

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

**LUCAS CONTARATO PILON**

**ATRIBUTOS DE UM ARGISSOLO AMARELO COESO SOB CULTIVO  
DE CAFEIRO A PLENO SOL E CONSORCIADO COM ESPÉCIES  
ARBÓREAS**

Alegre  
2013

**LUCAS CONTARATO PILON**

**ATRIBUTOS DE UM ARGISSOLO AMARELO COESO SOB CULTIVO  
DE CAFEIEIRO A PLENO SOL E CONSORCIADO COM ESPÉCIES  
ARBÓREAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Produção Vegetal na Área de Concentração Solos e Nutrição de Plantas.

Orientador - Renato Ribeiro Passos  
Co-orientador - Eduardo de Sá Mendonça  
Co-orientador - Anderson Lopes Peçanha

Alegre  
2013

**LUCAS CONTARATO PILON**

**ATRIBUTOS DE UM ARGISSOLO AMARELO COESO SOB CULTIVO DE  
CAFFEEIRO A PLENO SOL E CONSORCIADO COM ESPÉCIES ARBÓREAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal na área de concentração Solos e Nutrição de Plantas.

Aprovada em 28 de março de 2013.

**COMISSÃO EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Renato Ribeiro Passos  
Centro de Ciências Agrárias – UFES  
(Orientador)

---

Prof. Dr. Eduardo de Sá Mendonça  
Centro de Ciências Agrárias – UFES  
(Coorientador)

---

Prof. Dr. Diego Lang Burak  
Centro de Ciências Agrárias – UFES

---

Prof. Dr. Otacílio José Passos Rangel  
Instituto Federal de Educação do Espírito Santo – IFES

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)  
(Biblioteca Setorial de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

---

P643a Pilon, Lucas Contarato, 1985-  
Atributos de um Argissolo Amarelo coeso sob cultivo de cafeeiro a pleno sol e consorciado com espécies arbóreas / Lucas Contarato Pilon. – 2013.  
104 f. : il.

Orientador: Renato Ribeiro Passos.

Coorientadores: Eduardo de Sá Mendonça, Anderson Lopes Peçanha.

Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias.

1. Cafeeiro. 2. Agrossilvicultura. 3. Argissolo. 4. Fertilidade do solo. 5. Física do solo. I. Passos, Renato Ribeiro. II. Mendonça, Eduardo de Sá. III. Peçanha, Anderson Lopes. IV. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias. V. Título.

CDU: 63

---

Ao meu pai, José Luiz,  
à minha mãe, Maria Lúcia  
e à minha irmã, Bárbara.

**Dedico**

*“Em busca da essência  
Dos sistemas agroflorestais,  
Encontrei lições:  
De provar para depois comer,  
De servir para quem sonhar,  
De sonhar para quem acordar,  
Na certeza de que a árvore vai crescer  
Na medida que a aprendizagem  
For um compromisso coletivo  
Para o mundo florescer”*

Anôr Fiorini

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus pela oportunidade de poder avançar mais uma etapa e por sempre superar minhas expectativas diante da vida.

Aos meus pais, que mesmo distantes, sempre estiveram presentes, dando-me todo o apoio necessário para a realização deste mestrado e terem me incentivado nos estudos, pelo diálogo, atenção, afeto e pela oportunidade de desenvolver a pesquisa na propriedade.

À Fúlvia por estar sempre por perto nos momentos difíceis, pela contribuição no laboratório, ensinamentos, companheirismo e paciência.

Gostaria ainda de demonstrar minha gratidão aos profissionais que contribuíram para esta pesquisa.

Ao meu orientador Prof. Renato Ribeiro Passos, por acreditar na proposta de pesquisa e pelo acompanhamento a todo o momento, sempre presente e disposto, à dedicação e orientação.

Ao Prof. Eduardo de Sá Mendonça, pelas contribuições no desenvolvimento e elaboração da pesquisa, ensinamentos, sempre presente e disposto à orientação.

Ao Prof. Anderson Lopes Peçanha, por toda a disposição e contribuição nas coletas de emissão de CO<sub>2</sub> e companheirismo.

Ao Prof. Otacílio José Passos Rangel, pelas contribuições, atenção e sempre disposto a contribuir para o desenvolvimento do trabalho.

Ao Prof. Diego Lang Burak, pelo aprendizado proporcionado e pelas contribuições na descrição do perfil e difração de raios-x.

Ao Prof. Hugo Alberto Ruiz, pelas contribuições estatísticas, companheirismo, convivência e por sempre estar disposto a contribuir com a pesquisa de maneira simpática e generosa.

Aos laboratoristas Sônia (Soninha), Marcelo, Maraboti, Sílvio, Alexandro e Luiz, pela amizade e por toda colaboração durante o curso.

Ao laboratorista Cláudio (Física do solo – UFV), pelo grande apoio nas análises laboratoriais em Viçosa.

Da maneira muito especial aos amigos e colegas dessa jornada: Wesley (Monge), Paulo Roberto (Paulinho), Paulo Henrique (PH), Ericka, Arieli, Acácio,

Fernando Elair, Jocelina e Aymbiré, agradeço toda dedicação e amizade que dispuseram a mim durante o curso.

Aos meus amigos que além do mestrado estão sempre por perto, Fernando Zinger, Lilian, Célio, Huezer, Maressa, Felipe Barreto e Kharen e os republicanos Vinicius e Herval o quanto são importantes e tenho muito apreço.

Aos meus amigos e a todos que, de alguma forma, me auxiliaram na realização deste trabalho.

Seria impossível citar a todos aqui e descrever a importância que tiveram na minha formação como pesquisador e principalmente como ser humano. A todos, muito obrigado!



## RESUMO GERAL

Diante da necessidade de obter informações sobre o cultivo de cafeeiros arborizados, o objetivo do trabalho é avaliar a relação dos atributos químicos, físicos e os componentes da matéria orgânica do solo sob cultivo de café consorciado com diferentes espécies arbóreas, comparativamente ao café cultivado a pleno sol, tendo como referência uma área sob floresta. O trabalho foi conduzido em sistemas de produção de café, numa propriedade familiar, município de Nova Venécia - ES. O solo da área é um ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso típico, cultivado com café conilon consorciado com árvores, nos seguintes sistemas de uso e manejo: 1) café sem consórcio (pleno sol), 2) café consorciado com nim (*Azadirachta indica*), 3) café consorciado com cedro australiano (*Cedrela fissilis*) e 4) café consorciado com teca (*Tectona grandis*). Foi utilizado um solo de área florestal, como referência. A amostragem do solo foi realizada nas seguintes profundidades: 0,0 – 0,05; 0,05 – 0,10; 0,10 – 0,20; e 0,20 – 0,40 m, avaliando-se atributos químicos (pH, P, K, Ca, Mg, Al, H+Al, N, C total, C ext em água, C biomassa microbiana e emissão de CO<sub>2</sub>) e físicos do solo (granulometria, densidade do solo e de partículas, porosidade total, macro e microporosidade, estabilidade de agregados, resistência do solo à penetração e umidade do solo). A avaliação do carbono solúvel (C ext) e do carbono da biomassa microbiana do solo (CBMS) foi realizada em duas épocas (março e setembro/2012) nas profundidades de 0,0 – 0,05 e 0,05 – 0,10 m; já a emissão de CO<sub>2</sub> foi medida na mesma época que, na presença e ausência de serapilheira. Os resultados experimentais mostram que os sistemas de uso e manejo apresentam comportamento diferenciado para grande parte dos atributos estudados. O solo florestal apresenta maiores teores e estoques de carbono orgânico total e nitrogênio total, 19,8 e 1,99 Mg ha<sup>-1</sup> respectivamente, além de maior teor de carbono na biomassa microbiana (518,8 µg g<sup>-1</sup> solo em março e 364,8 µg g<sup>-1</sup> solo em setembro). Os atributos dos solos sob cafeeiros consorciados, de maneira geral, não diferem do solo sob cafeeiro a pleno sol, exceção feita para os atributos Mg, N e o C ext, C-BMS, quociente microbiano (qMic) na duas épocas de coleta, os quais são superiores nos consórcios agroflorestais, e o quociente metabólico (qCO<sub>2</sub>) inferior, denotando maior estabilidade dos cafeeiros arborizados. O café a pleno sol mostra-se um agroecossistema mais perturbado com maior qCO<sub>2</sub> (1,81 µg CO<sub>2</sub> C-BMS<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> em março e 2,44 µg CO<sub>2</sub> C-BMS<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> em setembro). A proteção do solo ocasionada

pelo sombreamento das árvores e a deposição de serapilheira influencia principalmente os atributos biológicos estudados, favorecendo um maior equilíbrio nos cafeeiros arborizados. Com relação aos atributos físicos, o consórcio proporciona menor densidade do solo, maior porosidade total e macroporosidade do solo, diferindo do café a pleno sol. Os cafeeiros consorciados se diferem somente na agregação do solo. A resistência do solo à penetração é influenciada pela umidade do solo, com destaque para o café a pleno sol que apresenta valores mais baixos desse atributo, em função da irrigação, que eleva a umidade do solo. O estudo numa condição de Argissolo coeso, mostra que 5 anos de implantação de sistemas arborizados são suficiente para apresentar pequenas mudanças nos atributos estudados, no entanto para atributos de alta sensibilidade, como os biológicos, são suficientes para apresentar mudanças mais consistentes dos sistemas de uso e manejo.

**Palavras-chave:** Café sombreado. Manejo de agroecossistemas. Carbono orgânico do solo. Emissão de CO<sub>2</sub>. Fertilidade do solo. Propriedades físicas do solo.

