: densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), microporosidade (MiP) e macroporosidade (MaP), obtidos em lavouras de cafeeiro conilon cultivadas sob distintos tratos culturais e em diferentes sítios de amostragem

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio			
Profundidade de 0,00 - 0,20 m					
		Ds	Pt	MiP	MaP
Tratos (T)	2	0,219x10 ⁻²	0,319x10 ⁻³	0,587x10 ⁻² **	0,891x10 ⁻² **
Resíduo a	12	0,289 x10 ⁻²	0,400x10 ⁻³	0,544x10 ⁻³	0,603x10 ⁻³
Sítios (S)	2	0,137x10 ⁻³	0,221x10 ⁻⁴	0,241x10 ⁻³	0,394x10 ⁻³
Interação T x S	4	0,123x10 ⁻¹ **	0,173x10 ⁻² **	0,126x10 ⁻² **	0,307x10 ⁻² **
Resíduo b	24	0,241x10 ⁻²	0,335x10 ⁻³	0,292x10 ⁻³	0,363x10 ⁻³
CV (%)		3,44	3,92	4,99	15,38
Média Geral		1,42	0,46	0,34	0,12
Profundidade de 0,20 – 0,40 m					
		Ds	Pt	MiP	MaP
Tratos (T)	2	0,711x10 ⁻² *	0,102x10 ⁻² *	0,538x10 ⁻² **	0,363x10 ⁻² *
Resíduo a	12	0,131x10 ⁻²	0,190x10 ⁻³	0,621x10 ⁻³	0,897x10 ⁻³
Sítios (S)	2	0,296x10 ⁻²	0,428x10 ⁻³	0,113x10 ⁻²	0,176x10 ⁻³
Interação T x S	4	0,224x10 ⁻¹ **	0,324x10 ⁻² **	0,275x10 ⁻² **	0,469x10 ⁻² *
Resíduo b	24	0,233x10 ⁻²	0,337x10 ⁻³	0,630x10 ⁻³	0,116x10 ⁻²
CV (%)		3,58	3,76	7,12	25,23
Média Geral		1,34	0,48	0,35	0,13

**,* Significativo a 1 e 5%, respectivamente pelo teste F.

Os resultados apresentados na Tabela 6, para o atributo densidade do solo (Ds), mostram que os tratos culturais M1 e M3 proporcionaram diferenças significativas quanto ao sítio de amostragem nas duas profundidades estudadas. Na profundidade de 0,00 - 0,20 m, são encontrados elevados valores de Ds, evidenciando o quanto esse atributo é influenciado pelos tratos culturais adotados nas lavouras cafeeiras em todos os sítios de amostragem, o que é corroborado por Alcântara & Ferreira (2000) e Gontijo (2003). Esses elevados valores de Ds podem estar associados ao rearranjo das partículas do solo. A camada superficial está sujeita aos efeitos do impacto das gotas de chuva que promovem a quebra dos agregados e o desprendimento das partículas (GAVANDE, 1972; ALCÂNTARA & FERREIRA, 2000; RESENDE et al. 2002), as quais, por sua vez, movimentam-se em seu perfil, causando o entupimento dos macroporos (BOUMA, 1991), aumentando, assim, a sua densidade e provocando o encrostamento da camada superficial (FULLER et al., 1994), bem como aos efeitos de capinas e roçadas que atuam na estrutura do solo.

Para a profundidade de 0,20 - 0,40 m, verifica-se, para o trato M1, que os valores de Ds encontrados para o sítio de amostragem TI diferiram dos demais sítios (Tabela 6). O maior valor de Ds encontrado em TI, no trato cultural M1, possivelmente está relacionado às práticas culturais empregadas à lavoura cafeeira, tais como adubação e calagem que favorecem a dispersão da argila e conseqüente movimentação ao longo do declive, bem como por ser a região que recebe todo o material da lavoura proveniente das enxurradas. No trato cultural M3, distintamente do M1, verifica-se, em ambas as profundidades, que o sítio de amostragem TM não diferiu de TS e este último não diferiu de TI (Tabela 6). Os menores valores de Ds encontrados no TI podem estar associados à não utilização de adubação e calagem nesta lavoura, desfavorecendo assim a dispersão da argila e sua movimentação do TS em direção ao TI. Para M2, não houve diferença significativa nas duas profundidades estudadas, entre os sítios de amostragem, ou seja, os tratos culturais empregados à lavoura não interferiram nesse atributo em relação aos sítios de amostragem.

Tabela 6 - Valores médios da densidade do solo, porosidade total, macroporosidade e microporosidade, nas profundidades de 0,00 - 0,20 e 0,20 - 0,40 m do solo, obtidos em lavouras de cafeeiro conilon cultivadas sob distintos tratos culturais e em diferentes sítios de amostragem ⁽¹⁾

Tratos ⁽²⁾	Profundidade 0,00 - 0,20 m			Profundidade 0,20 - 0,40 m		
	Sítios de amostragem ⁽³⁾			Sítios de amostragem		
	TS	TM	TI	TS	TM	TI
-----Densidade do solo (kg dm ⁻³)-----						
M1	1,40 ABa	1,36 Bb	1,46 Aa	1,31 Ba	1,31 Bb	1,46 Aa
M2	1,41 Aa	1,44 Aa	1,43 Aab	1,33 Aa	1,30 Ab	1,32 Ab
M3	1,44 ABa	1,46 Aa	1,37 Bb	1,37 ABa	1,38 Aa	1,30 Bb
-----Porosidade Total (m ³ m ⁻³)-----						
M1	0,473 Aa	0,488 Aa	0,451 Ab	0,498 Aa	0,500 Aa	0,444 Ab
M2	0,467 Aa	0,457 Ab	0,462 Aab	0,490 Aa	0,503 Aa	0,496 Aa
M3	0,460 Aa	0,448 Ab	0,483 Aa	0,477 Aa	0,471 Ab	0,504 Aa
-----Macroporosidade (m ³ m ⁻³)-----						
M1	0,137 Aa	0,172 Aa	0,142 Aa	0,159 Aa	0,171 Aa	0,121 Aa
M2	0,118 Aa	0,097 Ab	0,093 Ab	0,113 Ba	0,125 ABab	0,170 Aa
M3	0,130 Aa	0,086 Ab	0,138 Aa	0,134 Aa	0,099 Ab	0,125 Aa
-----Microporosidade (m ³ m ⁻³)-----						
M1	0,336 Aa	0,316 Ab	0,309 Ab	0,339 Aa	0,329 Ab	0,323 Ab
M2	0,349 Aa	0,360 Aa	0,369 Aa	0,377 Aa	0,378 Aa	0,326 Ab
M3	0,330 Aa	0,362 Aa	0,345 Aa	0,343 Aa	0,372 Aa	0,379 Aa

⁽¹⁾ Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5%;

⁽²⁾ M1 - irrigação por gotejamento, calagem a cada dois anos, adubação química, roçadas e uso da palha de café; M2 - adubação química, roçadas e capinas; e M3 - capinas e roçadas;

⁽³⁾ TS - terço superior; TM - terço médio; e TI - terço inferior.

Quando se comparam os valores de Ds entre os tratos culturais adotados (M1, M2 e M3) para cada sítio de amostragem, percebe-se que para o TS não há diferença entre os tratos culturais em ambas as profundidades (Tabela 6). Para o TM, o trato M1 diferiu dos tratos M2 e M3, na camada superficial (0,00 - 0,20 m). Na profundidade de 0,20 - 0,40 m, os tratos culturais M1 e M2 diferiram de M3. Os menores valores para Ds observados no TM do trato cultural M1, da camada superficial, podem estar associados ao manejo cultural empregado, como o uso da

palha do café e roçadas que mantém uma cobertura vegetal sobre o solo. Para o sítio TI, verifica-se que para a profundidade de 0,00 - 0,20 m, M1 não diferiu de M2 que por sua vez não diferiu de M3. Esses valores diferenciados da Ds podem estar associados aos tratos culturais e ao declive do terreno e ao histórico das áreas, onde estão implantadas as três lavouras cafeeiras, que, anteriormente, eram destinadas à pastagem ou ao cultivo de citros.

Percebe-se que os valores de Ds, em ambas as profundidades, independente do trato cultural e do sítio de amostragem, estão acima dos valores médios considerados ideais para Ds, os quais segundo Camargo & Alleoni (1997), estão compreendidos na faixa de 1,0 e 1,2 kg dm⁻³ para solos argilosos. Contudo, de acordo com Matiello et al. (2002), os valores de Ds observados estão próximos dos valores críticos para essa cultura.

Os elevados valores de Ds indicam uma possível compactação e/ou adensamento do solo. Carvalho Junior (1995), ao trabalhar com latossolos de textura média, observou a ocorrência de camadas adensadas e/ou compactadas sob mata natural, pastagem e em áreas sem o uso de máquinas agrícolas por seis anos. Elevados valores de Ds podem atuar como fator limitante ao desenvolvimento e produtividade do cafeeiro, haja vista que, a maior parte do sistema radicular ativo do cafeeiro encontra-se até a profundidade de 0,30 m (GUIMARÃES & LOPES, 1986), sendo o desenvolvimento das raízes prejudicado nessas condições (MATIELLO et al., 2002).

Valores de Ds, próximos aos encontrados neste trabalho, foram obtidos por Alcântara (1997) e Alcântara & Ferreira (2000), ao trabalharem em lavouras de café, em Latossolo Roxo, submetidas a diferentes métodos de controles de plantas daninhas, os quais observaram que mesmo após dezoito anos utilizando a capina manual, como trato cultural, a Ds manteve-se elevada.

A compactação e/ou adensamento nas camadas superficiais de solos sob cultivo, caracterizada por elevados valores de Ds, é comumente associada à redução da porosidade total e/ou da macroporosidade. Pela tabela 6, para o atributo porosidade total (Pt), percebe-se que não existe diferença significativa entre os sítios de amostragem, dentro de cada trato cultural, nas profundidades avaliadas. Entretanto, comparando-se os tratos culturais, dentro de cada sítio de amostragem, percebe-se que ocorrem diferenças significativas no TM e no TI. Semelhante ao ocorrido para o atributo Ds, não houve diferença significativa dos valores de Pt entre

os tratos culturais para o TS, em ambas as profundidades (Tabela 6). No TM, na profundidade de 0,00 - 0,20 m, os maiores valores de Pt foram encontrados em M1 (Tabela 6), mostrando que os tratos culturais, como roçadas e uso da palha de café, influenciam positivamente sobre este atributo, o que é corroborado por Albuquerque et al. (2003b), que ao trabalharem com videiras, relatam que a cobertura vegetal é eficiente na conservação da porosidade. Entretanto, para o TI, observa-se comportamentos distintos, sendo os menores valores de Pt verificados em M1 nas profundidades de 0,00 - 0,20 e 0,20 - 0,40 m (Tabela 6), o que pode ser relacionado às diferenças de tratos culturais e utilização prévia das áreas, antes de serem implantadas as lavouras cafeeiras. Verifica-se que, em geral, os maiores valores de Pt são observados na profundidade de 0,20 - 0,40 m, sendo que estes resultados podem ser atribuídos à maior contribuição da fração argila nessa profundidade.

Apesar de os valores de Ds serem considerados elevados (CAMARGO & ALLEONI, 1997), observa-se que os valores de Pt, independente do sítio de amostragem, trato cultural adotado e profundidade estudada, encontram-se, segundo Brady (1989), dentro do intervalo considerado ideal para solos argilosos. Contudo, segundo Guimarães & Lopes (1986), na profundidade de 0,00 - 0,20 m, os valores de Pt encontram-se abaixo do valor considerado ideal para as plantas de café, que corresponde a 50%.

Para a macroporosidade (MaP) (Tabela 6), nota-se que na profundidade de 0,00 - 0,20 m, não houve diferença significativa, para os sítios de amostragem, dentro dos tratos culturais (M1, M2 e M3). Comportamento semelhante é observado para M1 e M3 na profundidade de 0,20 - 0,40 m. Quando se avaliam os tratos culturais dentro dos sítios de amostragem, verifica-se que, para TS na camada superficial do solo (0,00 - 0,20 m), como na camada subsuperficial (0,20 - 0,40 m) para TS e TI, não houve diferença significativa entre os tratos culturais adotados. Para os demais sítios, nota-se que há diferença significativa entre os tratos culturais adotados. Os elevados valores de Ds e reduzidos de MaP (Tabela 6), possivelmente, estariam favorecendo a erosão do solo e o arraste das partículas do solo, como silte e argila ao longo do declive do terreno.

Em termos de distribuição dos poros do solo (Tabela 6), a macroporosidade (MaP) variou de 0,08 a 0,17 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, na profundidade de 0,00 - 0,20 m, e 0,09 a 0,17 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, na profundidade de 0,20 - 0,40 m. Valores semelhantes aos apresentados, também foram encontrados por Pedrotti et al. (2003) em Latossolo Vermelho-

Amarelo. Segundo Vomocil & Flocker (1966), o volume de macroporos que correspondem ao limite crítico é $0,1 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, o que, de acordo com os resultados apresentados, condicionaria a um ambiente desfavorável à cultura do café, no TM e TI do trato cultural M2 na profundidade de 0,00 - 0,20 m e no TM do trato M3 nas duas profundidades estudadas, podendo ser considerados locais restritivos devido à importância dos macroporos na difusão da solução do solo, o que é corroborado por Bouma (1991).