## GENERAL ABSTRACT

Faced with the need for information on the coffee agroforestry systems, the objective is to evaluate the relationship of the chemical, physical and components of soil organic matter under coffee intercropping with different tree species, compared to the full-sun coffee with an area under forest like reference. The research was conducted in coffee production systems, a family farm, in Nova Venécia city - ES. The soil is an YELLOW ULTISOL Distrocohesive typical, with shadow coffee plantation, the following different land use systems and management: 1) coffee full (full-sun), 2) coffee intercropped with neem (*Azadirachta indica*), 3) coffee intercropped with Australian cedar (*Cedrela fissilis*) and 4) coffee intercropped with Teca (*Tectona grandis*). It was used a soil of forest area, as a reference. Soil sampling was conducted in the following depths: 0.0-0.05, 0.05-0.10; 0.10-0.20, and 0.20-0.40 m, evaluating chemical soil attributes (pH, P, K, Ca, Mg, Al, H + Al, total nitrogen (TN), total organic carbon (TOC), water-soluble carbon (WSC), soil microbial biomass carbon (SMBC) and soil CO<sub>2</sub> emission and physical soil attributes (particle size, bulk density, total porosity, macroporosity, microporosity and soil resistance penetration), was collected and characterization of accumulated litter. The evaluation of soluble carbon (soluble C) and soil microbial biomass carbon (SMBC) was held twice a year (March and september/2012) at depths from 0.0-0.05 and 0.05-0, 10 m, the soil CO<sub>2</sub> emission was measured at the same times, in the presence and absence of litter. The experimental results show that the use and management systems were characterized for most attributes researched. The forest soil has higher levels of stocks and TOC and TN, 19.8 and 1.99 Mg ha<sup>-1</sup> respectively, and the higher SMBC (518.8 mg g<sup>-1</sup> soil in March and 364, 8 mg g<sup>-1</sup> soil in September). The soil under shadow coffee, in general, do not differ from full-sun coffee, except for the attributes Mg, N and soluble C, SMBC, microbial quotient (QMIC) at both harvests, which are higher in agroforestry systems, and attributes TOC/ soluble C and metabolic quotient (qCO<sub>2</sub>) lower values, indicating greater stability of shadow coffee systems. The full-sun coffee shows more disturbed agroecosystem with high qCO<sub>2</sub> (1.81 µg CO<sub>2</sub><sup>2</sup> CBMS<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> in March and 2.44 µg CO<sub>2</sub><sup>2</sup> CBMS<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> in September). The protection of soil caused by shading from trees and litterfall influences the biological attributes primarily, favoring a greater balance in shadow coffee. Relative to physical attributes, the intercropped provides a lower bulk density, higher total porosity and

macroporosity, differing full-sun coffee. The shadow coffee up differs only in soil aggregation. The soil resistance penetration is influenced by soil moisture, especially for full-sun coffee which shows lower values of this attribute, depending on irrigation management, which increase soil moisture. The study provides a ULTISOL cohesive, shows that 5 years of systems implementation, are enough to present small changes in the attributes studied, however high sensitivity to attributes such as biological changes are sufficient to represent most consistent use and management systems.

**Key words:** Shadow coffee. Agroecosystems management. Soil organic carbon. CO<sub>2</sub> emission. Soil fertility. Soil physical properties.

## LISTA DE FIGURAS

### Capítulo 1

- Figura 1** - Precipitação e temperatura mensal da área de estudo em Nova Venécia, ES, nos anos de 2011 e 2012. As setas indicam os meses que foram realizadas amostragem do solo ..... **28**
- Figura 2** - Croqui da área experimental mostrando os diferentes sistemas de uso e manejo do solo ..... **29**
- Figura 3** - Carbono orgânico total (COT) no solo nas profundidades 1; 2; 3 e 4, respectivamente 0-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20; e 0,20-0,40 m. Barras de erros corresponde ao desvio padrão da média dos dados ..... **40**
- Figura 4** - Nitrogênio total (NT) no solo nas profundidades 1; 2; 3 e 4, respectivamente 0-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20; e 0,20-0,40 m. Barras de erros corresponde ao desvio padrão da média dos dados ..... **41**
- Figura 5** - Carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS) na profundidade 0-0,05 m, nas duas épocas de coleta: verão (março/2012) e inverno (setembro/2012). Barras de erros correspondem ao desvio padrão da média dos dados ..... **45**

### Capítulo 2

- Figura 1** - Precipitação e temperatura mensal da área de estudo em Nova Venécia, ES, nos anos de 2011 e 2012. As setas indicam os meses que foram realizadas amostragem do solo ..... **72**
- Figura 2** - Croqui da área experimental mostrando os diferentes sistemas de uso e manejo do solo ..... **73**
- Figura 3** - Difratoograma de raios-X da fração argila na profundidade de 0-0,20 m do Argissolo Amarelo em Nova Venécia-ES. Ct: caulinita; Gb: gibsitita; Gt: goethita; Hm: hematita. (K $\alpha$  Co) ..... **75**
- Figura 4** - Resistência do solo à penetração sob distintos sistemas de uso e manejo: floresta (FL), café consorciado com Nim (CN), café consorciado com Cedro (CC), café consorciado com Teca (CT) e café a pleno sol (CS) ..... **85**

### Anexo

- Figura 1** - Precipitação e temperatura mensal da área de estudo em Nova Venécia, ES, nos anos de 2011 e 2012. As setas indicam os meses que foram realizadas amostragem do solo..... **104**

## LISTA DE TABELAS

### Capítulo 1

<b>Tabela 1</b> - Serapilheira acumulada considerando-se diferentes sistemas de uso e manejo .....	<b>31</b>
<b>Tabela 2</b> - Carbono orgânico (CO) e nitrogênio total (NT) da serapilheira acumulada considerando-se diferentes sistemas de uso e manejo .....	<b>31</b>
<b>Tabela 3</b> - Contrastes ortogonais usados na avaliação dos atributos analisados, considerando os diferentes sistemas de uso e manejo .....	<b>35</b>
<b>Tabela 4</b> - Valores médios e contrastes comparando pH em água (pH), fósforo disponível (P), potássio (K), sódio (Na), cálcio (Ca), magnésio (Mg), e alumínio (Al) em diferentes profundidades de um Argissolo Amarelo sob distintos sistemas de uso e manejo .....	<b>37</b>
<b>Tabela 5</b> - Valores médios e contrastes comparando acidez potencial (H+Al), soma de bases (SB), CTC potencial (T), CTC efetiva (t), saturação por bases (V), e saturação por alumínio (m) em diferentes profundidades de um Argissolo Amarelo sob distintos sistemas de uso e manejo .....	<b>38</b>
<b>Tabela 6</b> - Valores médios e contrastes comparando carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT), relação COT/NT, estoque de carbono (ESTC) e estoque de N (ESTN) em diferentes profundidades de um Argissolo Amarelo sob distintos sistemas de uso e manejo .....	<b>42</b>
<b>Tabela 7</b> - Valores médios e contrastes comparando estoque de carbono (ESTC) e estoque de N (ESTN) de um Argissolo Amarelo sob distintos sistemas de uso e manejo.....	<b>43</b>
<b>Tabela 8</b> - Valores médios e contrastes comparando carbono solúvel (C ext), carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS), quociente microbiano (qMic) e relação COT/C ext em duas profundidades de um Argissolo Amarelo sob distintos sistemas de uso e manejo em duas épocas de coleta .....	<b>46</b>
<b>Tabela 9</b> - Valores médios e contrastes de emissão de CO <sub>2</sub> na ausência (ASer) e presença (PSer) de serapilheira, temperatura (T), umidade (Umid) e respectivos quocientes metabólicos (qMet) em um Argissolo Amarelo em duas épocas de coleta .....	<b>47</b>
<b>Tabela 10</b> - Equação de regressão (linear múltipla) e o R quadrado, utilizado para ajustar os valores de emissão de CO <sub>2</sub> na mesma temperatura e umidade do solo .....	<b>48</b>
<b>Tabela 11</b> - Valores médios e contrastes de grau de saturação de água (θs) em um Argissolo Amarelo em duas épocas de coleta .....	<b>49</b>

### Capítulo 2

<b>Tabela 1</b> - Contrastes ortogonais usados na avaliação dos atributos	<b>79</b>
---	-----------

analisados, considerando os diferentes sistemas de uso e manejo .....	
<b>Tabela 2</b> - Composição granulométrica de um Argissolo Amarelo sob diferentes profundidades e sistemas de uso e manejo. Valores médios de areia grossa (AG), areia fina (AF), silte e argila e seus respectivos contrastes .....	<b>81</b>
<b>Tabela 3</b> -. Valores médios de densidade do solo (Ds), densidade de partículas (Dp), porosidade total (P), microporosidade (Mip) e macroporosidade (Map) de um Argissolo Amarelo sob diferentes profundidades e sistemas de uso e manejo e seus respectivos contrastes .....	<b>83</b>
<b>Tabela 4</b> - Índices de agregação de um Argissolo Amarelo sob diferentes profundidades e sistemas de uso e manejo. Valores médios de diâmetro médio geométrico (DMG) e ponderado (DMP), macro agregados maiores (Mag>), macroagregados menores (Mag<) e microagregados (Mig) e seus respectivos contrastes .....	<b>84</b>
<b>Tabela 5</b> - Resistência do solo à penetração (RP)e umidade de um Argissolo Amarelo sob distintos sistemas de uso e manejo e seus respectivos contrastes .....	<b>86</b>
 <b>Anexo</b>	
<b>Tabela 1</b> - Caracterização granulométrica do perfil de um ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso típico, Nova Venécia-ES .....	<b>103</b>
<b>Tabela 2</b> - Caracterização química do perfil de um ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso típico, Nova Venécia-ES .....	<b>103</b>

## SUMÁRIO

<b>Resumo Geral .....</b>	<b>v</b>
<b>General Abstract .....</b>	<b>vii</b>
<b>Lista de Figuras .....</b>	<b>ix</b>
<b>Lista de Tabelas .....</b>	<b>x</b>
<b>1 Introdução Geral .....</b>	<b>16</b>
<b>2 Referências .....</b>	<b>18</b>
<b>Capítulo 1 - Matéria orgânica e atributos químicos do solo sob cultivo de cafeeiro a pleno sol e consorciado com espécies arbóreas</b>	
Resumo .....	21
Abstract .....	23
1 Introdução .....	25
2 Material e métodos .....	27
3 Resultados .....	35
4 Discussão .....	49
5 Conclusões .....	56
6 Referências .....	58
<b>Capítulo 2 - Atributos físicos do solo sob cultivo de cafeeiro a pleno sol e consorciado com espécies arbóreas</b>	
Resumo .....	67
Abstract .....	69
1 Introdução .....	70
2 Material e métodos .....	71
3 Resultados .....	79
4 Discussão .....	86
5 Conclusões .....	91
6 Referências .....	93



<b>1 Conclusões gerais .....</b>	<b>100</b>
<b>2 Considerações finais .....</b>	<b>101</b>
<b>Anexo .....</b>	<b>102</b>

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

Os ecossistemas naturais apresentam integração equilibrada entre a cobertura vegetal e os atributos físicos, químicos e biológicos do solo, decorrente de processos essenciais de ciclagem de nutrientes, acumulação e decomposição da matéria orgânica. Entretanto, as atividades agrícolas promovem alterações nesses atributos e provocam, na maioria das vezes, impactos ambientais negativos (LANI et al., 2007). O grau de impacto está relacionado com o manejo do sistema produtivo e as práticas agrícolas, como o sistema plantio direto e uso de coberturas vegetais apropriadas para a região, que propiciam menor degradação do solo e maior sustentabilidade da agricultura (KAISER et al., 1995).

É preciso compreender e respeitar as intrincadas relações ecológicas dos seres existentes nos diferentes ambientes (ALTIERI, 2004). Entretanto, essa compreensão não ocorreu ao longo de décadas com o uso de técnicas como monoculturas, desmatamentos e queimadas. Tais técnicas levaram à degradação dos recursos naturais (DEAN, 1996), tendo como uma das consequências a perda de qualidade dos solos.

No manejo de lavouras cafeeiras, surgem sistemas que se enquadram com o avanço das tecnologias, adaptações edafoclimáticas e às condições dos agricultores que desenvolvem esse cultivo. Trata-se de cafeeiros em sistemas agroflorestais (SAF) ou consorciados com espécies arbóreas, uma alternativa que garante benefícios aos produtores, às culturas envolvidas no sistema e ao solo (DAMATTA et al., 2007).

O café é originário de florestas caducifólias da Etiópia e Sudão (BOULAY et al., 2000); é, portanto, uma espécie adaptada à sombra. Em vários países produtores de café, tais como Colômbia, Venezuela, Costa Rica, Panamá e México, o cultivo em sistemas agroflorestais (SAF) tem sido um recurso utilizado para aumentar a diversidade vegetal dos sistemas e a renda do produtor (BEER, 1997; ESCALANTE, 1997; BERTRAND & RAPIDEL, 1999).

Embora no Brasil se tenha o predomínio da cultura a pleno sol, cada vez mais os cafeicultores estão aderindo ao cultivo associado a outras espécies, como culturas anuais e perenes que atuam como quebra ventos e formadores de sombra.

Os sistemas agroflorestais são um modelo de agricultura que mimetizam as florestas, tendo como objetivo melhorar a capacidade produtiva dos solos tropicais. Esse sistema pode aumentar a disponibilidade de nutrientes e acelerar a ciclagem de P devido à presença de raízes em camadas mais profundas do solo; e melhorar a qualidade química e física dos solos, assim como a atividade microbiana dos mesmos (COOPER et al. 1996).

O sombreamento com espécies e espaçamentos adequados pode apresentar resultados satisfatórios, quando comparado ao cultivo a pleno sol (FERNANDES, 1986). O sombreamento não afeta somente a disponibilidade de luz ao longo da copa do cafeeiro, mas também melhora as condições microclimáticas via redução dos extremos de temperatura do ar e do solo, reduz a velocidade dos ventos, mantém a umidade relativa do ar e a disponibilidade hídrica do solo (BEER et al., 1998). Além disso, árvores de sombra produtoras de madeira têm baixos custos de produção e, por isso, são consideradas opções economicamente viáveis para consórcio (FERRÃO, 2007).

Androcioli Filho et al. (2003) confirmam que temperaturas amenas, como as que ocorrem em condições de sombreamento, têm efeitos positivos na qualidade do café. O sombreamento incrementa a qualidade do café, à medida que as condições climáticas amenas prolongam a maturação dos frutos, produzindo grãos maiores e superiores acúmulos de açúcares e sólidos solúveis (VAAST et al., 2005).

Em relação ao solo, a presença de árvores aumenta o aporte de resíduos orgânicos em virtude da queda de folhas, conserva a umidade, reduz as perdas de N, aumenta a capacidade de absorção e infiltração de água, reduz o risco de erosão e emergência de plantas invasoras, e estimula a atividade biológica (MUSCHLER, 2000; BARBERA-CASTILLO, 2001). A presença de árvores resulta também em redução da exposição do solo à radiação solar, intensificação da ciclagem de nutrientes, abscisão de folhas e galhos, proteção do solo contra erosão, e maior volume de raízes, que reduzem a volatilização e lixiviação do N, contribuindo assim para melhorar a fertilidade do solo (MUÑOZ & ALVARADO, 1997), funcionam como banco de estoque de carbono no solo e na vegetação, removendo quantidades significativas de CO<sub>2</sub> da atmosfera (ANDRADE & IBRAHIM, 2003), e servem como refúgio para a biodiversidade animal (PERFECTO et al., 1996; GORMLEY & SINCLAIR, 2003).

Nos sistemas agroflorestais o ciclo da matéria orgânica é o processo mais importante para a manutenção da fertilidade do solo. As espécies consorciadas com os cafeeiros podem produzir altas quantidades de resíduos, especialmente se elas permitem o manejo mediante podas. Os agroecossistemas cafeeiros com arborização podem obter um aproveitamento mais eficiente dos aportes de energia na forma de radiação solar e de nutrientes, através da produção de biomassa nos vários extratos de vegetação, da maior proteção do solo e da maior diversificação do sistema.

Na avaliação da sustentabilidade, o monitoramento dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo é fundamental (DORAN & PARKIN, 1994). Deve-se salientar que alguns fatores precisam ser considerados antes da implantação da arborização, entre eles, a capacidade do solo de fornecer nutrientes ao sistema.

Diante da necessidade de obter informações sobre o cultivo de cafeeiros arborizados, o objetivo do trabalho foi avaliar a relação dos atributos químicos, físicos e biológicos do solo sob cultivo de café consorciado com diferentes espécies arbóreas, comparativamente ao café cultivado a pleno sol, tendo como referência uma área sob floresta.

## 2 REFERÊNCIAS

- ALTIERI, M. Linking ecologists and traditional farmers in the search for sustainable agriculture, *Front. Agriculture, Ecosystems & Environment*, n.2, p.35 - 42, 2004.
- ANDRADE, H.J.; IBRAHIM, M. Cómo monitorear el secuestro de carbono en los sistemas silvopastoriles? **Agroforestería en las Américas**, v.10, p.109-116, 2003.
- ANDROCIOLI FILHO, A.; LIMA, F.B.; TRENTO, E.J., CARNEIRO FILHO, F.; CARAMORI, P.H.; SCHOLZ, M.B.S. Caracterização da qualidade da bebida dos cafés produzidos em diversas regiões do Paraná. In: III SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2003, Porto Seguro. **Anais...** Brasília: Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café, 2003. p. 256-257.
- BARBERA-CASTILLO, N.M. **Diversidad de especies de hormigas en sistemas agroforestales contrastantes de café, em Turrialba, Costa Rica**. 2001. 99p. Dissertação (Mestrado) – Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica.
- BEER, J. Café bajo sombra en América Central Hace falta más investigación sobre este sistema agroforestal exitoso? **Agroforestería en las Américas**, v.4, p.8-13, 1997.
- BEER, J.; MUSCHLER, R.; KASS, D.; SOMARRIBA, E. Shade management in coffee and cacao plantations. **Agroforestry systems**, v. 38, p.139-164, 1998.
- BERTRAND, B.; RAPIDEL, B. **Desafíos de la caficultura em Centroamérica**. San José, Costa Rica: Promecafe; Paris: Cirad, 1999. 496p.
- BOULAY, M.; SOMARRIBA, E.; OLIVIER, A. Calidad de Coffea arabica bajo sombra de Erythrina poeppigiana a diferentes elevaciones en Costa Rica. **Agroforestería en las Américas**, v.7, p.40-42, 2000.
- COOPPER, P.J.M.; LEAKEY, R.R.B.; RAO, M.R.; REYNOLDS, L. 1996. Agroforestry and the mitigation of land degradation in the humid and sub-humid tropics of Africa. **Experimental Agriculture**, 32, p.235-290.
- DAMATTA, F. M.; RONCHI, C. P.; SALES, E. F.; ARAÚJO, J. B. S. **O café conilon em Sistemas agroflorestais**. In: FERRÃO, R. G.; et al. (Ed.). *Café Conilon*. Vitória, ES: Incaper, p.281-295, 2007.
- DEAN, W. **A Ferro e Fogo: a História e a Devastação da Mata Atlântica Brasileira**. 2ª ed. São Paulo. Companhia das Letras, 1996, 484 p.
- ESCALANTE, E. Café y agroforestería en Venezuela. **Agroforestería en las Américas**, v.4, p.21-24, 1997.
- FERNANDES, D.R. Manejo do cafezal. In: RENA, A.B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, M.; YAMADA, T. (Ed.). **Cultura do café; fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba, SP: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fósforo, 1986. p.275-301.