Os elevados valores de Ds e reduzidos valores de MaP (Tabela 6) podem estar associados ao uso de capinas que deixam o solo desnudo e favorecem a desagregação da sua estrutura devido ao impacto da gota de chuva, deixando partículas dispersas que são arrastadas para o interior dos poros, causando aumento na densidade do solo e redução na porosidade total do solo, o que é corroborado por Alcântara (1997) e Alcântara e Ferreira (2000). O rearranjo das partículas do solo acarretando aumento da densidade do solo, redução da porosidade total e, principalmente, da macroporosidade do solo, em função do trato cultural empregado na lavoura cafeeira, poderá ocasionar dificuldade das plantas de café em aprofundar e emitir radicelas. De acordo com Hatano et al. (1988), existe uma estreita relação entre a macroporosidade do solo e o crescimento radicular, onde o crescimento de raízes é maior quando há maior número e continuidade de macroporos.

Para o atributo microporosidade (Tabela 6), percebe-se que não existe diferença significativa entre os sítios de amostragem, dentro de cada trato cultural (M1, M2 e M3), nas duas profundidades avaliadas. Quando se comparam os tratos adotados, dentro de cada sítio de amostragem, nota-se que não ocorreu diferença significativa para a posição TS, entre os tratos culturais adotados, em ambas as profundidades avaliadas. Verifica-se, ainda, para TM em ambas as profundidades e TI na profundidade de 0,0 - 0,20 m, que os valores de MiP observados em M2 e M3 não diferiram, sendo que M1 apresentou os menores valores de MiP.

Pela Tabela 6, verifica-se, ainda, que há um predomínio de microporos no solo em relação ao de macroporos, que aliado aos elevados valores de Ds na camada superficial do solo (0,00 - 0,20 m), podem contribuir para dificultar o movimento de ar e água, conforme salienta Jorge (1985), principalmente para as raízes do cafeeiro, pois a maioria das raízes ativas encontra-se na profundidade de 0,30 m (GUIMARÃES & LOPES, 1986). Deve-se ressaltar que o fluxo de gases, bem

como o movimento de água no solo, estão intimamente relacionados ao volume de macroporos, ou seja, a garantia da oxigenação radicular bem como a capacidade de infiltração e redistribuição de água no perfil dependem desse atributo.

4.3.3. Resistência do solo à penetração e umidade do solo

Pela Tabela 7, verifica-se que, para os atributos resistência do solo à penetração (RP), na profundidade de 0,00 - 0,20 m e umidade do solo (U), nas duas profundidades avaliadas, a interação tratos culturais x sítios de amostragem (T x S) não foi significativa, sendo observado efeito significativo, para esses atributos, somente para o trato cultural. Já para a profundidade de 0,20 - 0,40 m, observou-se interação T x S significativa para o atributo RP.

Tabela 7 - Análise de variância dos atributos físicos: resistência do solo à penetração (RP) e umidade do solo (U), obtidos em lavouras de cafeeiro conilon cultivadas sob distintos tratos culturais e em diferentes sítios de amostragem

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio			
		Profundidade de 0,00 - 0,20 m		Profundidade de 0,20 - 0,40 m	
		RP	U	RP	U
Tratos (T)	2	33,463 **	$0,136 \times 10^{-1**}$	114,658 **	$0,176 \times 10^{-1**}$
Resíduo a	12	0,227	$0,106 \times 10^{-3}$	1,142	$0,623 \times 10^{-4}$
Sítios (S)	2	0,172	$0,288 \times 10^{-3}$	12,188 **	$0,307 \times 10^{-3}$
Interação T x S	4	0,183	$0,194 \times 10^{-3}$	6,917 **	$0,354 \times 10^{-3}$
Resíduo b	24	0,391	$0,243 \times 10^{-3}$	0,697	$0,348 \times 10^{-3}$
CV (%)		14,73	6,94	11,35	9,06
Média Geral		4,24	0,22	7,35	0,20

** , * Significativo a 1 e 5%, respectivamente pelo teste F.

Dentre os tratos culturais estudados, na profundidade de 0,00 - 0,20 m, verifica-se que M3 diferiu significativamente de M2 que por sua vez diferiu de M1, apresentando M3 os maiores valores para RP (Tabela 8). Os menores valores de RP encontrados em M1 associado aos maiores valores de umidade encontrados no solo sob M1, embora não tenham diferido de M2, podem indicar a importância do uso da palha de café (Tabela 9). Silva et al. (2001), trabalhando com café arábica, não

observaram diferença significativa entre os tratos culturais avaliados, quanto à resistência do solo à penetração.

Tabela 8 - Valores médios da resistência do solo à penetração (RP), em MPa, nas profundidades de 0,00 - 0,20 e 0,20 - 0,40 m do solo, obtidos em lavouras de cafeeiro conilon cultivadas sob distintos tratos culturais e em diferentes sítios de amostragem ⁽¹⁾

Tratos ⁽²⁾	Sítios de amostragem ⁽³⁾			
	TS	TM	TI	
Profundidade 0,00 - 0,20 m	Profundidade 0,20 - 0,40 m			
	-----RP (MPa)-----			
M1	3,11 c	5,64 Ab	5,80 Ab	6,12 Ab
M2	3,68 b	5,19 Ab	6,15 Ab	5,64 Ab
M3	5,93 a	8,04 Ba	11,16 Aa	12,44 Aa

⁽¹⁾ Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5%;

⁽²⁾ M1 - irrigação por gotejamento, calagem a cada dois anos, adubação química, roçadas e uso da palha de café; M2 - adubação química, roçadas e capinas; e M3 - capinas e roçadas;

⁽³⁾ TS - terço superior; TM - terço médio; e TI - terço inferior.

Quando se avaliam os tratos culturais adotados dentro dos sítios de amostragem, na profundidade de 0,20 - 0,40 m, verifica-se que M3 diferiu estatisticamente de M1 e M2 (Tabela 8), apresentando M3 valores superiores em todas os sítios de amostragem (TS, TM e TI), indicando que este atributo está sendo influenciado pelo manejo e profundidade de amostragem. Os elevados valores de RP observados em M3, em ambas as profundidades estudadas, podem estar associados aos menores teores de umidade do solo sob este trato cultural (Tabela 9), pois a RP aumenta à medida que a umidade do solo diminui (TORMENA et al., 1999; IMHOFF, 2002; ARAÚJO et al., 2004).

Tabela 9 - Valores médios de umidade do solo (U) em kg kg^{-1} , nas profundidades de 0,00 - 0,20 e 0,20 - 0,40 m do solo, obtidos em lavouras de cafeeiro conilon cultivadas sob distintos tratos culturais⁽¹⁾

Profundidade 0,00 - 0,20 m			Profundidade 0,20 - 0,40 m		
Tratos ⁽²⁾			Tratos ⁽²⁾		
M1	M2	M3	M1	M2	M3
----- kg kg^{-1} -----					
22,0 A	22,0 A	16,0 B	24,0 A	23,0 A	19,0 B

⁽¹⁾ Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5%;

⁽²⁾ M1 - irrigação por gotejamento, calagem a cada dois anos, adubação química, roçadas e uso da palha de café; M2 - adubação química, roçadas e capinas; e M3 - capinas e roçadas.

Os valores apresentados, na Tabela 8, para a RP, na profundidade de 0,00 - 0,20 m do solo para M3, e na profundidade de 0,20 - 0,40 m independente dos tratos culturais adotados e dos sítios de amostragem, estão acima de 5,1 MPa. Valores dessa magnitude podem ser restritivos ao desenvolvimento radicular do cafeeiro. Os valores observados, segundo Camargo & Alleoni (1997), estariam na amplitude de faixa da classe de resistência alta (5,1 a 10 MPa) onde há sérias limitações para o desenvolvimento das raízes, o que possivelmente está associado aos elevados valores da Ds e MiP (Tabela 6) e ao trato cultural adotado que mantém o solo desnudo. Tal fato é corroborado por Teixeira Neto et al. (2003), que ao trabalharem em sistema plantio direto, observaram que em solo sem uma permanente cobertura morta, em sua superfície, ocorrem altos valores de resistência à penetração, e podendo ser restritivos ao desenvolvimento das culturas. Essas restrições ao desenvolvimento das raízes são bastante prejudiciais, principalmente, em épocas de déficit hídrico em lavouras irrigadas e não irrigadas, o que provocaria, mesmo estando os nutrientes no solo em níveis de exigência satisfatória para a cultura do café conilon, a sua não disponibilidade para a planta devido à dificuldade do movimento de água e solutos pelo solo até a zona de absorção das raízes.

Para a profundidade de 0,20 - 0,40 m, analisando os sítios de amostragem dentro dos tratos M1 e M2, nota-se que não houve diferença significativa entre os sítios de amostragem (Tabela 8), o que demonstra que não há influência do sítio de amostragem para esse atributo em profundidade. Comportamento distinto foi

observado em M3, sendo que o TS diferiu significativamente dos demais sítios de amostragem.

Pela Tabela 8, ao observar as duas profundidades estudadas, percebe-se que os maiores valores para a RP encontram-se na profundidade de 0,20 - 0,40 m para os respectivos manejos, o que é corroborado por Gontijo (2003), o qual trabalhando com lavoura cafeeira submetida a diferentes manejos, verificou aumento da resistência do solo à penetração com a profundidade do solo. Contudo, Cavenage et al. (1999), ao estudarem os atributos físicos de um Latossolo Vermelho-Escuro com diversos usos (pinus, eucalipto, pastagem, mata ciliar, milho e cerrado), observaram que, à exceção da cultura do milho, houve redução da resistência do solo à penetração com o aumento da profundidade. Os elevados valores de RP, na profundidade de 0,20 - 0,40 m, também podem estar associados aos maiores teores de argila total (Tabela 4) encontrados nessa profundidade. Segundo Rena & Silveira (2003), solos muito argilosos e pesados apresentam problemas de resistência do solo à penetração.

4.3.4. Argila dispersa em água e grau de floculação

Pela Tabela 10 verifica-se que a interação T x S (tratos culturais e sítios de amostragem) foi significativa para os atributos argila dispersa em água (ADA) e grau de floculação (GF), para as duas profundidades estudadas (0,00 - 0,20 m e 0,20 - 0,40 m), mostrando que o efeito do trato cultural sobre esses atributos depende do sítio de amostragem, assim como o efeito do sítio de amostragem é dependente do trato cultural adotado.

Na profundidade de 0,00 - 0,20 m (Tabela 11), verifica-se que não houve diferença significativa, entre os sítios de amostragem, para o atributo ADA, dentro de M1. Comportamento semelhante é observado para M2 na camada subsuperficial do solo (0,20 - 0,40 m). Para M2, na profundidade de 0,00 - 0,20 m, nota-se que TS não diferiu de TI que, por sua vez, não diferiu de TM. Já em M3, verifica-se que o TM apresentou os maiores teores de ADA em relação ao TI e TS.

Ao se compararem os tratos culturais avaliados dentro de cada sítio de amostragem (TS, TM e TI), para a ADA na profundidade de 0,00 - 0,20 m (Tabela 11), percebe-se que, para TS e TI, M3 diferiu de M1 e M2, apresentando valores inferiores. Para a profundidade de 0,20 - 0,40 m, à exceção de TS, houve diferença significativa para os tratos culturais adotados.

Tabela 10 - Análise de variância dos atributos físicos: argila dispersa em água (ADA) e grau de floculação (GF), obtidos em lavouras de cafeeiro conilon cultivadas sob distintos tratos culturais e em diferentes sítios de amostragem

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio			
		Profundidade de 0,00 - 0,20 m		Profundidade de 0,20 - 0,40 m	
		ADA	GF	ADA	GF
Tratos (T)	2	72702,50 **	2351,712 **	62968,29 **	3366,925 **
Resíduo a	12	2268,352	80,925	1388,703	97,905
Sítios (S)	2	968,832	377,101	52814,50 **	2332,354 **
Interação T x S	4	24963,37 **	1406,607 **	38623,51 **	1476,770 **
Resíduo b	24	4423,588	240,579	1122,436	77,642
CV (%)		28,97	32,03	37,95	10,98
Média Geral		229,52	48,42	88,26	80,24

**,* Significativo a 1 e 5%, respectivamente pelo teste F.

Os maiores teores de ADA na camada superficial do solo (0,00 - 0,20 m), em M1 e M2, provavelmente se devem aos tratos culturais como calagem em M1 e adubação, principalmente potássica, em M1 e M2, o que é corroborado por Jucksch (1987), Summer (1992), Carvalho Júnior (1995), Albuquerque et al. (2003a) e Nunes (2003). Apesar de M3 ter apresentado menores valores de ADA no TS e TI (Tabela 11), a maior exposição do solo ao impacto das gotas de chuvas, nesta lavoura, pode provocar a desagregação da camada superficial do solo, e conseqüente entupimento dos poros do solo pela ADA (HELALIA et al., 1988).

O grau de floculação (GF) é um atributo, cujos valores são inversamente proporcionais aos da ADA, ou seja, os tratamentos que apresentaram os maiores teores de ADA serão aqueles com valores de GF menores e, vice-versa.

Assim como ocorreu para a ADA, para o GF na profundidade de 0,00 - 0,20 m (Tabela 11), não houve diferença significativa entre os sítios de amostragem para este atributo dentro de M1. Comportamento semelhante também é observado para M2 na camada subsuperficial do solo (0,20 - 0,40 m).

Comparando-se os sítios de amostragem, nota-se que, para M2 na profundidade de 0,00 - 0,20 m, TM diferiu de TS e TI, quanto ao GF. Já para M3, em ambas as profundidades, verifica-se que o TS diferiu de TM e TI, apresentando valores superiores de GF (Tabela 11).