- GORMLEY, L.H.L.; SINCLAIR, F.L. Modelaje participativo del impacto de los árboles en la productividad de las fincas y la biodiversidad regional en paisajes fragmentados en América Central. **Agroforestería en las Américas**, v.10, p.103-108, 2003.
- KAISER, E.A.; MARTENS, R.; HEINEMEYER, O. Temporal changes in soil microbial biomass carbon in an arable soil. **Plant and Soil**, v.170, p.287-295, 1995.
- LANI, J. A.; BRAGANÇA, S. M.; PREZOTTI, L. C.; GUARÇONI, A. M.; DADALTO, G. G. **Preparo, manejo e conservação do solo**. In: FERRÃO, R. G.; et al. (Ed.). *Café Conilon*. Vitória, ES: Incaper, p.281-295, 2007.
- MUÑOZ, G.; ALVARADO, J. Importancia de la sombra en el cafetal. **Agroforestería en las Américas**, v.4, p.25-29, 1997.
- MUSCHLER, R.G. **Árboles en cafetales**. Turrialba, Costa Rica: Catie/ GTZ, 2000. 139p. (Módulo de enseñanza agroforestal, 5).
- PERFECTO, I.; RICE, R.A.; GREENBERG, R.; VAN DER VOORT, M.E. Shade coffee: a disappearing refuge for biodiversity. **BioScience Journal**, v.46, p.598-608, 1996.
- VAAST, P.; BERTRAND, B.; PERRIOT, J.J.; GUYOT, B.; GÉNARD, M. Fruit thinning and shade improve bean characteristics and beverage quality of coffee (*Coffea arabica* L.) under optimal conditions. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v.86, n.2, p.197-204, 2005.

## **CAPÍTULO 1 - Matéria orgânica e atributos químicos do solo sob cultivo de cafeeiro a pleno sol e consorciado com espécies arbóreas**

### **RESUMO**

Diante da necessidade de obter informações sobre o cultivo de cafeeiros arborizados, o objetivo do trabalho foi avaliar os componentes da matéria orgânica e os atributos químicos do solo sob cultivo de café consorciado com diferentes espécies arbóreas, comparativamente ao café cultivado a pleno sol, tendo como referência uma área sob floresta. O trabalho foi conduzido em sistemas de produção de café, numa propriedade familiar, município de Nova Venécia, Espírito Santo. O solo da área é um ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso típico, cultivado com café conilon plantado em 2002, no espaçamento de 3x1,2 m. No ano de 2006 foi realizado o plantio de árvores em consórcio, nos seguintes sistemas de uso e manejo: 1) café sem consórcio (pleno sol), 2) café consorciado com nim (*Azadirachta indica*), 3) café consorciado com cedro australiano (*Cedrela fissilis*) e 4) café consorciado com teca (*Tectona grandis*). Foi utilizado um solo de área florestal, como referência. A amostragem do solo foi realizada nas seguintes profundidades: 0,0 – 0,05; 0,05 – 0,10; 0,10 – 0,20; e 0,20 – 0,40 m, avaliando-se os seguintes atributos do solo: pH, P, K, Ca, Mg, Al, H+Al, N e C total. A avaliação do carbono solúvel em água e do carbono da biomassa microbiana do solo foi realizada em duas épocas (março e setembro/2012) nas profundidades de 0,0 – 0,05 e 0,05 – 0,10 m. A emissão de CO<sub>2</sub> foi medida com analisador portátil modelo LI-8100 (Licor, EUA) nos diferentes sistemas de uso e manejo, na presença e ausência de serapilheira, nas épocas de março e setembro/2012. Concomitantemente, à medição da emissão de CO<sub>2</sub>, mediu-se a temperatura do solo e coletaram-se amostras de solo de cada ponto para determinação de umidade em laboratório. Os resultados experimentais mostram que as condições químicas dos solos cultivados com cafeeiros são superiores ao solo sob floresta. O solo florestal apresenta maiores teores e estoques de carbono orgânico total e nitrogênio total, 19,8 e 1,99 Mg ha<sup>-1</sup> respectivamente, além de maior teor de carbono na biomassa microbiana (518,8 µg g<sup>-1</sup> solo em março/2012 e 364,8 µg g<sup>-1</sup> solo em setembro/2012). Os atributos dos solos sob cafeeiros consorciados, de maneira geral, não diferem do solo sob cafeeiro a pleno sol, exceção feita para os atributos Mg, N e o C ext, C-BMS, quociente microbiano (qMic) na duas épocas de coleta, os quais são superiores nos consórcios

agroflorestais, e o quociente metabólico ( $qCO_2$ ) inferior. A emissão de C- $CO_2$  dos sistemas é fortemente influenciado pela temperatura e umidade do solo. A proteção do solo ocasionada pelo sombreamento das árvores e a deposição de serapilheira influenciam principalmente os atributos biológicos estudados, favorecendo a um maior equilíbrio nos cafeeiros arborizados.

**Palavras-chave:** Café sombreado. Manejo de agroecossistemas. Carbono orgânico do solo. Emissão de  $CO_2$ .



## Chapter 1 - Organic matter and soil chemical properties under full-sun coffee intercropped with different tree species

### ABSTRACT

Faced with the need for information on the coffee agroforestry systems, the objective is to evaluate the relationship of the chemical, physical and components of soil organic matter under coffee intercropping with different tree species, compared to the full-sun coffee with an area under forest like reference. The research was conducted in coffee production systems, a family farm, in Nova Venécia city - ES. The soil is an Yellow Ultisol Distrocohesive typical, with shadow coffee plantation, the following different land use systems and management: 1) coffee full (full-sun), 2) coffee intercropped with neem (*Azadirachta indica*), 3) coffee intercropped with Australian cedar (*Cedrela fissilis*) and 4) coffee intercropped with Teca (*Tectona grandis*). It was used a soil of forest area, as a reference. Soil sampling was conducted in the following depths: 0.0-0.05, 0.05-0.10; 0.10-0.20, and 0.20-0.40 m, evaluating chemical soil attributes pH, P, K, Ca, Mg, Al, H + Al, total nitrogen (TN), total organic carbon (TOC), soluble carbon (soluble C), soil microbial biomass carbon (SMBC) and soil CO<sub>2</sub> emission, was collected and characterization of accumulated litter. The evaluation of soluble C and soil microbial biomass carbon (SMBC) was held twice a year (March and september/2012) at depths from 0.0-0.05 and 0.05-0, 10 m, the soil CO<sub>2</sub> emission was measured at the same times, in the presence and absence of litter. The CO<sub>2</sub> emission was measured with portable analyzer model LI-8100 (Licor, USA) at the systems of use and management, in the presence and absence of litter in March and setembro/2012. It was measured concurrently with the issue, soil temperature and soil samples collected from each point to determine the humidity in the laboratory. The experimental results shows that the chemical conditions of the soils cultivated with coffee are higher than the forest soil. The forest soil has higher levels of stocks and TOC and NT, 19.8 and 1.99 Mg ha<sup>-1</sup> respectively in addition to higher carbon content SMBC (518.8 mg g<sup>-1</sup> soil in March and 364, 8 mg g<sup>-1</sup> soil in September). The soil under shadow coffee, in general, do not differ from full-sun coffee, except for the attributes Mg, TN and soluble C, SMBC, microbial quotient (qMic) at both harvests, which are higher in agroforestry systems, and attribute metabolic quotient (qCO<sub>2</sub>) lower value. C-CO<sub>2</sub> emission in the systems is strongly influenced by temperature and soil moisture. The protection of soil caused by

shading from trees and litterfall influences the biological attributes primarily, favoring a greater balance in shadow coffee.

**Key words:** Shadow coffee. Agroecosystems management. Soil organic carbon. Soil emission CO<sub>2</sub>.

## 1 INTRODUÇÃO

O café é uma cultura de relevância para o Espírito Santo. O café conilon é cultivado em 64 municípios situados em regiões quentes e com altitudes inferiores a 500 metros, envolvendo 36 mil propriedades. Os maiores municípios produtores estão situados na região norte e noroeste do Espírito Santo. A safra capixaba, em 2009, foi de 7,6 milhões de sacas (INCAPER, 2010).

O manejo inadequado das lavouras promove degradação ao solo. Lavouras cafeeiras cultivadas com práticas conservacionistas e na forma de sistemas agroflorestais promovem maior conservação que em cultivo convencional, diminuindo perda de solo e nutrientes por processos erosivos (FRANCO et al., 2002 e THOMAZINI et al., 2012). Em condições do norte do Espírito Santo, Dadalto (1995) verificou perdas de  $10 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  em cafeeiros sem práticas conservacionistas e manejo inadequado.

Vários estudos mostram que mudanças na cobertura da terra, principalmente na conversão da floresta primária em cultivos agrícolas, afetam, principalmente, o conteúdo de C e N do solo (MARTINS et al., 1991; FEIGL, 1995). Com o passar do tempo esse processo acarreta a diminuição da fertilidade do solo, sendo o P o nutriente que mais limita o desenvolvimento das plantas em ambientes tropicais (MOREIRA & GONÇALVES, 2006).

Essas alterações dependem de vários fatores, como a classe de solo, a sua fertilidade inicial, as suas interações com o meio, a cobertura vegetal introduzida, como também o manejo adotado. É provável que o uso de arranjos agroflorestais, adaptados às condições locais permita obter produções satisfatórias de matéria verde a ser utilizada na cobertura do solo, protegendo-o dos efeitos da erosão, da lixiviação e ainda possa oferecer nutrientes, através da ciclagem das camadas inferiores, necessários para aumentar a produtividade dos cultivos associados, melhorando também as condições de uso da terra (DAMATTA et al., 2007).

Sistemas agroflorestais (SAF's) são alternativas sustentáveis como sistemas de produção agrícola, proporcionando benefícios ambientais, como conservação da biodiversidade e sequestro de carbono (NAIR, 2008), possuindo bastante proximidade em estrutura e diversidade a alguns ecossistemas naturais (SILVA, et

al., 2011), como Mata atlântica. Consistem em sistemas de uso da terra, aos quais tem sido atribuída a melhoria nas propriedades físicas e químicas de solos degradados, bem como na atividade de microrganismos, considerando a possibilidade de um grande número de fontes de matéria orgânica (MENDONÇA; LEITE; FERREIRA NETO, 2001). O aporte de material orgânico, se associado ao menor revolvimento do solo, contribui para a melhoria dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo. Normalmente, os sistemas de manejo alteram esses indicadores, cuja magnitude depende da intensidade e do tipo de uso do solo.

Para o sistema de produção de café, o manejo orgânico e a arborização têm sido abordados como alternativas para a sustentabilidade de cultivo, principalmente para os pequenos produtores (MARTINS NETO & MATSUMOTO, 2010).

A cobertura permanente do solo e o sistema radicular perene das árvores asseguram uma proteção contínua (SCHROTH, 2001), conservam a umidade, reduzem as perdas de N, aumentam a capacidade de absorção e infiltração de água, reduzem o risco de erosão e a emergência de plantas invasoras (FERNANDES, 1986) e propiciam um ambiente favorável para os processos biológicos do solo (SCHROTH, 2001; FERNANDES, 1986).

O ciclo do carbono orgânico do solo é fundamental nos agroecossistemas sendo um dos elementos reguladores dos fluxos de gases entre a biosfera e a atmosfera. Os principais elementos definidores da magnitude e rapidez desse ciclo são as relações entre a produtividade primária e a distribuição do C entre a parte aérea e as raízes, com os processos de mineralização e imobilização (NEILL et al., 1997).

O balanço de C no solo depende da relação entre as adições de C fotossintetizado pelas plantas (parte aérea e raízes) e das perdas de C para a atmosfera, resultantes da oxidação microbiana do C a CO<sub>2</sub> (BAYER et al., 2000). A ciclagem do carbono é influenciada pelo clima, textura do solo, tipo de vegetação, fertilidade natural e uso do solo (FERNANDES, 2008). A emissão de CO<sub>2</sub> é um aspecto importante no ciclo do carbono da terra, sendo resultado da interação entre diversos parâmetros físicos, químicos e biológicos que afetam a produção de CO<sub>2</sub> no interior do solo e o seu transporte solo-atmosfera. Tais propriedades variam no tempo e no espaço dependendo das condições ambientais, características do solo e do manejo agrícola adotado (LA SCALA et al., 2009).

No que se refere ao N, a entrada no sistema ocorre por meio da adubação e fixação biológica e resíduos provenientes do sistema, enquanto as perdas estão relacionadas a fenômenos de erosão, volatilização, desnitrificação e remoção pelas colheitas, sendo primordial um balanço positivo de N no sistema para que haja acúmulo desse nutriente e, por conseguinte, da matéria orgânica do solo (MOS) (SISTI et al., 2004; DIEKOW et al., 2005).

Um solo de boa qualidade possui intensa atividade biológica e contém populações microbianas balanceadas (TÓTOLA & CHAER, 2002). Por isso, o conhecimento dos fatores que afetam os microrganismos do solo é fundamental para a manutenção sustentável do ambiente (DE-POLLI & GUERRA, 2008).

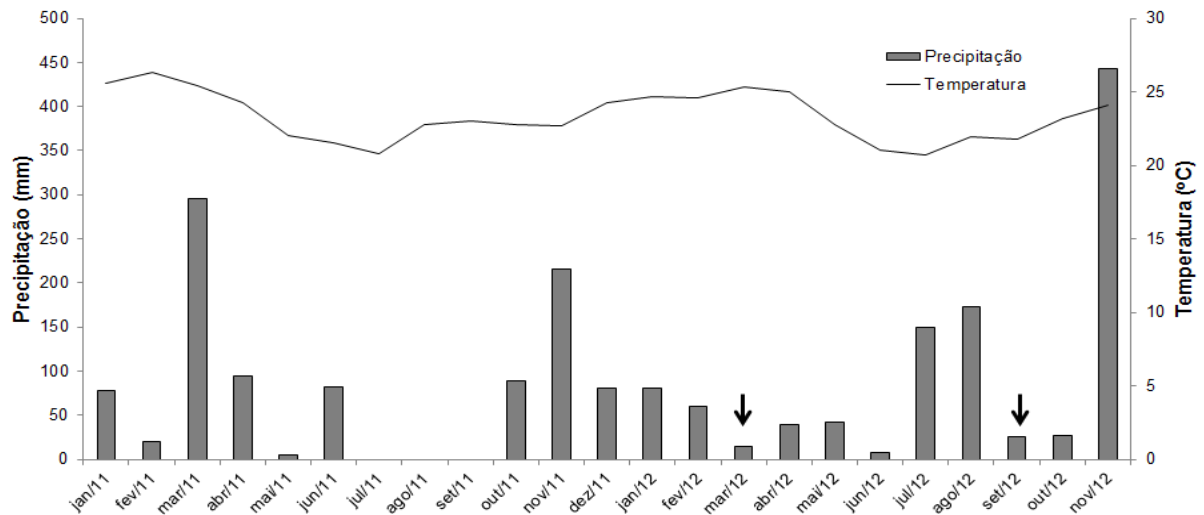
Em levantamento feito no Espírito Santo, verificou-se a existência de 27 lavouras de cafeeiros consorciadas com espécies arbóreas, a maioria localizada na região norte do estado, abrangendo uma área 115 ha. Entre os consórcios, as espécies mais utilizadas são cedro-australiano, teca, seringueira e frutíferas, como cajueiro, coqueiro e mamoeiro (SALES e ARAUJO, 2005). No entanto, poucos estudos têm sido realizados envolvendo solos sob cafeeiros consorciados.

Este trabalho objetivou avaliar os componentes da matéria orgânica, os atributos químicos e biológicos do solo sob cultivo de café consorciado com diferentes espécies arbóreas, comparativamente ao café cultivado a pleno sol, tendo como referência uma área sob floresta.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **Caracterização da área experimental**

O trabalho foi conduzido em sistemas de produção de café, numa propriedade familiar com área de 0,81 ha, declividade de até 10%, localizada no Córrego da Travessia, município de Nova Venécia, Espírito Santo, com coordenadas geográficas de 40° 33' 17,70" W, 18° 23' 40,92" S e altitude de 200 m. O clima da região é classificado como Aw, segundo Köppen-Geiger. Na Figura 1 são apresentados os dados de precipitação pluviométrica e temperatura dos anos de 2011 e 2012.



**Figura 1** - Precipitação e temperatura mensal da área de estudo em Nova Venécia, ES, nos anos de 2011 e 2012. As setas indicam os meses que foram realizadas amostragem do solo.

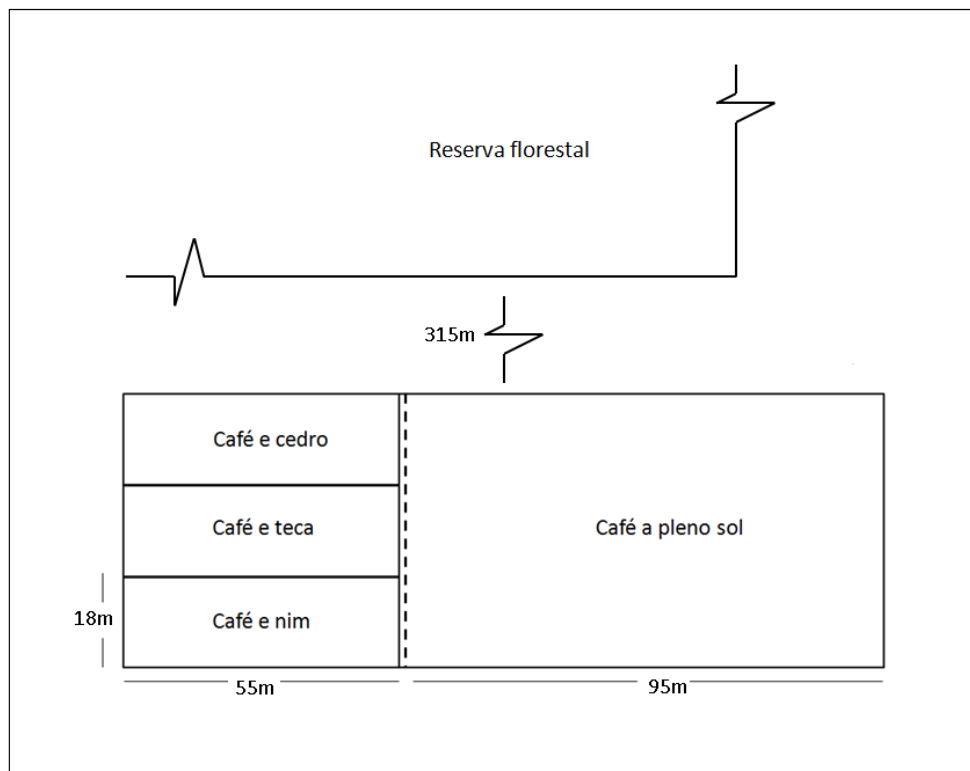
O solo da área é um ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso típico (Figura 1, Anexo), textura argilo-arenosa, cultivado com café conilon linhagem Robustão Capixaba (Emcapa 8141) plantado em 2001, no espaçamento de 3x1, 2 m. No ano de 2006, foi realizado o plantio de árvores em consórcio, dividido em quatro talhões com diferentes tratamentos: 1) café sem consórcio - CS (pleno sol), 2) café consorciado com nim - CN (*Azadirachta indica*), 3) café consorciado com cedro australiano - CC (*Cedrela fissilis*) e 4) café consorciado com teca – CT (*Tectona grandis*). Cada talhão de café consorciado possui área de 990 m<sup>2</sup> (7 linhas de café, com 33 plantas cada) e o café a pleno sol ocupa uma área de 5130 m<sup>2</sup>. Foi utilizado um solo de área florestal - FL, próximo aos cultivos cafeeiros, nos mesmos padrões topográficos e edáficos, como referência de sistema não antropizado (Figura 2).