Tabela 11 - Valores médios da argila dispersa em água (ADA) e grau de flocculação (GF) nas profundidades de 0,00 - 0,20 e 0,20 - 0,40 m do solo, obtidos em lavouras de cafeeiro conilon cultivadas sob distintos tratos culturais e em diferentes sítios de amostragem ⁽¹⁾

Tratos ⁽²⁾	Profundidade 0,00 - 0,20 m			Profundidade 0,20 - 0,40 m		
	Sítios de amostragem ⁽³⁾			Sítios de amostragem		
	TS	TM	TI	TS	TM	TI
-----ADA (g kg ⁻¹)-----						
M1	316,46Aa	297,57 Aa	269,13 Aa	62,24 Ba	37,99 Bb	271,90Aa
M2	304,13Aa	153,84 Bb	256,64ABa	31,18 Aa	1,90 Ab	7,30 Ac
M3	94,22 Bb	216,00Aab	157,67ABb	16,40 Ba	185,42 Aa	179,99Ab
-----GF (%)-----						
M1	34,71 Ab	38,56 Ab	33,71 Aa	88,27 Aa	93,40 Aa	43,03 Bb
M2	38,36 Bb	68,60 Aa	39,71 Ba	93,63 Aa	99,61 Aa	98,24 Aa
M3	81,43 Aa	46,18 Bb	54,46 Ba	87,82 Aa	60,92 Bb	57,23 Bb

⁽¹⁾ Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5%;

⁽²⁾ M1 - irrigação por gotejamento, calagem a cada dois anos, adubação química, roçadas e uso da palha de café; M2 - adubação química, roçadas e capinas; e M3 - capinas e roçadas;

⁽³⁾ TS - terço superior; TM - terço médio; e TI - terço inferior.

Quando se avaliam os tratos culturais adotados dentro dos sítios de amostragem, nota-se que estes apresentaram diferenças significativas para o atributo GF, à exceção do TI na profundidade de 0,00 - 0,20 m e do TS na profundidade de 0,20 - 0,40 m (Tabela 11).

Os maiores valores de ADA e menores valores de GF, em média, ocorreram na camada superficial do solo (Tabela 11). Resultados semelhantes foram observados por Alleoni & Camargo (1994), Prado & Centurion (2001), Pedrotti et al. (2003), e Nunes (2003), evidenciando o quanto esses atributos do solo são influenciados pelas práticas adotadas em cada trato cultural. A maior dispersão da argila (ADA) na profundidade de 0,00 - 0,20 m pode estar favorecendo a retirada da fração argila da camada superficial do solo e a conseqüente movimentação desta, no sentido do declive do terreno.

4.4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos para os distintos tratos culturais adotados e os diferentes sítios de amostragem avaliados permitem concluir que:

- dentre os atributos físicos dos solos estudados, a argila dispersa em água, o grau de floculação, a resistência do solo à penetração, a macro e a microporosidade mostraram-se importantes indicadores físicos da qualidade do solo, influenciados pelo trato cultural, sítio de amostragem e profundidade de avaliação, como também se mostraram mais sensíveis para avaliar mudanças na qualidade do solo decorrentes do manejo;

- as frações granulométricas (areia, silte e argila) foram influenciadas pelo sítio de amostragem e pelo trato cultural empregado na lavoura cafeeira;

- os maiores valores para densidade do solo foram observados na profundidade de 0,00 - 0,20 m em todos os tratos culturais;

- o solo sob trato cultural M3 apresentou os maiores valores para a resistência à penetração, em ambas as profundidades;

- os tratos culturais M1 e M2 apresentam valores superiores de argila dispersa em água e inferiores de grau de floculação na camada de 0,00 - 0,20 m do solo;

- em áreas de relevo forte ondulado, a divisão das áreas em segmentos (terços superior, médio e inferior), para avaliação das condições de solo, se faz necessária dada à heterogeneidade observada para a maior parte dos atributos físicos estudados.

4.5. REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; ERNANI, P. R.; MAFRA, A. L.; FONTANA, E. C. Aplicação de calcário e fósforo e estabilidade da estrutura de um solo ácido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.799-806, 2003a.

ALBUQUERQUE, J. A.; OLIVEIRA, O. L. P.; MAFRA, A. L.; SCHEIDT, F, R.; MEDEIROS, J. C.; ROSA, J. D.; PALUDO, M. B.; JUERGENS, J. P. Plantas de cobertura e atributos físico-hídricos do solo em parreirais na serra gaúcha. I. Vinícola Aurora em Pinto Bandeira, RS. In CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. **Anais...** Botucatu, 2003b. CD.

ALCÂNTARA, E. N. **Efeitos de diferentes métodos de controle de plantas daninhas na cultura do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) sobre a qualidade de um Latossolo Roxo distrófico**. 1997. 133p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Lavras, UFLA. 1997.

ALCÂNTARA, E. N.; FERREIRA, M. M. Efeitos de métodos de controle de plantas daninhas na cultura do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) sobre a qualidade física do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, p.711-721, 2000.

ALLEONI, L. R. F.; CAMARGO, O. A. Atributos físicos de Latossolos ácidos do norte paulista. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.51, p.321-326, 1994.

ARAÚJO, M. A.; TORMENA, C A.; SILVA, A. P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p.337-345, 2004.

BASIC, F.; KISIC, I.; NESTROY, O.; MESIC, M.; BUTORAC, A. Particle size distribution (texture) of eroded soil material. **Journal Agronomy & Crop Science**, Berlin, v.188, p.311-322, 2002.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; ROQUE, C. G. et al. Relação entre alguns atributos físicos e a produção de grãos de soja e arroz de sequeiro em Latossolos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, p.365-371, 2004.

BOCKHEIM, J. G.; MUNROE, J. S; DOUGLASS, D.; KOERNER, D. Soil development along an elevational gradient in the southeastern Uinta Mountains, Utah, USA. **Catena**, v.39, p.169-185, 2000.

BORGES, E. N.; LOMBARDI NETO, F.; CORRÊA, G. F.; COSTA, L. M da. Misturas de gesso e matéria orgânica alterando atributos físicos de um latossolo com compactação simulada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.21, p.125-130, 1997.

BOUMA, J. Influence of soil macroporosity on environmental quality. **Advances in Agronomy**, San Diego, v.46, p. 1-37, 1991.

BRADY, N. C. **Natureza e propriedades do solo**. 7 ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1989. 898p.

CAMARGO, O. A. de; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba: USP/ESALQ, 1997. 132p.

CARVALHO JÚNIOR, I. A. **Estimativas de parâmetros sedimentológicos para estudo de camadas compactas e/ou adensadas em Latossolo de textura média, sob diferentes usos**. 1995. 83p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Viçosa, UFV. 1995.

CAVENAGE, A.; MORAES, M. L. T.; ALVES, M. C.; CARVALHO, M. A. C.; FREITAS, M. L. M.; BUZETTI, S. Alterações nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro sob diferentes culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, p.997-1003, 1999.

DADALTO, G. G.; LANI, J. A.; PREZOTTI, L. C. Conservação do solo. In: COSTA E. B. da (coord.). **Manual técnico para a cultura do café no estado do Espírito Santo**. Vitória: SEAG-ES, 1995. p.107-110.

EMBRAPA. Centro de Pesquisas de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**. 2 ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA SOLOS, 1999. 412p.

FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A.; FERRÃO, M. A. G.; De MUNER, L. H.; VERDIN FILHO, A. C.; VOLPI, P. S.; MARQUES, E. M. G.; ZUCATELI, F. **Café conilon: técnicas de produção com variedades melhoradas**. Vitória: INCAPER, 2004. 60p. (Circular técnica 03-1)

FONTES, L. E. F.; CARVALHO JUNIOR, I. A.; COSTA, L. M. Modificações causadas pelo uso e a formação de camadas compactadas e adensadas em um Latossolo Vermelho-Escuro de textura média. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., 1995, Viçosa. **Resumos expandidos...** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo: UFV, 1995. v. 4, p.1928-1930.

FULLER, L. G.; GOH, T. B.; OSCARSON, D. W. Cultivation effects on dispersible clay of soil aggregates. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v.75, p.101-107, 1995.

GAVANDE, S. A. **Física de suelos: principios y aplicaciones**. Arco de Belém: Editorial Limusa-Wiley, 1972. 351p.

GONTIJO, I. **Avaliação de atributos físicos em solo de cerrado sob cafeicultura em dois sistemas de manejo de plantas espontâneas, utilizando testes de hipóteses e geoestatística**. 2003. 86p. Dissertação (Mestrado em agronomia) - Uberlândia, UFU. 2003.

GUIMARÃES, P. T. G.; LOPES, A. S. Solos para o cafeeiro: características, propriedades e manejo. In: RENA, A. B. et al. (Ed). **Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e o Fosfato, 1986. p.115-161.

HELALIA, A. M.; LETEY, J.; GRAHAM, R. C. Crust formation and clay migration effects on infiltration rate. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v.52, p.251-255, 1988.

HATANO, R.; IWANAGA, K.; OKAJIMA, H.; SAKUMA, T. Relationship between the distribution of soil macropores and root elongation. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v.34, p.535-546, 1988.

IMHOFF, S. Del C. **Indicadores de qualidade estrutural e trafegabilidade de Latossolos e Argissolos Vermelhos**. 2002. 94p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Piracicaba, ESALQ/USP. 2002.

JORGE, J. A. **Física e manejo dos solos tropicais**. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1985. 328p.

JUCKSCH, I. **Calagem e dispersão de argila em amostras de um Latossolo Vermelho-Amarelo**. 1987. 37p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Viçosa, UFV. 1987.

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

LE MOS, R. C.; SANTOS, R. D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 4 ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. 83p.

MATIELLO, J. B. **Café Conillon: como plantar, tratar, colher, preparar e vender**. Rio de Janeiro: MAA/SDR/PROCAFE/PNFC, 1998. 162p.

MATIELLO, J. B.; SANTINATO, R.; GARCIA, A. W. R.; ALMEIDA, S. R.; FERNADES, D. R. **Cultura do café no Brasil: novo manual de recomendações**. Rio de Janeiro: MAPA/PROCAFE, 2002. 387p.

MELO FILHO, J. F., SILVA, J. R. C. Erosão, teor de água no solo e produtividade de milho em plantio direto e preparo convencional de um podzólico vermelho-amarelo no Ceará. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.17, p.291-297, 1993.

NEDTEC, BOLETIM AGROMETEOROLOGICO. Disponível em: <http://www.nedtec.ufes.br/bol_agro/anagri3/j.monteiro/gaa_jeronimo.htm>. Acesso em: 22/09/2005.

NUNES, L. A. P. L. **Qualidade de um solo cultivado com café e sob mata secundária no município de Viçosa-MG**. 2003. 102p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Viçosa, UFV. 2003.

PEDROTTI, A.; FERREIRA, M. M.; CURI, N.; SILVA, M. L. N.; LIMA, J. M.; CARVALHO, C. Relação entre atributos físicos, mineralogia da fração argila e formas de alumínio no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.1-9, 2003.

PRADO, R. M.; CENTURION, J. F. Alterações na cor e no grau de floculação de um Latossolo Vermelho-Escuro sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, p.197-203, 2001.

RENA, A. B.; SILVEIRA, J. S. M. Fatores que afetam o desenvolvimento e a atividade do sistema radicular. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto-SP, **Anais...** Botucatu, 2003. Palestras. CD.

RESENDE, M; CURI, N.; REZENDE, S. B.; CORRÊA, G. F. **Pedologia: base para distinção de ambientes**. 4 ed. Viçosa: NEPUT, 2002. 338p.
RESENDE, M. CURI, N.; KER, J. C.; REZENDE, S. B. **Mineralogia de solos brasileiros: interpretação e aplicações**. Lavras: UFLA, 2005. 192p.

RUFINO, R. L.; HENKLAIN, J. C.; BISCAIA, R. C. M. Influência de práticas de manejo e cobertura vegetal do cafeeiro nas perdas de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.9, p.277-280, 1985.

SILVA, R. P.; FERNANDES, A. L. T.; DRUMOND, L. C. D.; FONTANA, G.; OLIVEIRA, C. B. Avaliação da compactação do solo em diferentes níveis de tecnologia de produção de café. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE PESQUISAS DOS CAFÉS DO BRASIL, 2., 2001, Vitória. **Anais...** Brasília: EMBRAPA Café, 2001. CD.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.15, p. 229-235, 1991.

SUMNER, M. E. Uso atual do gesso no mundo em solos ácidos. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DO GESSO NA AGRICULTURA, 2., 1992, Uberaba. **Anais...** Brasília: Nagy, 1992. p.7-40.

TEIXEIRA NETO, M. L.; LEANDRO, W. M.; KLIEMANN, H. J.; KLUTHCOUSKI, J.; ANJOS, C. E.; BORGES, T. G. F.; SOUTO JÚNIOR, M. L. Efeito de espécies de cobertura na resistência mecânica à penetração no solo em sistema plantio direto. CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003. Ribeirão Preto. **Anais...** Botucatu, 2003. CD.

TOLEDO, S. V.; MORAES, M. V.; BARROS, I. Efeito da frequência de capinas na produção do cafeeiro. **Bragantia**, Campinas, v.55, p.317-324, 1996.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L. Soil physical quality of a Brazilian Oxisol under two tillage systems using the least limiting water range approach. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 52, p.223-232, 1999.

VOMOCIL, J. A.; FLOCKER, W. J. Effects of soil compaction on storage and movement of soil, air and water. **American Society Agricultural Engineering**, v.4, p.242-246, 1966.

5. CAPÍTULO 2

**ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E PRODUTIVIDADE DE LAVOURAS EM
FUNÇÃO DE TRATOS CULTURAIS EM LAVOURAS DE CAFEIEIRO CONILON
NO SUL DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO**

RESUMO

O trabalho teve como objetivo avaliar, em diferentes sítios de amostragem, os atributos químicos de solos cultivados com lavouras cafeeiras sob distintos tratos no Sul do Estado do Espírito Santo. Foram realizadas amostragens nas profundidades de 0,00 - 0,20 m e 0,20 - 0,40 m na parte superior da projeção da “saia” do cafeeiro, em relação ao sentido de declive do terreno. Utilizaram-se, para o estudo, lavouras representativas da região Sul do Estado Espírito Santo, apresentando a mesma unidade de solo (Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, relevo forte ondulado), tendo os seguintes tratos: M1 - irrigação por gotejamento, calagem a cada dois anos, adubação, roçadas e uso da palha de café; M2 - adubação, roçadas e capinas; e M3 - capinas e roçadas. Dentro de cada trato também foram avaliadas os seguintes sítios de amostragem: TS - terço superior, TM - terço médio; e TI - terço inferior, ao longo do declive. A adubação e a calagem promoveram melhorias nas propriedades químicas do solo sob trato M1, o qual apresentou as melhores condições de fertilidade. Os teores de fósforo e potássio do solo não sofreram influência do sítio de amostragem, sendo afetados somente pelos tratos culturais empregados nas lavouras cafeeiras, apresentando valores superiores em M1. Independente do sítio de amostragem, trato cultural adotado e profundidade de avaliação, os teores de cálcio e magnésio no solo encontram-se abaixo do considerado adequado para o café conilon, indicando a necessidade da utilização da prática da calagem, com base na análise de solo, visando aumentar a disponibilidade destes nutrientes, bem como aumentar a eficiência da adubação química. O retorno da palha de café à lavoura sob trato M1 contribuiu para o aumento do teor de COT e da CTC na profundidade de 0,00 - 0,20 m do solo. A maior produtividade do cafeeiro foi observada no trato cultural M1 e no terço superior. Os resultados apresentados refletem a importância da análise de solo para a avaliação das condições químicas do solo sob cultivo do cafeeiro conilon.

Palavras-chave: fertilidade do solo, manejo do solo, *Coffea canephora*

ABSTRACT

The work had as objective to evaluate, in different sampling site, the chemical attributes of soils cultivated with conilon coffee crops under different management in the South of Espírito Santo State. Soil samplings were taken in the depths of 0.00 – 0.20 m and 0.20 – 0.40 m at the upper part of the canopy projection of the coffee plants, in relation to the slope of the land. It was used for this study representative coffee crops of the South of the Espírito Santo State, which have the same soil unit (Haplustox, mountainous fort), with the following management: M1 - irrigation for leaking, liming of each two years, manuring, cleared and use of coffee straw; M2 - manuring, cleared and weedings; M3 - weedings and cleared. Within of each cult management were also evaluated the following soil sampling sites: UT - upper third, MT - medium third; LT - lower third, along to the slope. The manuring and the liming promoted improvements in the chemical properties of the soil under management M1, which presented the best conditions of soil fertility. The phosphorus and potassium soil content were not influenced by the sampling site, being affected only for the management employed, presenting higher values in M1. Independently of the sampling site, management and evaluation depths the calcium and magnesium content in the soil were below of the levels considered appropriate for the coffee conilon, indicating the need of the use of the practice of the liming, with base in the soil analysis, to increase the availability of these nutritious, as well as to increase the efficiency of the chemical manuring. The return of the coffee straw in the crop under management M1 contributed to the increase of the content of COT and CTC in the depth of 0.00 – 0.20 m of the soil. The largest yield of the coffee was observed in the culture management M1 and in the upper third. The results reflect the importance of the soil analysis for the evaluation of the chemical conditions of the soil under cultivation with conilon coffee trees.

Key words: soil fertility, soil management, *Coffea canephora*

5.1. INTRODUÇÃO

A cafeicultura é uma das principais atividades agrícolas do Estado do Espírito Santo, tendo uma enorme importância tanto na geração de renda, quanto na geração de empregos. O Estado é hoje considerado o maior produtor nacional de café conilon, contudo a maioria das lavouras encontra-se em propriedades de solos ácidos e de baixa fertilidade (MATIELLO, 1998). Assim, a utilização de práticas e manejos adequados ao cafeeiro conilon é importante para potencializar a produção no Estado.

No Sul do Estado, é crescente a implantação de lavouras cafeeiras, principalmente nos últimos anos, substituindo cultivos antigos de cafés e/ou em áreas que antes eram usadas principalmente para pastagem. Essas áreas, em sua maioria, são de baixa fertilidade que aliada à exportação de nutrientes, por meio das colheitas e manejos inadequados, torna a reposição de nutrientes uma necessidade para a cafeicultura. Contudo, o elevado preço dos adubos exige que os fertilizantes, os corretivos e as práticas de manejo da lavoura sejam usados de forma eficiente para que ocorra a sua máxima otimização. Os diferentes tipos de manejos, usos de adubações e corretivos podem promover alterações significativas sobre os atributos químicos dos solos cultivados com lavouras cafeeiras no Sul do Estado.

Diversos estudos em lavouras de café têm demonstrado a influência de distintas práticas de manejo adotadas, sobre as propriedades do solo e o cafeeiro (PAVAN et al., 1986; ALCÂNTARA, 1997; CORRÊA et al., 1998; WEILL et al., 1999; CORRÊA et al., 2001; BORGES E FURLANI JUNIOR, 2003 e GUARÇONI M. et al., 2005).

Este trabalho objetivou avaliar, em diferentes posições de amostragem, os atributos químicos de solos e a produtividade de lavouras cafeeiras cultivadas sob distintos manejos no Sul do Estado do Espírito Santo.

5.2. MATERIAL E MÉTODOS

A descrição detalhada das áreas experimentais, incluindo a localização e o histórico, encontra-se no Capítulo 1.

As amostragens de solo para avaliação dos atributos químicos foram realizadas no mesmo período dos atributos físicos (09 de fevereiro a 06 de março de 2005). Retiraram-se amostras deformadas (utilizando um trado do tipo holandês) nas profundidades de 0,00 - 0,20 m e 0,20 - 0,40 m do solo, na parte superior da projeção da “saia” do cafeeiro, em relação ao sentido de declive do terreno. As lavouras cafeeiras, onde foram coletadas as amostras de solo, distinguem-se quanto ao trato cultural aplicado (M1 - irrigação por gotejamento, calagem a cada dois anos, adubação, roçadas e uso da palha de café; M2 - adubação, roçadas e capinas; e M3 - capinas e roçadas). Em cada lavoura cafeeira foram avaliados três sítios de amostragem (TS - terço superior; TM - terço médio; e TI - terço inferior), com cinco repetições em cada sítio de amostragem e profundidade ao longo do declive, conforme descrito no Capítulo 1.

Os atributos químicos do solo foram analisados nos laboratórios do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCA-UFES).

5.2.1. Atributos químicos de solos avaliados

pH em água

O pH em água foi obtido mediante utilização de um potenciômetro com eletrodo combinado, imerso em suspensão solo/água na proporção de 1:2,5, sendo a leitura realizada diretamente no aparelho (EMBRAPA, 1997).

H + Al (Acidez potencial)

A acidez potencial (H + Al), em $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, foi obtida segundo metodologia proposta pela EMBRAPA (1997), utilizando a solução de acetato de cálcio $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ como meio extrator e titulação com NaOH ($0,025 \text{ mol L}^{-1}$).

O teor de H + Al, existente na amostra de solo, foi obtido pela equação 13:

$$\text{H + Al (cmol}_c \text{ dm}^{-3}) = (\text{L ? Lb}) \times 1,65 \quad (13)$$

em que:

L = volume em mililitros gasto na titulação da amostra;

L_b = volume em mililitros gasto na titulação da amostra em branco;

1,65 = fator de correção.

Cálcio (Ca), magnésio (Mg) e alumínio (Al)

Os teores de Ca, Mg e Al trocáveis, em $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, foram obtidos segundo metodologia proposta pela EMBRAPA (1997), utilizando a solução de KCl 1 mol L^{-1} , como meio extrator.

Para obtenção do teor de Al do solo, procedeu-se a titulação com NaOH ($0,025 \text{ mol L}^{-1}$), sendo o teor de Al, em $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, equivalente ao volume gasto na titulação com NaOH.

Para obtenção dos teores de Ca + Mg do solo, realizou-se a titulação com EDTA ($0,0125 \text{ mol L}^{-1}$), sendo os teores de Ca + Mg, em $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, equivalente ao volume gasto na titulação com EDTA. Para obtenção do teor de Ca, procedeu-se de forma semelhante ao Ca + Mg. Já o teor de Mg, em $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, foi obtido pela diferença entre os teores de Ca + Mg e o teor de Ca.

Fósforo (P) e potássio (K)

Os teores de P e K disponíveis, em mg dm^{-3} , foram obtidos segundo metodologia proposta pela EMBRAPA (1997), utilizando-se a solução de Mehlich 1, como meio extrator.

O P foi determinado mediante a utilização de fotolorímetro, usando filtro vermelho, com comprimento de onda de 660 nm. Já a determinação do K foi realizada com o uso de fotômetro de chama.

CTC potencial (T) e saturação por bases (V)

A partir da determinação dos atributos químicos Ca, Mg, K e H + Al, realizaram-se os cálculos dos valores de T e V, conforme EMBRAPA (1997), através das equações 14 e 15, respectivamente:

$$T (\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}) = \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+ + (\text{H} + \text{Al}) \quad (14)$$

$$V (\%) = \frac{SB}{T} \times 100 \quad (15)$$

em que:

SB (soma de bases trocáveis) = $Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^+$ ($cmol_c dm^{-3}$)

T (CTC potencial) = $SB + (H + Al)$ ($cmol_c dm^{-3}$)

Carbono orgânico total (COT)

Determinaram-se os teores de COT do solo por oxidação da matéria orgânica via úmida, utilizando-se a solução de $K_2Cr_2O_7$ $0,167 mol L^{-1}$ em meio ácido (YEOMANS & BREMNER, 1988).

Para tal, trituraram-se as amostras de solo em almofariz de porcelana, passando-as pela peneira de 0,210 mm. O procedimento metodológico consistiu na pesagem de 0,2 g de amostra de solo triturada. Após pesadas, as amostras foram colocadas em tubos de digestão, receberam 5 mL de $K_2Cr_2O_7$ $0,167 mol L^{-1}$ e 7,5 mL de H_2SO_4 concentrado e foram levadas a bloco digestor a $170^\circ C$ por 30 minutos. Após o resfriamento, o conteúdo dos tubos foi transferido quantitativamente para erlenmeyers de 125 mL, utilizando-se água destilada suficiente para obter um volume final de aproximadamente 50 mL. Em seguida, foram adicionados 2 mL de H_3PO_4 concentrado, aproximadamente 0,2 g de NaF e 3 gotas de solução indicadora de ferroin.

Realizou-se a titulação com a solução de $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$ $0,25 mol L^{-1}$. Paralelamente, foram feitas 2 (duas) provas em branco, com e sem aquecimento.

O volume de sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação (V) foi calculado pela seguinte relação:

$$V = (V_{bc} - V_a) \cdot \frac{(V_{bs} - V_{bc})}{V_{bs}} + (V_{bc} - V_a)$$

em que:

V_{bc} : Volume gasto de $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$ $0,25 mol L^{-1}$ na titulação do branco com aquecimento (L);

V_{bs} : Volume gasto de $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$ $0,25 mol L^{-1}$ na titulação do branco sem aquecimento (L);

Va: Volume gasto de $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$ $0,25 \text{ mol L}^{-1}$ na titulação da amostra (L).

Os teores de Carbono Orgânico Total (COT), em g kg^{-1} , foram calculados pela equação 16:

$$\text{COT (g kg}^{-1}\text{)} = \frac{V M 3}{m_{\text{solo}}} \quad (16)$$

em que:

M: concentração do $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$ em mol L^{-1} ;

3 = $12 \left[\left(\frac{3}{2} \right) \left(\frac{1}{6} \right) \right]$, sendo 12 a massa molar do carbono (g mol^{-1}); $3/2$ a relação de três moles de CO_2 produzidos para dois moles de $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ reduzidos; e $1/6$ a relação molar entre um mol de Fe^{2+} oxidado para seis moles de $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ reduzidos na titulação;

m_{solo} : massa da amostra de solo (kg).

5.2.2. Produtividade da lavoura cafeeira

Para a obtenção da produtividade da lavoura de café conilon, realizou-se a coleta do café produzido de cinco plantas em cada sítio de amostragem sob seus respectivos tratamentos culturais. A produção de café de cada planta foi pesada, obtendo assim, a produtividade da lavoura de café em kg de café cereja por planta, para cada tratamento cultural (M1, M2 e M3) e sítio de amostragem (TS, TM e TI).

5.2.3. Análises estatísticas

Os atributos químicos dos materiais de solo amostrados nas profundidades de 0,00 - 0,20 e 0,20 - 0,40 m e a produtividade da lavoura cafeeira foram analisados considerando-se o delineamento inteiramente casualizado distribuído em esquema de parcelas subdivididas, tendo nas parcelas os tipos de tratamentos culturais adotados (M1, M2 e M3) e nas subparcelas os sítios de amostragem (TS, TM e TI), com cinco repetições. Os dados experimentais foram submetidos à análise de variância pelo teste "F" e, posteriormente aplicado o teste de Tukey a 5%, para comparação entre as médias, por meio do software SAEG.