A área florestal está em processo de regeneração, pois possui 28 anos, foi classificada como Floresta Primária Estacional Semidecidual em regeneração, onde são observadas entre as espécies de ocorrência o Jacarandá Caviuna (*Dalbergia nigra*), o Boleira (*Joannesia princeps*), o Anjico (*Parapiptadenia rígida*), o Cedro Rosa (*Cedrela fissilis*), a Erva Baleira (*Cordia verbenacea*), entre outras.

Antes dos cultivos de cafeeiros e a área florestal, as áreas eram ocupadas por pastagem. Hoje os cafeeiros encontram-se em transição para o sistema agroecológico, com manejo fitossanitário orgânico. A irrigação das áreas ocorre de forma diferenciada, onde cafeeiros sombreados são irrigados por gotejamento, enquanto que no café a pleno sol o sistema adotado é por aspersão. As árvores do

consórcio foram plantadas em 2006, num espaçamento 3x3 m no meio das entre linhas do cafeeiro. Em janeiro de 2011, foi realizado o desbaste das árvores a fim de se obter um espaçamento de 3x6 metros. As árvores são podadas uma vez ao ano, com os restos culturais permanecendo sobre o solo de cada tratamento. Do sistema convencional persiste apenas a aplicação de adubos formulados NPK (adubação mineral), em média 800 g/planta/ano.

Todos os cafeeiros receberam a mesma adubação e calagem em função da análise química do solo e das exigências nutricionais da cultura, com base no Manual de Recomendação de Calagem e Adubação para o Estado do Espírito Santo, 5ª Aproximação (PREZOTTI et al., 2007), sendo que a última calagem na área foi feita em 2009. Atualmente é feita aplicação de preparados homeopáticos à base de *Calcarea carbonica* e *Magnesium carbonicum*, no intuito de correção de acidez e fornecimento de Ca e Mg.



**Figura 2-** Croqui da área experimental mostrando os diferentes sistemas de uso e manejo do solo.

Nim indiano, pertence à família Meliaceae e é de origem asiática. A espécie pode ser reconhecida por ser árvore decídua, de tronco com casca parda-acinzentada saliente; folhas compostas pinadas, dispostas em espiral; inflorescências em panículos axilares mais curtas que as folhas, com flores branco-creme, pequenas; e

os frutos são drupas elipsóides (LORENZI et al., 2003). A planta se adaptou a climas tropicais e subtropicais áridos com precipitação pluvial anual entre 400 a 800 mm. Não é exigente quanto à qualidade de solos, porém não tolera locais encharcados e ácidos. A espécie tem diversas utilizações, por isso alguns a chamam de “árvore da vida”. Há anos ela é usada na Índia para controle de insetos-pragas, nematóides, alguns fungos, bactérias e vírus, na medicina humana e animal, na fabricação de cosmético, reflorestamento, como madeira de lei, adubo, assim como paisagismo (NEVES et al.,2003).

A Teca, pertence à família botânica Verbenaceae, é uma árvore de grande porte e crescimento rápido podendo chegar a 30 m, As folhas, que podem ter disposição oposta à verticilar em grupos de três, são coriáceas e medem de 30 a 60 cm de comprimento por 20 a 35 cm de largura, os limbos são largos e elípticos, as folhas amplas tornam a árvore sombreante desde a fase juvenil, com sistema radicular pivotante. Nativa das florestas tropicais, encontrada no subcontinente índico e no sudeste asiático, a Teca é exigente em nutrientes, principalmente cálcio (FIGUEREDO, 2006).

O cedro australiano, da família Meliaceae, é uma árvore decídua, de grande porte, atingindo 20 m de altura e 1,20 m de circunferência, possui folhas alternadas, pecioladas e paripenadas, com sistema radicular pivotante. Nativa das regiões da Índia e Malásia até o Norte da Austrália, a árvore é de crescimento rápido. A espécie é moderadamente tolerante à falta de água, mas altamente responsiva a quantidade de água disponibilizada durante o seu ciclo, com incrementos acentuados e rápidos. O cedro australiano é exigente em nutrientes, em especial o cálcio, pouco tolerante a solos ácidos (SOUZA et al., 2010).

A amostragem do solo foi realizada em março de 2012 para determinação dos atributos químicos, em quatro profundidades: 0–0,05; 0,05–0,10; 0,10–0,20; e 0,20–0,40 m, com cinco repetições (amostras compostas oriundas da mistura de 3 amostras simples), totalizando 100 amostras. O local de coleta do solo trata-se de um ponto médio entre o coleteo do cafeeiro e das árvores em consórcio, na entrelinha do cafeeiro, numa distância média de 0,75 m da planta de café. Enquanto na área florestal, foram amostrados pontos aleatórios entre árvores, distanciados 20 m entre si. Para a determinação do carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS) e carbono extraível (C ext), foram realizadas duas coletas, em março/2012 (verão) e



setembro/2012 (inverno), na profundidade de 0,0 a 0,05 m, ou seja, na superfície do solo. O solo foi coletado separadamente, peneirado em malha de 2 mm e armazenados com umidade de campo em sacos plásticos sob refrigeração a 4 °C.

O material de solo utilizado para obtenção das amostras de terra fina seca ao ar (TFSA) foi destorroado, passado em peneira de 2,0 mm e analisado no Laboratório de Solos do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCA-UFES).

### Caracterização da serapilheira

Foi realizada coleta da serapilheira acumulada de forma aleatória, com 10 repetições em cada tratamento, com um gabarito quadrado 625 cm<sup>2</sup>. A quantificação e a caracterização da serapilheira acumulada foram feitas no Laboratório de Solos do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCA-UFES) (Tabelas 1 e 2).

**Tabela 1** – Serapilheira acumulada considerando-se diferentes sistemas de uso e manejo

Sistemas de uso e manejo	Folha	Galho	Miscelânea	Massa total
	Mg ha <sup>-1</sup>			
Floresta	1,91	3,57	3,60	9,08
Café e nim	1,87	3,34	2,06	7,27
Café e cedro	4,49	4,56	3,37	12,42
Café e teca	4,34	2,53	3,01	9,88
Café pleno sol	1,25	1,79	1,92	4,96

**Tabela 2** – Carbono orgânico (CO) e nitrogênio total (NT) da serapilheira acumulada considerando-se diferentes sistemas de uso e manejo

Sistemas de uso e manejo	Folha		Galho		Miscelânea		Massa total		
	CO <sup>1/</sup>	NT <sup>2/</sup>	CO <sup>1/</sup>	NT	CO <sup>1/</sup>	NT	CO <sup>1/</sup>	NT	CO/NT
	----- dag kg -----								
Floresta	50	1,51	50	1,14	50	1,48	50	1,35	36,93
Café e nim	50	2,14	50	1,01	50	1,74	50	1,51	33,13
Café e cedro	50	1,97	50	1,03	50	2,10	50	1,66	30,10
Café e teca	50	1,75	50	1,14	50	1,97	50	1,66	30,09
Café pleno sol	50	1,57	50	0,95	50	1,73	50	1,41	35,57

<sup>1/</sup>Carbono orgânico estimado com base em literatura; e <sup>2/</sup>Nitrogênio total determinado pelo método Kjeldahl (GIANELLO & BREMNER, 1986)

## Determinações Experimentais

### Atributos químicos do solo

Foram realizadas as seguintes análises químicas: pH em água (relação 1:2,5), P e K disponível (Mehlich 1), Ca, Mg e Al trocáveis (extração por KCl) e H+Al (extração por acetato de cálcio) (EMBRAPA, 1997); nitrogênio total (NT) do solo pelo método Kjeldahl (GIANELLO & BREMNER, 1986) e carbono orgânico total (COT) por digestão úmida com a mistura de dicromato de potássio e ácido sulfúrico, sob aquecimento externo (YEOMANS & BREMNER, 1988).

Para o cálculo do estoque de COT e NT ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) em cada profundidade (0,0 – 0,05; 0,05 – 0,10; 0,10 – 0,20; e 0,20 – 0,40 m) utilizou-se a seguinte expressão: teor de COT ou NT ( $\text{dag kg}^{-1}$ )  $\times$  Ds  $\times$  e; em que: Ds = densidade do solo ( $\text{kg dm}^{-3}$ ); e = espessura da camada de solo (cm). Para o cálculo do estoque total de COT e NT no perfil amostrado (0-0,40 m), somaram-se os estoques das profundidades 0,0 – 0,05; 0,05 – 0,10; 0,10 – 0,20; e 0,20 – 0,40 m.

### Carbono da biomassa microbiana do solo e Carbono solúvel

A extração e a determinação do C da biomassa microbiana (C-BMS) foram realizadas pelo método da irradiação-extração proposto por Islam & Weil (1998) e Brookes et al. (1982). Essas técnicas apresentam como princípio básico a extração do C microbiano após a morte dos microrganismos e lise celular pelo uso de microondas e liberação dos constituintes celulares, e posterior quantificação. Para quantificação do carbono da biomassa microbiana, foi utilizada a equação:  $C_{mic} = (CI - CNI) / K_{ec} = \mu\text{g de C g}^{-1}$  de solo, em que:  $C_{mic}$  é o carbono da biomassa microbiana; CI é o carbono da amostra irradiada; CNI o carbono da amostra não-irradiada e  $K_{ec} = 0,33$  é o fator de correção para  $C_{mic}$  (MENDONÇA & MATOS, 2005).