5.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.3.1. pH em água (pH), alumínio trocável (Al), acidez potencial (H + Al), saturação por bases (V) e CTC potencial (CTC).

Pela Tabela 1, percebe-se que a interação T x S (tratos culturais e sítios de amostragem) foi significativa, em ambas as profundidades estudadas, para os atributos pH em água (pH), alumínio trocável (Al), acidez potencial (H + Al) e saturação por bases (V), mostrando que o efeito do trato cultural sobre estes atributos depende do sítio de amostragem, e vice-versa. Para a capacidade de troca de cátions a pH 7,0 (CTC) a interação T x S foi não significativa, sendo significativa somente quanto ao tipo de trato cultural adotado.

Na Tabela 2, são apresentados os valores médios para os atributos químicos do solo: pH em água, alumínio trocável, acidez potencial e saturação por bases, nas profundidades de 0,00 - 0,20 e 0,20 - 0,40 m. Pela Tabela 2, nota-se que houve diferença significativa entre os tratos culturais adotados e os sítios de amostragem para estes atributos químicos.

Na profundidade de 0,00 - 0,20 m, para o pH, nota-se que, para M1, TI diferiu de TS e TM (Tabela 2), apresentando TI os maiores valores de pH. Já para M2, o TS não diferiu de TI que por sua vez não diferiu de TM; comportamento semelhante também foi observado em M1 na profundidade de 0,20 - 0,40 m. Para M3, em ambas as profundidades, verifica-se que TM e TI não diferiram entre si, e apresentaram valores de pH superiores ao TS.

Ao se avaliar a variação de pH dentro de cada sítio de amostragem, percebe-se que não existe diferença significativa entre os tratos culturais adotados para o TS na profundidade de 0,00 - 0,20 m. Para os demais sítios de amostragem, verifica-se, nas duas profundidades, que houve diferença significativa entre os tratos culturais adotados. Comportamento semelhante é observado para o Al (Tabela 2).

Como esperado, os menores valores de pH, ocorreram em M1 e M2 em ambas as profundidades. O uso de adubos minerais, sem promover calagens adequadas, pode ter acarretado maior acidificação do solo, o que é corroborado por Theodoro et al. (2003). Guarçoni M. et al. (2005), ao trabalharem com lavouras de café conilon em diferentes espaçamentos, após sete anos de implantação, observaram que a adubação causou acidificação do solo, reduzindo o pH e aumentando os teores de Al.

Tabela 1 - Análise de variância dos atributos químicos: pH em água (pH), alumínio trocável (Al), acidez potencial (H + Al), saturação por bases (V) e CTC potencial (CTC), obtidos em lavouras de cafeeiro conilon cultivadas sob distintos tratos culturais e em diferentes sítios de amostragem

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio				
Profundidade de 0,00 - 0,20 m						
		pH	Al	H + Al	V	CTC
Tratos (T)	2	3,934 **	1,205 **	6,750 **	717,027 **	19,858**
Resíduo a	12	0,430x10 ⁻¹	0,400x10 ⁻¹	0,241	26,254	0,915
Sítios (S)	2	1,593 **	0,676 **	10,472 **	924,809 **	2,089
Interação T x S	4	0,890 **	0,238 *	2,349 *	250,009 **	1,251
Resíduo b	24	0,488x10 ⁻¹	0,759x10 ⁻¹	0,661	49,859	0,700
CV (%)		4,38	65,68	15,88	26,00	11,91
Média Geral		5,03	0,41	5,12	27,15	7,024
Profundidade de 0,20 - 0,40 m						
		pH	Al	H + Al	V	CTC
Tratos (T)	2	5,994 **	2,988 **	16,882 **	974,628 **	16,005**
Resíduo a	12	0,484x10 ⁻¹	0,537x10 ⁻¹	0,520	28,941	0,332
Sítios (S)	2	0,893 **	0,546 **	2,061 **	552,408 **	0,160
Interação T x S	4	0,573 **	0,351 **	1,699 **	160,859 **	0,848
Resíduo b	24	0,553x10 ⁻¹	0,614x10 ⁻¹	0,133	26,348	0,328
CV (%)		4,96	43,74	7,58	21,87	9,12
Média Geral		4,73	0,56	4,81	23,47	6,28

**,* Significativo a 1 e 5%, respectivamente pelo teste F.

Também se verifica que mesmo sendo realizada a calagem, em M1, ela não foi suficiente para corrigir o pH na profundidade de 0,20 - 0,40 m, o que é corroborado por Borges & Furlani Júnior (2003), que verificaram que a aplicação de calcário a lanço não permitiu a correção adequada do pH em profundidade. Os mesmos autores sugerem a utilização da calagem em associação com gesso para uma melhor correção do pH, pois o gesso ajudaria a movimentação do cálcio. Franchini et al. (1999) e Franchini et al. (2001) relatam a importância de resíduos vegetais para ajudar na movimentação do cálcio em profundidade. Entretanto, Amaral et al. (2004) não observaram efeito dos resíduos vegetais na correção da acidez do solo em profundidade, tanto isoladamente como em conjunto com o calcário. Silva et al. (2004) observaram que o calcário atingiu a profundidade de 0,20 m, quando aplicado em superfície em lavouras de café, após 34 meses a primeira aplicação.

Tabela 2 - Valores médios de pH em água, alumínio trocável (Al), acidez potencial (H + Al) e saturação por base (V), nas profundidades de 0,00 - 0,20 e 0,20 - 0,40 m do solo, obtidos em lavouras de cafeeiro conilon cultivadas sob distintos tratos culturais e em diferentes sítios de amostragem ⁽¹⁾

Tratos ⁽²⁾	Profundidade 0,00 - 0,20 m			Profundidade 0,20 - 0,40 m		
	Sítios de amostragem ⁽³⁾			Sítios de amostragem		
	TS	TM	TI	TS	TM	TI
-----pH-----						
M1	4,7 Ba	4,5 Bb	5,6 Aa	4,2 ABb	3,9 Bc	4,4 Ab
M2	4,6 ABa	4,3 Bb	4,7 Ab	4,5 Aab	4,4 Ab	4,7 Ab
M3	4,9 Ba	5,9 Aa	5,8 Aa	4,8 Ba	5,7 Aa	5,8 Aa
-----Al (cmol _c dm ⁻³)-----						
M1	0,42 ABa	0,75 Aa	0,05 Bb	0,82 Ba	1,50 Aa	0,67 Ba
M2	0,75 ABa	0,92 Aa	0,45 Ba	0,72 Aa	0,67 Ab	0,37 Aab
M3	0,40 Aa	0,00 Ab	0,02 Ab	0,27 Ab	0,02 Ac	0,02 Ab
-----H + Al (cmol _c dm ⁻³)-----						
M1	5,55 Aa	4,73 Aa	4,76 Aa	5,72 Ba	6,57 Aa	5,77 Ba
M2	5,83 Aa	5,24 Aa	3,86 Ba	4,74 Ab	4,08 Bb	3,34 Cc
M3	5,13 Aa	4,60 Aa	3,86 Aa	5,03 Aab	4,16 Bb	3,86 Bb
-----V (%)-----						
M1	27,0 Ba	27,5 Bab	42,4 Aa	15,7 ABab	12,3 Bb	21,8 Ab
M2	15,6 Ab	17,0 Ab	25,0 Ab	13,9 Bb	18,1 Bb	32,0 Aa
M3	18,7 Bab	37,7 Aa	39,9 Aa	23,4 Ba	35,4 Aa	38,2 Aa

⁽¹⁾ Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5%;

⁽²⁾ M1 - irrigação por gotejamento, calagem a cada dois anos, adubação química, roçadas e uso da palha de café; M2 - adubação química, roçadas e capinas; e M3 - capinas e roçadas;

⁽³⁾ TS - terço superior; TM - terço médio; e TI - terço inferior.

Para o Al, avaliando-se os sítios de amostragem dentro de cada trato cultural, verifica-se para M2, na profundidade de 0,20 - 0,40 m, e M3, em ambas as profundidades, que não ocorreu diferença significativa entre os sítios de amostragem (TS, TM e TI). Comportamento distinto foi observado para os demais tratos culturais, havendo diferença significativa entre os sítios amostrados para as duas profundidades estudadas (Tabela 2).

Sabe-se que, quando o pH atinge valores acima de 5,5, praticamente todo o alumínio fica precipitado, não oferecendo toxidez às plantas. Como está sendo observado neste trabalho, no TM do solo sob M3 e no TI do solo sob M1 e M3, na profundidade de 0,00 - 0,20 m, como também nos TM e TI do solo sob M3, na profundidade de 0,20 - 0,40 m, os valores de pH estão acima de 5,5. Assim, nesses locais, os níveis de Al no solo são iguais a zero, e os valores de pH encontram-se dentro da faixa ideal para o cultivo de café, de acordo com Matiello et al. (2002) e Rena & Silveira (2003). Pela Tabela 2, percebe-se, também, que os valores de Al diminuem à medida que os valores de pH se elevam, o que é corroborado por Theodoro et al. (2003), independente do trato cultural e/ou sítio de amostragem.

Segundo Dadalto & Fullin (2001), teores de Al até $0,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ são considerados baixos para os solos no Espírito Santo. Pelos dados apresentados na Tabela 2, nota-se, à exceção do TI do M1 na profundidade de 0,00 - 0,20 m, e do TM e TI do M3 na profundidade de 0,00 - 0,20 m e de todos os sítios de amostragem na profundidade de 0,20 - 0,40 m, que os teores de Al estão acima de $0,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Elevados valores de Al podem ser atribuídos à perda de bases, que podem estar ocorrendo através do processo erosivo do solo e da lixiviação, como também à maior acidificação do solo nesses locais.

Quanto à acidez potencial ($H + Al$), observa-se que os sítios de amostragem não apresentaram diferença significativa entre si para M1 e M2, na profundidade de 0,00 - 0,20 m. Ao se avaliarem os tratos culturais dentro de cada sítio de amostragem, percebe-se que, para a profundidade de 0,00 - 0,20 m, não ocorreu diferença significativa entre M1, M2 e M3. Comportamento distinto foi observado na profundidade de 0,20 - 0,40 m, para todos os sítios de amostragem de M1, são para a profundidade de 0,20 - 0,40 m (Tabela 2).

Pela Tabela 2, nota-se ainda que os valores de $H + Al$, na profundidade de 0,00 - 0,20 m, para o TS de M1, M2 e M3, e o TM do M2, como também, na profundidade de 0,20 - 0,40 m, são considerados elevados para os solos, segundo Dadalto & Fullin (2001).

Para a saturação por bases (Tabela 2), analisando os diferentes sítios de amostragem dentro de cada trato cultural empregado à lavoura cafeeira, verifica-se que à exceção de M2 na profundidade de 0,00 - 0,20 m, todos os demais tratos apresentaram diferenças significativas entre si. Observa-se que, para M3, os sítios de amostragem (TS, TM e TI) apresentaram comportamento semelhante nas duas profundidades estudadas, sendo que os TM e TI diferiram do TS. Quando se

comparam os tratos culturais adotados dentro dos sítios de amostragem (TS, TM e TI), nota-se que ocorreram diferenças significativas para M1, M2 e M3 em todos os sítios de amostragem e nas duas profundidades estudadas.

Com exceção do TM e TI do trato M2, independente do sítio de amostragem e/ou trato cultural adotado, percebe-se que a saturação de bases (V) diminuiu com a profundidade (Tabela 2). Os valores de V observados em ambas as profundidades para M1, M2 e M3 e TS, TM e TI, de acordo com Dadalto & Fullin (2001), são considerados baixos ou muito baixos. Santos et al. (2004b), ao avaliarem 57 amostras de solo de lavouras de café conilon no Norte do Espírito Santo, observaram que 14,03 e 35,08% das amostras avaliadas apresentaram valores de V, respectivamente, muito baixo e baixo.

Os reduzidos valores encontrados para V podem ser decorridos da perda de bases do solo por meio do processo erosivo, da lixiviação e/ou devido à absorção dessas bases pelas plantas. O processo de acidificação do solo também pode contribuir para a redução dos valores de V, passando o hidrogênio e alumínio a ocupar os pontos de troca da CTC, que antes eram ocupados pelas bases. Em decorrência disso, verifica-se, na Tabela 2, que os locais onde ocorrem os menores valores de V, principalmente no M2, também se observam os maiores teores de Al, H + Al e menores valores de pH.

Na Tabela 3, são apresentados os valores médios para a capacidade de troca de cátions a pH 7,0 (CTC) obtidos em lavouras de cafeeiro conilon cultivadas sob distintos tratos culturais e em diferentes sítios de amostragem. Pelos dados apresentados, verifica-se, na profundidade de 0,00 - 0,20 m, que o trato cultural M1 diferiu significativamente dos tratos M2 e M3. Percebe-se que o trato M1 diferiu significativamente de M2 que, por sua vez, diferiu de M3 na profundidade de 0,20 - 0,40 m.

Os baixos valores encontrados para a CTC do solo (Tabela 3), em todos os tratos culturais, sítios de amostragem e profundidades, podem indicar que possivelmente esteja ocorrendo perda de bases e nutrientes por lixiviação.

Os maiores valores observados para a CTC do solo (Tabela 3), no solo sob trato cultural M1, em ambas as profundidades, possivelmente estão associados à maior contribuição da matéria orgânica do solo, sob M1, devido ao retorno da palha do café para a lavoura neste trato cultural.

Tabela 3 - Valores médios de capacidade de troca de cátions (CTC) em $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, nas profundidades de 0,00 - 0,20m e 0,20 - 0,40m do solo, obtidos em lavouras de cafeeiro conilon cultivadas sob distintos tratos culturais e em diferentes sítios de amostragem ⁽¹⁾

Tratos ⁽²⁾			Tratos ⁽²⁾		
M1	M2	M3	M1	M2	M3
-----CTC ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)-----					
8,30 A	6,07 B	6,69 B	7,25 A	6,39 B	5,19 C

⁽¹⁾ Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5%;

⁽²⁾ M1 - irrigação por gotejamento, calagem a cada dois anos, adubação química, roçadas e uso da palha de café; M2 - adubação química, roçadas e capinas; e M3 - capinas e roçadas.

Os resultados apresentados, nas Tabelas 2 e 3, indicam o quanto a prática da calagem é extremamente necessária para melhorar as condições químicas do solo, principalmente na camada superficial, o que é corroborado por Prezotti & Bragança (1995), De Muner (2002), Albuquerque et al. (2003), Mendes et al. (2003), pois nesta região encontram-se a maioria das raízes ativas do cafeeiro. O uso de adubos minerais, sem promover calagens adequadas e adubação orgânica, pode levar os solos a perderem rapidamente a sua fertilidade devido à acidificação, imobilização de nutrientes e mineralização da matéria orgânica do solo.

5.3.2. Cálcio (Ca) e magnésio (Mg)

Conforme é apresentado, na Tabela 4, verifica-se que houve interação significativa, entre os tratos culturais empregados e os sítios de amostragem estudados, para o cálcio (Ca) em ambas as profundidades avaliadas e para o magnésio (Mg) na profundidade de 0,00 - 0,20 m. Observou-se significância para o Mg, somente quanto ao trato cultural adotado e o sítio de amostragem avaliado, na profundidade de 0,20 - 0,40 m,

Pela Tabela 5, nas duas profundidades estudadas, verifica-se que para M1 o TI diferiu do TS e TM, apresentando valores superiores de Ca. Já para M2, percebe-se que não ocorreram diferenças significativas entre TS, TM e TI para esse atributo químico. Entretanto, para M3, nota-se que os valores de Ca para TM e TI não diferiram entre si, sendo superiores aos observados em TS.

Percebe-se que, em ambas as profundidades, os maiores teores de Ca são encontrados em M1 no sítio de amostragem TI e em M3 nos sítios TM e TI (Tabela 5). Os elevados teores de Ca, para a lavoura M1, em TI, podem estar associados ao movimento de água da chuva ao longo do declive do terreno, devido ao manejo do solo (BERTOL et al., 2003). Nota-se, ainda, que mesmo sendo feita a calagem em M1, esta prática não tem sido o suficiente para aumentar os teores de Ca e Mg em ambas as profundidades estudadas (Tabelas 5, 6 e 7).

Tabela 4 - Análise de variância dos atributos cálcio trocável (Ca) e magnésio trocável (Mg) obtidos em lavouras de cafeeiro conilon cultivadas sob distintos tratos culturais e em diferentes sítios de amostragem

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio			
		Profundidade de 0,00 - 0,20 m		Profundidade de 0,20 - 0,40 m	
		Ca	Mg	Ca	Mg
Tratos (T)	2	4,134 **	0,451 **	2,604 **	0,642 **
Resíduo a	12	0,105	0,376x10 ⁻¹	0,665x10 ⁻¹	0,218x10 ⁻¹
Sítios (S)	2	1,927 **	0,279 **	0,504 **	0,774x10 ⁻¹ **
Interação T x S	4	1,119 **	0,163 **	0,287 **	0,196x10 ⁻¹
Resíduo b	24	0,191	0,341x10 ⁻¹	0,602x10 ⁻¹	0,972x10 ⁻²
CV (%)		40,15	29,15	35,35	18,11
Média Geral		1,08	0,63	0,69	0,54

**,* Significativo a 1 e 5%, respectivamente pelo teste F.

Comparando-se os tratos culturais empregados, verifica-se que o Mg apresentou comportamento semelhante ao Ca (Tabelas 5 e 6). Na profundidade de 0,00 - 0,20 m para M1, o valor encontrado no TI foi superior em relação ao TS e TM. Para M2, não houve diferença significativa entre TS, TM e TI. Já para M3, TS diferiu estatisticamente de TM e TI, apresentando TS e TM os maiores valores para o atributo químico Mg. Ao compararem-se os tratos culturais (M1, M2 e M3) dentro dos sítios de amostragem (TS, TM e TI), verifica-se que, para o TS, não ocorreu diferença significativa entre os tratos culturais adotados. Para o TM, nota-se que M3 não diferiu de M1 que, por sua vez, também não diferiu de M2. Já para o TI, percebe-se que os valores apresentados para M1 e M3 foram superiores ao M2 (Tabela 6).

Para o Ca e o Mg (Tabelas 5 e 6), os valores encontrados na profundidade de 0,00 - 0,20 m, no TI de M1 e TM e TI de M3, segundo Dadalto & Fullin (2001), são considerados médios para o solo, enquanto que, para os demais tratos culturais e sítios de amostragem, os valores foram baixos. Entretanto, de acordo com Bragança et al. (2001), os teores de Ca e Mg no solo (Tabelas 5, 6 e 7), independente do sítio de amostragem, trato cultural adotado e profundidade de avaliação, estão abaixo do considerado adequado para o café conilon. Santos et al. (2004a), ao avaliarem a fertilidade dos solos de lavouras de café conilon de diferentes localidades no Norte do Estado do Espírito Santo, observaram que os teores de Mg foram baixos para a maioria das lavouras amostradas.

Tabela 5 - Valores médios de cálcio (Ca) em $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, nas profundidades de 0,00 - 0,20 e 0,20 - 0,40 m do solo, obtidos em lavouras de cafeeiro conilon cultivadas sob distintos tratos culturais e em diferentes sítios de amostragem ⁽¹⁾

Tratos ⁽²⁾	Profundidade 0,00 - 0,20 m			Profundidade 0,20 - 0,40 m		
	Sítios de amostragem ⁽³⁾			Sítios de amostragem ⁽³⁾		
	TS	TM	TI	TS	TM	TI
-----Ca (cmol _c dm ⁻³)-----						
M1	1,0 Ba	1,0 Bb	2,1 Aa	0,3 Ba	0,2 Bb	0,7 Ab
M2	0,5 Aa	0,4 Ac	0,5 Ab	0,4 Aa	0,3 Ab	0,5 Ab
M3	0,6 Ba	1,8 Aa	1,6 Aa	0,7 Ba	1,3 Aa	1,4 Aa

⁽¹⁾ Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5%;

⁽²⁾ M1 - irrigação por gotejamento, calagem a cada dois anos, adubação química, roçadas e uso da palha de café; M2 - adubação química, roçadas e capinas; e M3 - capinas e roçadas;

⁽³⁾ TS - terço superior; TM - terço médio; e TI - terço inferior.

Os baixos teores de Ca e Mg na lavoura M2 podem estar ocorrendo devido à não reposição destes nutrientes, principalmente pelo fato de o M2 não utilizar a calagem, sendo os valores observados para ambos nutrientes reflexo da contribuição dos solos. Os baixos teores de Ca e Mg podem levar a um decréscimo na produção da lavoura devido o cafeeiro conilon ser extremamente exigente em macronutrientes (BRAGANÇA et al., 2000). Todavia, Guarçoni M. et al. (2005) atribuíram a redução dos níveis de Ca e Mg, na camada superficial do solo, à

adubação com NPK, devido à absorção desses nutrientes pelas raízes da planta de café e à lixiviação dos nutrientes para as camadas mais profundas.

Tabela 6- Valores médios de magnésio (Mg) em $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, na profundidade de 0,00 - 0,20m do solo, obtidos em lavouras de cafeeiro conilon cultivadas sob distintos tratos culturais e em diferentes sítios de amostragem ⁽¹⁾

Tratos ⁽²⁾	Sítios de amostragem ⁽³⁾		
	TS	TM	TI
	-----Mg ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)-----		
M1	0,5 Ba	0,5 Bab	1,0 Aa
M2	0,4 Aa	0,3 Ab	0,4 Ab
M3	0,4 Ba	0,8 Aa	0,8 Aa

⁽¹⁾ Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5%;

⁽²⁾ M1 - irrigação por gotejamento, calagem a cada dois anos, adubação química, roçadas e uso da palha de café; M2 - adubação química, roçadas e capinas; e M3 - capinas e roçadas;

⁽³⁾ TS - terço superior; TM - terço médio; e TI - terço inferior.

Tabela 7 - Valores médios de magnésio (Mg), na profundidade de 0,20 - 0,40m do solo, obtidos em lavouras de cafeeiro conilon cultivadas sob distintos tratos culturais e em diferentes sítios de amostragem ⁽¹⁾

Tratos ⁽²⁾			Sítios de amostragem ⁽³⁾		
M1	M2	M3	TS	TM	TI
-----Mg ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)-----					
0,4 B	0,3 B	0,7 A	0,4 B	0,5 A	0,6 A

⁽¹⁾ Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5%;

⁽²⁾ M1 - irrigação por gotejamento, calagem a cada dois anos, adubação química, roçadas e uso da palha de café; M2 - adubação química, roçadas e capinas; e M3 - capinas e roçadas;

⁽³⁾ TS - terço superior; TM - terço médio; e TI - terço inferior.

Os elevados valores de Ca apresentados para M3, em ambas as profundidades (Tabela 5), podem estar ocorrendo possivelmente devido ao efeito residual do calcário, o que é corroborado por Guarçoni M. et al. (2005), como também ao depauperamento da lavoura. Verifica-se que o M3 apresentou teores de Mg superiores aos observados em M1 e M2 para a profundidade de 0,20 - 0,40 m.

Nota-se que o TS diferiu de TM e TI, apresentando menor valor de Mg (Tabela 7). Em M3, os elevados valores de Ca e Mg no solo (Tabelas 5 e 7) podem estar associados ao depauperamento da lavoura, pois mesmo havendo disponibilidade destes nutrientes, as plantas não conseguem absorvê-los, devido ao desequilíbrio nutricional e outros fatores limitantes, como as condições físicas inadequadas do solo.

De maneira geral, os maiores teores de Ca e Mg são encontrados na camada superficial do solo, o que é corroborado Pavan et al. (1986), Alcântara (1997), Corrêa et al. (1998) e Guarçoni M. et al. (2005). Os resultados apresentados indicam a necessidade de monitorar a disponibilidade de Ca e de Mg do solo, através de análises químicas periódicas, para o cafeeiro conilon.

5.3.3. Fósforo (P) e potássio (K)

Pela Tabela 8, verifica-se, na profundidade de 0,00 - 0,20 m, que o teor do fósforo (P) foi significativo somente quanto ao tipo de trato cultural adotado, enquanto para o potássio (K) a interação T x S foi significativa. Na profundidade de 0,20 - 0,40 m, os nutrientes P e K foram significativos somente quanto ao trato cultural adotado.

Tabela 8 - Análise de variância dos atributos fósforo (P) e potássio (K) obtidos em lavouras de cafeeiro conilon cultivadas sob distintos tratos culturais e em diferentes sítios de amostragem

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio			
		Profundidade de 0,00 - 0,20 m		Profundidade de 0,20 - 0,40 m	
		P	K	P	K
Tratos (T)	2	5870,417 **	37901,70 **	310,555 **	13941,28 **
Resíduo a	12	155,284	2483,236	3,555	266,708
Sítios (S)	2	362,916	143,368	13,993	2125,868
Interação T x S	4	293,020	8451,494 *	18,263	1846,128
Resíduo b	24	155,597	2343,049	10,243	1201,708
CV (%)		88,57	61,61	66,98	70,18
Média Geral		14,08	78,55	4,77	49,38

**,* Significativo a 1 e 5%, respectivamente pelo teste F.

Como pode ser observado pela Tabela 9, percebe-se que os valores de P em M1, para as duas profundidades avaliadas, foram superiores aos observados em M2 e M3, os quais não diferiram entre si. Os maiores teores de P observados no solo cultivado com café sob M1 se deve à adubação com NPK na camada superficial do solo, como também à baixa mobilidade deste nutriente (NUNES, 2003).

Tabela 9 - Valores médios do fósforo (P), nas profundidades de 0,00 - 0,20 e 0,20 - 0,40 m do solo, obtidos em lavouras de cafeeiro conilon cultivadas sob distintos tratos culturais e em diferentes sítios de amostragem ⁽¹⁾

Profundidade 0,00 - 0,20 m			Profundidade 0,20 - 0,40 m		
Tratos ⁽²⁾			Tratos ⁽²⁾		
M1	M2	M3	M1	M2	M3
-----P (mg dm ⁻³)-----					
39,9 A	3,2 B	2,0 B	10,0 A	2,6 B	1,6 B

⁽¹⁾ Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na linha não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5%;

⁽²⁾ M1 - irrigação por gotejamento, calagem a cada dois anos, adubação química, roçadas e uso da palha de café; M2 - adubação química, roçadas e capinas; e M3 - capinas e roçadas.