Calcularam-se as relações COT/NT; o quociente metabólico ( $q\text{CO}_2$ ) foi calculado pela relação entre a respiração basal e o C da biomassa microbiana (ANDERSON & DOMSCH, 1996), sendo expresso em  $\mu\text{g CO}_2 / \mu\text{g C-BMS h}^{-1}$ . O quociente microbiano ( $q_{Mic}$ ) foi estimado com a relação C da biomassa microbiana do solo/C orgânico, utilizando-se a expressão:  $(\text{C-BMS}/\text{COT}) \times 100$ , de acordo com Sparling (1992).

Com o teor de C extraído com a solução extratora 0,5 mol L<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (pH calibrado em 6,5-6,8) das amostras não irradiadas para a determinação do C-BMS, foi determinado o carbono extraível (C ext), o qual se equipara ao carbono solúvel em água (CSA), apresentando correlação com o CSA, conforme avaliado por Mendonça et al. (2001).

### **Respirometria**

Nas mesmas épocas em que se coletaram materiais de solo para determinação de C ext e C-BMS, verão e inverno, procederam-se medições das emissões de CO<sub>2</sub>. As medições foram realizadas com analisador portátil modelo LI-8100 (Licor, EUA) acoplado a uma câmara dinâmica (LI-8100-102), com 10 cm diâmetro. Utilizaram-se anéis de PVC com 10 cm de diâmetro e 9 cm de altura, inseridos no solo com antecedência de um dia, a uma profundidade de 4 cm. Os anéis foram colocados nas respectivas áreas sob condição de serapilheira acumulada e sem serapilheira, no mesmo local de amostragem do solo. Foi medida concomitante a emissão, a temperatura do solo e coletada amostra de solo de cada ponto para determinação de umidade em laboratório. A determinação da emissão em cada ponto de grade baseou-se numa medição com duração de 1 min. Foram utilizados seis pontos (com serapilheira e sem serapilheira) de amostragem por cada área de manejo.

Foi feita a correção de umidade do solo, e de temperatura, ajustando-se regressões múltiplas para cada tratamento, utilizando as 6 repetições para gerar o modelo, e posterior padronização da emissão de CO<sub>2</sub> para a mesma umidade do solo e temperatura. Os valores ajustados para temperatura e umidade do solo foram: 24,5° C e 9,7% para coleta de março/2012 e 20,9° C e 20,1% para coleta de setembro/2012, os valores estipulados são baseados na média de cada época de coleta. Os modelos de regressão foram a e b, de acordo com a necessidade do tratamento e da época:

$$a) \hat{E} = a + bT + cU$$

$$b) \hat{E} = a + bT + cU + dT^2 + eU^2 + fTU$$

em que: *a*, *b*, *c*, *d*, *e* e *f* são coeficientes ajustados;  $\hat{E}$ =emissão de CO<sub>2</sub> ajustada; T=temperatura (°C) e U=umidade (%).

### **Grau de saturação do solo**

Foi realizado o cálculo do grau de saturação do solo ( $\theta_s$ ) das amostras coletadas para determinação de umidade, coletadas junto às medições de emissão de  $\text{CO}_2$ , em março/2012 e setembro/2012. O princípio relaciona o volume de água ( $V_a$ ) e o volume do espaço poroso ( $V_p$ ), utilizando a seguinte fórmula:

$$\theta_s = \text{umidade do solo base volumétrica } (\theta) / \text{porosidade total do solo } (P_t).$$

A porosidade total foi calculada pela relação das densidades, descrita no Capítulo 2.

### **Delineamento experimental e análise estatística dos dados**

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC), em esquema de parcelas subdivididas no espaço, com cinco sistemas de uso e manejo, constituindo as parcelas [1- uma área florestal - FL; 2- consórcio de café e nim (*Azadirachta indica*) - CN; 3- consórcio de café e cedro australiano (*Cedrela fissilis*) - CC; 4- consórcio de café com teca (*Tectona grandis*) – CT; e 5- café (*coffea canephora*) pleno sol - CS] e quatro profundidades de amostragem do solo (0,0 – 0,05; 0,05 – 0,10; 0,10 – 0,20 e 0,20 – 0,40 m), constituindo as subparcelas, com cinco repetições.

Os resultados foram submetidos à análise da variância e os contrastes comparados pelo teste F, medindo-se assim a significância (5% de probabilidade) e “tendência” para expressar diferenças estatísticas no intervalo entre 5 e 20% de probabilidade dos resultados obtidos, de acordo com Olszewski et al. (2004). Realizou-se a Correlação de Pearson para encontrar associação entre variáveis COT e NT com C-BMS e grau de saturação ( $\theta_s$ ) com  $\text{CO}_2$  e C-BMS e os coeficientes de correlação ( $r$ ) foram testados pelo teste t a 5% de significância. Os graus de liberdade dos tratamentos foram desdobrados em contrastes ortogonais (Tabela 3), para cada profundidade. As análises estatísticas foram realizadas no software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2011).

Os contrastes foram comparados com base no grau de sombreamento observado em campo, ou seja, o nim tem um dossel mais fechado que o cedro, que é superior à teca (Figura 1 – Anexo).

**Tabela 3** - Contrastes ortogonais usados na avaliação dos atributos analisados, considerando os diferentes sistemas de uso e manejo

Contrastes	Sistemas de uso e manejo				
	Floresta	Café e nim	Café e cedro	Café e teca	Café pleno sol
<b>C1</b>	4	-1	-1	-1	-1
<b>C2</b>	0	1	1	1	-3
<b>C3</b>	0	1	1	-2	0
<b>C4</b>	0	1	-1	0	0

\* Os contrastes foram utilizados para as quatro profundidades avaliadas (0 – 0,05; 0,05 – 0,10; 0,10 – 0,20; e 0,20 – 0,40 m). C1 = Floresta vs. Cafeeiros; C2 = Cafeeiros consorciados vs. Café a pleno sol; C3 = Café consorciado com nim + Café consorciado com cedro vs. Café consorciado com teca; e C4= Café consorciado com nim vs. Café consorciado com cedro.

### 3 RESULTADOS

Na tabela 4 são apresentados os resultados dos atributos químicos do solo. O solo sob floresta apresenta propriedades químicas distintas dos demais sistemas de uso e manejo (Tabela 4). Com relação à acidez do solo, o pH foi baixo até a profundidade de 0-0,20 m, de 0,20-0,40 m não diferiu estatisticamente. A concentração de Al trocável foi superior nas maiores profundidades e a acidez potencial (H+Al) foi superior em todas as profundidades do solo sob floresta, tal fenômeno se explica devido ao fato das condições naturais do solo, ser ácida e pobre em bases, assim como pela presença de matéria orgânica (Tabelas 4 e 5).

Com relação aos cafeeiros, o contraste C2 (Tabela 4) indica que os valores de Al e H+Al na profundidade de 0-0,10 m não diferiram estatisticamente entre cafeeiros. No entanto, os contrastes C3 e C4 (Tabelas 4 e 5), que comparam cafeeiros consorciados entre si, na profundidade de 0,10-0,40 m, o consórcio com teca apresentou tendência de valores inferiores desses atributos, apresentando características menos ácidas de solo e na mesma profundidade apresentou maiores teores de Ca e Mg. O pH na superfície (profundidade de 0-0,05 m) mostra-se mais alto, assim como o Ca e Mg citados anteriormente, o que pode ser associado a aplicação de calcário a lanço e sua baixa reatividade, bem como, devido a sua baixa translocação nas camadas mais profundas dos solos agrícolas. O mesmo

comportamento ocorreu com o P, K, Ca e Mg e inverso com o Al e H+Al nos cafeeiros (Tabela 4).

O contraste C1, que compara os cafeeiros com a área florestal, indica que os teores de K no solo não diferiram significativamente em todas as profundidades avaliadas, tal fato ocorreu nos cafeeiros consorciados frente ao pleno sol nas profundidades de 0-0,05 e 0-0,10 m. Na profundidade de 0,10 m a 0,40 m, a área florestal foi superior a todos os cafeeiros. Quando se comparam os cafeeiros consorciados (contrastes C3 e C4), verifica-se que o café consorciado com Nim apresentou tendência de superioridade dos teores de K em relação aos demais consórcios nas profundidades 0 - 0,10 m (Tabela 4).

Pelo contraste C2, verifica-se ainda que os teores de Ca no solo não diferiram entre cafeeiros consorciados a pleno sol, no entanto os teores de Mg no solo sob cafeeiros consorciados foram superiores a pleno sol até a profundidade de 0 – 0,20 m. Na área florestal, o teor de Ca a partir da profundidade de 0,05 até 0,40 m mostrou-se superior aos cafeeiros (Tabela 4).

Ocorreu valores inferiores de pH do solo sob FL em relação ao pH do solo sob os cafeeiros (Tabela 4) com aumento da saturação por alumínio (m), acidez potencial (H+Al) e redução dos valores para SB e V (Tabelas 5) principalmente nas profundidades de 0,05-0,40 m.

Os valores de SB, t e V foram maiores no solo sob CT na profundidade 0,10-0,40 m, o qual apresentou valores inferiores de H+Al (contraste C3, Tabelas 5), devido aos valores de pH terem sido maiores nessa cobertura. O contraste C2 mostra que a CTC potencial (T) não diferiu entre cafeeiros, no entanto o contraste C3 e C4 entre os consórcios, o CN se apresentou superior na profundidade 0,10-0,40 m.