Os teores de P disponível em M1 são considerados elevados e médios, respectivamente, para as profundidades de 0,00 - 0,20 m e 0,20 - 0,40 m, para solos de textura argilosa (DADALTO & FULLIN, 2001), sendo este comportamento já esperado devido ao melhor nível de manejo empregado. Os teores de P, para M1, na profundidade de 0,00 - 0,20 m (Tabela 9), estão acima dos teores considerados adequados (15 - 20 mg dm⁻³) para o cafeeiro conilon. Já na profundidade de 0,20 - 0,40 m, os teores de P são considerados inadequados ao café conilon, de acordo com Bragança et al. (2001).

Para M2 e M3, os teores de P disponível em ambas as profundidades, são considerados baixos (DADALTO & FULLIN, 2001) e inadequados para o cultivo do conilon (BRAGANÇA et al., 2001), conforme apresentado na Tabela 9, podendo limitar a produção do cafeeiro. Em função do trato cultural empregado, os reduzidos valores de P encontrados no solo em M2 e, principalmente, em M3, já eram

esperados, devido à pobreza do solo quanto a este elemento, o que é corroborado por Lani (1987).

Verifica-se que, na profundidade de 0,00 - 0,20 m (Tabela 10), o teor de K na posição TS não diferiu de TI, que, por sua vez, não diferiu de TM, para M1. Para M2, observa-se que o teor de K em TM não diferiu de TI, que, por sua vez, não diferiu de TS. Já para M3, não houve diferença significativa entre os sítios de amostragem avaliados. As diferenças existentes entre os sítios de amostragem em M1, para este nutriente, possivelmente estejam ocorrendo devido ao retorno da palha de café ser feita de forma irregular na lavoura, sendo que, no ano anterior, a palha foi distribuída no sentido do terço superior para o terço inferior (de cima para baixo).

Tabela 10 - Valores médios do potássio (K), nas profundidades de 0,00 - 0,20 e 0,20 - 0,40 m do solo, obtidos em lavouras de cafeeiro conilon cultivadas sob distintos tratos culturais e em diferentes sítios de amostragem ⁽¹⁾

Tratos ⁽²⁾	Profundidade 0,00 - 0,20 m			Profundidade 0,20 - 0,40 m	
	Sítios de amostragem ⁽³⁾			Tratos ⁽²⁾	K (mg dm ⁻³)
	TS	TM	TI		
	-----K (mg dm ⁻³)-----				----K (mg dm ⁻³)----
M1	171,5 Aa	114,2 Ba	127,7 ABa	M1	81,6 a
M2	32,0 Bb	91,2 Aab	81,0 ABab	M2	45,4 b
M3	24,0 Ab	40,2 Ab	25,0 Ab	M3	21,0 c

⁽¹⁾ Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5%;

⁽²⁾ M1 - irrigação por gotejamento, calagem a cada dois anos, adubação química, roçadas e uso da palha de café; M2 - adubação química, roçadas e capinas; e M3 - capinas e roçadas;

⁽³⁾ TS - terço superior; TM - terço médio; e TI - terço inferior.

Ao avaliarem-se as diferenças existentes entre os tratos culturais empregados dentro de cada sítio de amostragem na camada superficial do solo (0,00 - 0,20 m), verifica-se, para TS, que M1 apresentou valores de K superiores a M2 e M3. Já para TM e TI, nota-se que o teor de K, em M1, não diferiu de M2, que por sua vez, não diferiu de M3. Para a profundidade de 0,20 - 0,40 m, verifica-se que os maiores valores de K foram encontrados em M1, sendo que M2 apresentou valores de K inferiores aos de M1, contudo superiores aos observados em M3 (Tabela 10). Os maiores teores de K observados em M1 e M2 já eram esperados,

devido à utilização de fertilizantes NPK em M1, e do uso de cloreto de potássio em M2. Também se deve ressaltar a importância do retorno da palha de café em M1, que devido à casca do café (pergaminho) ser rica em K, possivelmente estaria promovendo o incremento deste nutriente no solo.

Apesar dos teores de K para todos os sítios de amostragem, no trato cultural M1 e nos sítios de amostragem TM e TI do trato cultural M2, na camada superficial do solo, serem considerados altos para os solos do Estado (DADALTO & FULLIN, 2001), de acordo com Bragança et al. (2001), somente para M1, na profundidade de 0,00 - 0,20 m, os mesmos seriam considerados adequados ao cafeeiro conilon. Nos demais tratos, sítios de amostragem e profundidades, os valores de K estão abaixo do ideal, que seria na faixa de 100 a 120 mg dm⁻³, o que poderá ocasionar problemas quanto à produtividade do cafeeiro devido à sua exigência em macronutrientes (BRAGANÇA et al., 2000). Santos et al. (2004a), trabalhando em lavouras de café conilon no Norte do Espírito Santo, observaram que a maioria das lavouras encontrava-se com níveis altos de K.

Deve-se também ressaltar a importância de práticas conservacionistas para a cultura do café, principalmente em áreas de declive acentuado (ROCHA et al., 2000). Lavouras de café cultivadas em locais de acentuado declive estão propensas à erosão do solo, que podem causar redução da capacidade produtiva do solo através da perda de nutrientes, corretivos e fertilizantes. Quanto melhor o nível de fertilidade do solo, maior será a produção de fitomassa e, conseqüentemente, maior será a cobertura vegetal sobre o solo e menores serão as perdas de solo por erosão (COGO et al., 2003), principalmente de P e K (BERTOL et al., 2003).

Observa-se, também, que, de maneira geral, os maiores teores de K encontram-se na camada superficial do solo, o que é corroborado por Alcântara (1997), Da Silva et al. (2000), Nunes (2003) e Guarçoni M. et al. (2005).

5.3.4. Carbono orgânico total (COT)

Pela Tabela 11, verifica-se, para o atributo carbono orgânico total (COT), que houve interação significativa entre o trato cultural empregado e o sítio de amostragem avaliado nas duas profundidades de avaliação.

Verifica-se que não existe diferença significativa entre os sítios de amostragem para todos os tratos culturais adotados (M1, M2 e M3) para a profundidade de 0,00 - 0,20 m (Tabela 12), mostrando que não existe influência dos

sítios de amostragem para o COT. Entretanto, quando se comparam os tratos culturais avaliados dentro de cada sítio de amostragem, verifica-se que o M1 diferiu de M2 e M3, apresentando os maiores valores de COT em todas as posições de amostragem, evidenciando que os tratos culturais empregados a essa lavoura influenciam nos teores de COT na camada superficial do solo.

Tabela 11 - Análise de variância do atributo químico carbono orgânico total (COT), obtido em lavouras de cafeeiro conilon cultivadas sob distintos tratos culturais e em diferentes sítios de amostragem

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio	
		Profundidade de 0,00 - 0,20 m	Profundidade de 0,20 - 0,40 m
		COT	COT
Tratos (T)	2	22,435 *	3,689 *
Resíduo a	12	5,421	0,497
Sítios (S)	2	2,030	2,587 *
Interação T x S	4	24,266 **	12,983 **
Resíduo b	24	4,933	0,690
CV (%)		18,31	8,31
Média Geral		12,12	9,99

** , * Significativo a 1 e 5%, respectivamente pelo teste F

Observam-se diferenças significativas tanto entre tratos culturais adotados quanto entre sítios de amostragem na profundidade de 0,20 - 0,40 m (Tabela 12), mostrando que os diferentes tratos culturais empregados às lavouras cafeeiras provocaram maior diferenciação entre os teores de COT encontrados nessa profundidade. Em M1, os TM e TI diferiram de TS, apresentando valores de COT superiores aos observados TS. Para M2, TS e TI apresentaram teores de COT superiores em relação ao TM. Já em M3, TS e TM não diferiram entre si, apresentando valores superiores de COT, em relação a TI.

O fato de M2 apresentar menores teores de COT, em comparação a M1 na profundidade de 0,00 - 0,20 m, pode estar associado à maior mineralização da matéria orgânica em função da adubação química, bem como à maior atividade biológica. Apesar de em M1 também se realizar adubação química, nesta lavoura é feito o retorno da palha de café, o que não ocorre em M2, o que pode estar

contribuindo para os maiores valores de COT. Já em M3, os valores mais elevados de COT observados em TS e TM podem ser devido às práticas culturais adotadas que não favorecem à mineralização da matéria orgânica.

Tabela 12 - Valores médios do carbono orgânico total (COT) em g kg^{-1} , nas profundidades de 0,00 - 0,20 e 0,20 - 0,40 m do solo, obtidos em lavouras de cafeeiro conilon cultivadas sob distintos tratos culturais e em diferentes sítios de amostragem ⁽¹⁾

Tratos ⁽²⁾	Profundidade 0,00 - 0,20 m			Profundidade 0,20 - 0,40 m		
	Sítios de amostragem ⁽³⁾			Sítios de amostragem ⁽³⁾		
	TS	TM	TI	TS	TM	TI
	-----g kg ⁻¹ -----					
M1	12,6 Aa	13,8 Aa	15,0 Aa	9,1 Bb	10,6 Aa	11,1 Aa
M2	10,1 Ab	9,8 Ab	10,2 Ab	9,1 Ab	7,3 Bb	9,9 Ab
M3	10,4 Ab	10,4 Ab	9,3 Ab	10,9 Aa	10,0 Aa	9,0 Bb

⁽¹⁾ Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5%;

⁽²⁾ M1 - irrigação por gotejamento, calagem a cada dois anos, adubação química, roçadas e uso da palha de café; M2 - adubação química, roçadas e capinas; e M3 - capinas e roçadas;

⁽³⁾ TS - terço superior; TM - terço médio; e TI - terço inferior.

O carbono é o principal constituinte da matéria orgânica do solo. Portanto, a avaliação do COT em solos submetidos a diferentes tratos culturais poderá indicar se o trato cultural adotado está contribuindo positivamente ou não. Segundo Marchiori Júnior & Melo (2000), quando se altera o manejo do solo, a matéria orgânica sofre rápidas alterações, atingindo posteriormente um novo equilíbrio. Nunes (2003), trabalhando em lavouras de café com idades de 16 e 22 anos de implantação, não observou diferença estatística significativa entre os teores de COT, para essas duas lavouras. Maia & Cantarutti (2004), trabalhando com milho, observaram que os teores de COT foram, em média, superiores quando o solo recebeu adubação orgânica. Mesmo M1, tendo as condições favoráveis para uma maior mineralização da matéria orgânica no solo, tais como: adubação, correção da acidez e irrigação, o aporte de resíduos vegetais, como o retorno da palha de café e a utilização de roçadas, promoveram incremento nos teores de COT para a

profundidade de 0,00 - 0,20 m, o que é corroborado por Passos (2000) e Leite et al. (2003). Valores semelhantes de COT em M1, na profundidade de 0,00 - 0,20 m, foram encontrados por Souza et al. (2005ab) em lavoura de café arábica e por Busato et al. (2005) em lavouras de café conilon sob manejo orgânico. Theodoro et al. (2003) observaram que o retorno da palha de café à lavoura aumentou os níveis de matéria orgânica no solo, principalmente na camada superficial.

Multiplicando-se os valores de COT pelo fator 1,724 e dividindo-se por 10 para se obter os teores de matéria orgânica (MO), em dag dm^{-3} , pode-se inferir que os níveis de MO, na profundidade de 0,00 - 0,20 m para todos tratos culturais e sítios de amostragem, e na profundidade de 0,20 - 0,40 m para TM e TI do trato M1, TI do trato M2 e TS e TM do trato M3, estão compreendidos dentro dos valores de 1,6 - 3,0 dag dm^{-3} , sendo considerados médios para os solos do Estado (DADALTO & FULLIN, 2001). Lani (1987) também obteve teores médios de carbono orgânico em Latossolo Vermelho-Amarelo na região. Apesar dos resultados obtidos, somente em M1 para a profundidade de 0,00 - 0,20 m, os níveis de MO são considerados adequados para o cafeeiro, de acordo com Bragança et al. (2001).

Os resultados apresentados indicam, independente do trato cultural adotado e do sítio de amostragem, a necessidade de se promover mudanças nos tratos culturais das lavouras cafeeiras que venham a contribuir para o aumento do teor de COT do solo, dada a importância da matéria orgânica nos processos físicos, químicos e biológicos no solo.

5.3.5. Produtividade do cafeeiro

Pela Tabela 13, verifica-se que não houve interação entre o trato cultural e o sítio de amostragem para a produtividade do café conilon. Entretanto, percebe-se que a análise de variância para a produtividade foi significativa tanto para os tratos culturais quanto para os sítios de amostragem, individualmente.

Observando a Tabela 14, verifica-se que o trato cultural M1 diferiu de M2 e M3, como também apresentou as maiores produtividades. Este resultado já era esperado devido a essa lavoura apresentar maior nível tecnológico. Entretanto, verifica-se que, apesar de serem realizadas adubações em M2, a sua produtividade não diferiu de forma significativa de M3, sendo que o trato cultural deste último corresponde ao de menor nível tecnológico empregado. Vários fatores podem estar atuando sobre M2, contribuindo para esse comportamento, ressaltando-se a não

utilização da calagem e irrigação, como também a não utilização de adubos que contenham fósforo, na lavoura sob este trato cultural, em relação ao M1. Assim, a falta da calagem faz com que não sejam geradas cargas no complexo de troca de cátions, e, possivelmente, esteja ocorrendo perdas de nutrientes. Pode-se, ainda inferir, que mesmo o ano agrícola de 2004 – 2005, apresentando valores elevados de precipitação pluviométrica (1723 mm), verifica-se que esta não foi igualmente distribuída (vide Figura 1 do Capítulo 1), o que possivelmente estaria afetando o fluxo de nutrientes até as raízes do cafeeiro.

Tabela 13 - Análise de variância da produtividade do café conilon obtida em lavouras de cafeeiro conilon cultivadas sob distintos tratos culturais e em diferentes sítios de amostragem

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio
Tratos (T)	2	162,1952 **
Resíduo a	12	4,1536
Sítios (S)	2	44,1095 **
Interação T x S	4	1,6577
Resíduo b	24	5,4584
CV (%)		45,5
Média Geral		5,12

** , Significativo a 1% pelo teste F.

Tabela 14 - Valores médios da produtividade em kg, de café cereja por planta, obtidos em lavouras de cafeeiro conilon cultivadas sob distintos tratos culturais e em diferentes sítios de amostragem ⁽¹⁾

Manejo ⁽²⁾			Posições de amostragem ⁽³⁾		
M1	M2	M3	TS	TM	TI
8,77 A	3,99 B	2,99 B	7,27 A	3,92 B	4,58 B

⁽¹⁾ Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5%;

⁽²⁾ M1 - irrigação por gotejamento, calagem a cada dois anos, adubação química, roçadas e uso da palha de café; M2 - adubação química, roçadas e capinas; e M3 - capinas e roçadas;

⁽³⁾ TS - terço superior; TM - terço médio; e TI - terço inferior.

Percebe-se, também, que dentro das lavouras há diferença entre os sítios de amostragem, sendo que o TS diferiu de TM e TI, apresentando estes últimos produções inferiores em relação ao primeiro (Tabela 14), mostrando que a análise diferenciada em segmentos (TS, TM e TI) pode ser muito interessante para o manejo e condução da lavoura cafeeira, principalmente em locais de declive acentuado. Deve-se, também salientar, que os tratos culturais apresentaram, no geral, as melhores condições físicas e químicas para a produção da lavoura cafeeira no TS.

5.4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos para os distintos tratos culturais adotados e os diferentes sítios de amostragem avaliados permitem concluir que:

- a adubação e a calagem promoveram melhorias nas propriedades químicas do solo sob trato M1, o qual apresentou as melhores condições de fertilidade do solo;

- os teores de fósforo e potássio do solo não sofreram influência do sítio de amostragem, sendo afetados somente pelos tratos culturais empregados nas lavouras cafeeiras, apresentando valores superiores em M1;

- independente do sítio de amostragem, trato cultural adotado e profundidade de avaliação, os teores de cálcio e magnésio no solo encontram-se abaixo do considerado adequado para o café conilon, indicando a necessidade da utilização da prática da calagem com base na análise de solo, visando aumentar a disponibilidade destes nutrientes, bem como aumentar a eficiência da adubação química;

- o retorno da palha de café na lavoura sob trato M1 contribuiu para o aumento do teor de COT e da CTC na profundidade de 0,00 - 0,20 m do solo;

- a maior produtividade do cafeeiro foi observada no trato cultural M1 e no terço superior;

- os resultados apresentados refletem a importância da análise de solo para a avaliação das condições químicas do solo sob cultivo do cafeeiro conilon.

5.5. REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; ERNANI, P. R.; MAFRA, A. L.; FONTANA, E. C. Aplicação de calcário e fósforo e estabilidade da estrutura de um solo ácido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.799-806, 2003.

ALCÂNTARA, E. N. **Efeitos de diferentes métodos de controle de plantas daninhas na cultura do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) sobre a qualidade de um Latossolo Roxo distrófico**. 1997. 133p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Lavras, UFLA. 1997.

AMARAL, A. S.; ANGHINONI, I.; DESCHAMPS, F. C. Resíduos de plantas de cobertura e mobilidade dos produtos da dissolução do calcário aplicado na superfície do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p.115-123, 2004.

BERTOL, I.; MELLO, E. L.; GUADAGNIN, J. C.; ZAPAROLLI, A. L. V.; CARRAFA, M. R. Nutrient losses by water erosion. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.60, p.581-586, 2003.

BORGES, W. L. B.; FURLANI JUNIOR; E. Calcário e gesso: efeito nas características químicas do solo cultivado com café. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29, 2003. Ribeirão Preto, **Anais...** Botucatu, 2003. CD.

BRAGANÇA, S. M.; COSTA, A. N.; LANI, J. A. Absorção de nutrientes pelo cafeeiro Conilon (*Coffea canephora* Pierre ex Froenher) aos 3,6 anos de idade: macronutrientes. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Caldas. **Resumos expandidos...** Brasília: EMBRAPA Café; Belo Horizonte : Minasplan, 2000. 2v. p.1350-1352.

BRAGANÇA, S. M.; LANI, J. A.; DE MUNER, L. H. **Café conilon: adubação e calagem**. Vitória: INCAPER, 2001. 31p. (Circular técnica, 1)

BUSATO, J. G.; PARTELLI, F. L.; VIEIRA, H. D. ; CANELLAS, L. P.; VELLOSO, A. C. X. Fracionamento de carbono e fósforo em solos sob sistema orgânico de produção de café (*Coffea canephora*). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29, 2003. Recife, **Anais...** Recife, 2005. CD.

COGO, N. P.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, R. A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.743-753, 2003.

CORRÊA, J. B.; MIGUEL, J. E.; VIANA, A. S.; TOLEDO, A. R.; FERREIRA, M. M. Propriedades químicas de um Latossolo Vermelho-Escuro, após 16 anos de cultivo com café plantado no sistema tradicional e adensado. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.22, p.57-64, 1998.

CORRÊA, J. B.; REIS JÚNIOR, R. A.; CARVALHO, J. G.; GUIMARÃES, P. T. G. Avaliação da fertilidade do solo e do estado nutricional de cafeeiros do Sul de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.25, p.1279-1286, 2001.

DADALTO, G. G.; FULLIN, E. A. **Manual de recomendação de calagem e adubação para o estado do Espírito Santo** – 4ª aproximação. Vitória: SEEA/INCAPER, 2001. 266p.

DA SILVA, I. R.; FURTINI NETO, A. E.; FERNANDES, L. A.; CURI, N.; VALE, F. R. Formas, relação quantidade/intensidade e biodisponibilidade de potássio em diferentes latossolos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, p.2065-2073, 2000.

DE MUNER, L. H. **Calagem: saiba como fazer e colha muitos benefícios**. Vitória: INCAPER, 2002. (INCAPER – Documentos 109).

EMBRAPA. Centro de Pesquisas de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**. 2 ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

FRANCHINI, J. C.; MALAVOLTA, E.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A. Alterações químicas em solos ácidos após a aplicação de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, p.533-542, 1999.

FRANCHINI, J. C.; MEDA, A. R.; CASSIOLATO, M. E. Potencial de extratos de resíduo vegetais na mobilização do calcário no solo por método biológico. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.58, p.357-560, 2001.

GUARÇONI M., A.; BRAGANÇA, S. M.; LANI, J. A. Modificações nas características da fertilidade do solo causadas pelo plantio adensado de café conilon. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIEIRAS, 31., Guarapari. **Trabalhos Apresentados...** Rio de Janeiro: MAPA/PROCAFÉ. 2005. p.208-209.

LEITE, L. F. C.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J. C. L.; MACHADO, P. L. O. A.; GALVÃO, J. C. C. Estoques totais de carbono orgânico e seus compartimentos em Argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.821-832, 2003.

LANI, J. L. **Estratificação de ambientes na Bacia do Rio Itapemirim, no Sul do Estado do Espírito Santo**. 1987. 114p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Viçosa, UFV. 1987.

MAIA, C. E.; CANTARUTTI, R. B. Acumulação de nitrogênio e carbono no solo pela adubação orgânica e mineral contínua na cultura do milho **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v.8, p.39-44, 2004.

MARCHIORI JUNIOR, M.; MELO, W. J. Alterações na matéria orgânica e na biomassa microbiana em solo de mata natural submetido a diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília v.35, p.1177-1182, 2000.

MATIELLO, J. B. **Café Conillon: como plantar, tratar, colher, preparar e vender**. Rio de Janeiro: MAA/SDR/PROCAFE/PNFC, 1998. 162p.

MATIELLO, J. B.; SANTINATO, R.; GARCIA, A. W. R.; ALMEIDA, S. R.; FERNADES, D. R. **Cultura do café no Brasil: novo manual de recomendações**. Rio de Janeiro: MAPA/PROCAFE, 2002. 387p.

MENDES, A. M.; COSTA, R. S. C.; LEÔNIDAS, F. C.; VENEZIANO, W. Alteração das propriedades químicas do solo devido a calagem em lavoura de café no estado de Rondônia. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL E WORKSHOP INTERNACIONAL DE CAFÉ & SAÚDE, 3., 2003, Porto Seguro. **Anais...** Brasília: EMBRAPA Café, 2003. p.393-394.

NUNES, L. A. P. L. **Qualidade de um solo cultivado com café e sob mata secundária no município de Viçosa-MG**. 2003. 102p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Viçosa, UFV. 2003.

PAVAN, M. A.; CARAMORI, P. H.; ANDRICIOLI FILHO, A.; SCHOLZ, M. manejo da cobertura vegetal do solo para a produção e formação de uma lavoura cafeeira. I. Influência na fertilidade do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.21, p.197-192, 1986.

PASSOS, R. R. **Carbono orgânico e nitrogênio em agregados de um Latossolo Vermelho sob duas coberturas vegetais**. 2000. 89p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Viçosa, UFV. 2000.

PREZOTTI, L. C.; BRAGANÇA, S. M. Nutrição. In: COSTA E. B da. (coord.). **Manual técnico para a cultura do café no estado do Espírito Santo**. Vitória: SEAG-ES, 1995. p.42-53.

RENA, A. B.; SILVEIRA, J. S. M. Fatores que afetam o desenvolvimento e a atividade do sistema radicular. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto-SP, **Anais...** Botucatu, 2003. Palestras. CD.

ROCHA, A. C.; PREZOTTI, L. C.; DADALTO, G. G. Práticas de conservação de solo em café arábica na região serrana do Espírito Santo. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Caldas. **Resumos expandidos...** Brasília: EMBRAPA Café; Belo Horizonte: Minasplan, 2000. 2v. p.1376-1378.

SANTOS, C. E. M.; LAVIOLA, B. G.; PEREIRA, W. A.; MAURI, A. L.; DIAS, P. C.; BARROS, F. M.; CAMPOS, J. A.; GOMES, W. R. Fertilidade dos solos de lavouras de café conilon na região norte do estado do Espírito Santo. I. Macronutrientes. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 30., 2004, São Lourenço. **Trabalhos apresentados...** Rio de Janeiro: MAPA/PROCAFÉ. 2004a. p.182-183.

SANTOS, C. E. M.; MAURI, A. L.; PEREIRA, W. A.; LAVIOLA, B. G.; DIAS, P. C.; BARROS, F. M.; CAMPOS, J. A.; GOMES, W. R. Estado nutricional dos solos das lavouras de café conilon na região norte do estado do Espírito Santo. III. Matéria orgânica e propriedades químicas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 30., 2004, São Lourenço. **Trabalhos apresentados...** Rio de Janeiro: MAPA/PROCAFÉ. 2004b. p.184-185.

SILVA, C. A.; MELO, L. C. A.; RANGEL, O. J. P.; GUIMARÃES, P. T. G. Produtividade do cafeeiro e atributos de fertilidade de Latossolo sob influência de adensamento da lavoura e manejo da calagem. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.28, p.1066-1076, 2004.

SOUZA, M. A. S.; COELHO, A. E.; RESENDE, W. S.; LIMA, L. M.; BORGES, E. N. Quantificação do carbono orgânico total (COT) na região do meio da rua do cafeeiro submetido ao sistema de gradagem e herbicida. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 31., 2005, Guarapari. **Trabalhos Apresentados...** Rio de Janeiro: MAPA/PROCAFÉ, 2005a. p.93-94.

SOUZA, M. A. S.; COELHO, A. E.; RESENDE, W. S.; LIMA, L. M.; BORGES, E. N. Teor de carbono orgânico total (COT) na região da copa do cafeeiro sob o sistema de fertirrigação e sequeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 31., 2005, Guarapari. **Trabalhos Apresentados...** Rio de Janeiro: MAPA/PROCAFÉ, 2005b. p.238-239.

THEODORO, V. C. A.; ALVARENGA, M. I. N., GUIMARAES, R. J.; SOUZA, C. A. S. Alterações químicas em solo submetido a diferentes formas de manejo do cafeeiro **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.1039-1047, 2003.

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

YEOMANS, J. C., BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.19, p.1467-1476, 1988.

6. CONCLUSÕES GERAIS

A maioria dos atributos dos solos estudados foi influenciada pelo trato cultural e sítio de amostragem, apresentando-se como importantes indicadores de mudanças na qualidade do solo.

As práticas de adubação e calagem, associadas aos tratos culturais, promoveram efeitos nos atributos do solo, principalmente os químicos.

As análises física e química para avaliação das reais condições dos solos cultivados com cafeeiro conilon são práticas muito importantes, visando a utilização racional e equilibrada de calcário e adubos.

O retorno da palha de café é muito importante para o equilíbrio e melhoria dos atributos do solo, principalmente os químicos.

A divisão das áreas em segmentos (terço superior, médio e inferior), faz-se necessária, para avaliação de atributos do solo, em condições de relevo forte ondulado, em função das diferenças associadas aos solos, existentes ao longo do declive.

A melhoria das condições dos solos cultivados com lavouras cafeeiras e, conseqüentemente, da produtividade da cultura está associada à utilização de práticas de manejo conservacionistas, principalmente quando se trata de áreas declivosas, como a região do Sul do Estado do Espírito Santo.