**Tabela 4** - Valores médios e contrastes comparando pH em água (pH), fósforo disponível (P), potássio (K), sódio (Na), cálcio (Ca), magnésio (Mg), e alumínio (Al) em diferentes profundidades de um Argissolo Amarelo sob distintos sistemas de uso e manejo

Sistemas de uso e manejo	pH	P	K	Na	Ca	Mg	Al
		mg dm <sup>-3</sup>			cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>		
<b>Profundidade 0-0,05 m</b>							
Floresta (FL)	6,0	12,3	133	2,80	2,48	1,70	0,00
Café e nim (CN)	6,8	40,0	139	4,60	2,24	0,87	0,00
Café e cedro (CC)	6,4	53,7	91	1,00	2,01	0,82	0,00
Café e teca (CT)	7,1	74,2	111	2,60	2,41	0,86	0,00
Café pleno sol (CS)	6,7	50,1	120	7,60	2,30	0,67	0,00
<b>Contrastes</b>							
C1	-2,86*	-168,6*	71,0	-4,6	0,95	3,58*	0,02
C2	0,22	17,6	-20,6	-14,6*	-0,24	0,55*	0,02
C3	-1,01*	-54,6#	7,6	0,4	-0,57	-0,03	-0,04#
C4	0,43*	-13,7	48,0*	3,6*	0,23	0,05	0,00
<b>Profundidade 0,05-0,10 m</b>							
Floresta (FL)	5,9	6,2	98	2,20	1,13	0,76	0,00
Café e nim (CN)	6,5	39,2	111	3,20	1,84	0,74	0,00
Café e cedro (CC)	6,2	37,8	81	0,40	1,55	0,61	0,00
Café e teca (CT)	6,8	45,0	100	1,20	1,87	0,65	0,00
Café pleno sol (CS)	6,6	29,3	118	4,00	1,51	0,44	0,00
<b>Contrastes</b>							
C1	-2,62*	-126,7*	-19,2	0,0	-2,24*	0,61*	0,15
C2	-0,34	34,0	-60,1	-7,2*	0,73#	0,67*	0,05
C3	-0,85#	-13,1	-8,1	1,2	-0,35	0,06	-0,01
C4	0,31	1,4	30,4#	2,8*	0,28	0,13#	0,01
<b>Profundidade 0,10-0,20 m</b>							
Floresta (FL)	5,5	4,2	104	1,40	0,65	0,48	0,32
Café e nim (CN)	5,5	24,7	77	3,00	1,07	0,42	0,00
Café e cedro (CC)	5,5	19,3	59	0,40	0,89	0,39	0,15
Café e teca (CT)	6,2	13,6	65	2,80	1,35	0,53	0,00
Café pleno sol (CS)	6,2	14,0	97	1,60	1,18	0,32	0,00
<b>Contrastes</b>							
C1	-1,50#	-54,9*	116,6#	-2,2	-1,90*	0,28	1,05*
C2	-1,46*	15,4	-91,0#	1,4	-0,22	0,40*	0,19
C3	-1,41*	16,8#	6,2	-2,2	-0,72*	-0,24#	0,22#
C4	0,03	5,4	17,4	2,6*	0,18	0,03	-0,08
<b>Profundidade 0,20-0,40 m</b>							
Floresta (FL)	5,2	2,2	79	0,40	0,35	0,21	0,87
Café e nim (CN)	5,0	6,5	54	4,00	0,71	0,20	0,53
Café e cedro (CC)	4,8	4,9	35	1,20	0,54	0,23	0,31
Café e teca (CT)	5,7	3,5	45	2,20	1,05	0,40	0,11
Café pleno sol (CS)	5,7	3,6	52	1,60	1,09	0,25	0,00
<b>Contrastes</b>							
C1	-0,34	-9,6#	129,4*	-7,4*	-2,01*	-0,23	2,44*
C2	-1,66#	3,9	-23,0	2,6	-0,96#	0,07	0,68#
C3	-1,50*	4,4#	0,4	0,8	-0,86*	-0,38*	0,62#
C4	0,14	1,5	18,8#	2,8*	0,17	-0,03	0,22

pH em água (relação 1:2,5); fósforo (P) e potássio disponível (K) (Mehlich 1); cálcio (Ca), magnésio (Mg) e alumínio trocáveis (Al) (extrator KCl).

C1 = Floresta vs. Cafeeiros; C2 = Cafeeiros consorciados vs. Café pleno sol; C3 = Café nim + Café cedro vs. Café e teca; e C4 = Café nim vs. Café cedro. \* significativo a 5% e # tendência a 20%, pelo teste F.

**Tabela 5** - Valores médios e contrastes comparando acidez potencial (H+Al), soma de bases (SB), CTC potencial (T), CTC efetiva (t), saturação por bases (V), e saturação por alumínio (m) em diferentes profundidades de um Argissolo Amarelo sob distintos sistemas de uso e manejo

Sistemas de uso e manejo	H+Al	SB	T	t	V	m
	----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----				----- % -----	
<b>Profundidade 0-0,05 m</b>						
Floresta (FL)	4,08	4,53	8,61	4,54	52,89	0,00
Café e nim (CN)	1,37	3,48	4,85	3,48	71,90	0,00
Café e cedro (CC)	1,62	3,07	4,68	3,07	65,82	0,00
Café e teca (CT)	0,85	3,57	4,41	3,59	81,05	0,00
Café pleno sol (CS)	1,90	3,31	5,20	3,31	64,65	0,00
Contrastes						
C1	10,57*	4,7*	15,27*	4,72*	-71,87*	0,08
C2	-1,86#	0,2	-1,66#	0,22	24,82#	0,78
C3	1,3#	-0,58	0,71	-0,62	-24,37*	-1,56#
C4	-0,25	0,42	0,17	0,42#	6,07	0
<b>Profundidade 0,05-0,10 m</b>						
Floresta (FL)	3,94	2,15	6,10	2,20	35,25	0,00
Café e nim (CN)	1,65	2,88	4,53	2,90	63,29	0,00
Café e cedro (CC)	1,86	2,37	4,24	2,38	56,86	0,00
Café e teca (CT)	1,55	2,78	4,33	2,80	66,23	0,00
Café pleno sol (CS)	1,85	2,27	4,12	2,27	56,43	0,00
Contrastes						
C1	8,86*	-1,68*	7,18*	-1,53*	-101,81*	8,18*
C2	-0,48	1,21*	0,74	1,26**	17,1	1,59
C3	0,41	-0,3	0,11	-0,31	-12,31	-0,25
C4	-0,21	0,51*	0,29	0,52*	6,43	0,21
<b>Profundidade 0,10-0,20 m</b>						
Floresta (FL)	3,89	1,40	5,30	1,72	26,40	18,92
Café e nim (CN)	2,92	1,71	4,63	1,78	37,64	0,00
Café e cedro (CC)	2,01	1,44	3,45	1,59	41,64	10,52
Café e teca (CT)	1,50	2,05	3,56	2,05	58,52	0,00
Café pleno sol (CS)	2,00	1,75	3,75	1,76	48,43	0,00
Contrastes						
C1	7,15*	-1,34*	5,81*	-0,29	-80,65*	60,7*
C2	0,44	-0,06	0,38	0,13	-7,49	12,53
C3	1,93*	-0,96*	0,97#	-0,74*	-37,76*	14,37#
C4	0,91*	0,27#	1,18*	0,19#	-4	-6,67
<b>Profundidade 0,20-0,40 m</b>						
Floresta (FL)	4,91	0,76	5,67	1,63	13,30	51,58
Café e nim (CN)	3,33	1,07	4,40	1,60	24,47	33,61
Café e cedro (CC)	2,18	0,86	3,04	1,17	30,05	27,62
Café e teca (CT)	1,45	1,58	3,03	1,69	53,36	0,00
Café pleno sol (CS)	2,00	1,48	3,48	1,57	41,66	0,00
Contrastes						
C1	10,68*	-1,94*	8,73*	0,5	-96,33*	130,18*
C2	0,97	-0,93#	0,04	-0,25	-17,1	44,97#
C3	2,61*	-1,23*	1,38*	-0,61#	-52,19*	46,98*
C4	1,16*	0,21	1,36*	0,43#	-5,58	5,99

SB= (K+Na+Ca+Mg); T= SB+(H+Al); t= SB+Al; V= SB/T\*100; e m= Al/t\*100.

<sup>1/</sup> C1 = Floresta vs. Cafeeiros; C2 = Cafeeiros consorciados vs. Café pleno sol; C3 = Café nim + Café cedro vs. Café e teca; e C4 = Café nim vs. Café cedro. \* significativo a 5% e # significativo a 20%, pelo teste F.



Os maiores valores de COT e NT foram encontrados no solo sob floresta (C1, Tabela 6). Os teores decrescem com o aumento da profundidade do solo em todos os tratamentos (Tabela 6). Houve maiores teores de COT e NT na camada superior do solo (0-0,05 m) para todas as coberturas. Nas figuras 3 e 4, são apresentados os gráficos com respectivos teores de COT e NT no solo.

Os teores de COT entre cafeeiros consorciados e a pleno sol não diferiram (contraste C2, Tabela 6). No entanto, entre cafeeiros consorciados foi observado que na profundidade 0,20-0,40 m o CT mostrou-se superior (Tabela 6). Na profundidade 0,10-0,20 m foi notada apenas tendência dos teores de NT no solo das áreas consorciadas serem superiores ao solo sob café a pleno sol, mostrando um provável efeito da serapilheira e do sombreamento na conservação do N no solo.

Quanto à relação COT/NT, houve efeito na profundidade 0,05-0,10 m, com o solo sob café a pleno sol apresentando valores superiores dessa relação comparativamente aos cafeeiros consorciados (contraste C2). Os contrastes C3 e C4 evidenciam que na profundidade 0,20-0,40 m o solo sob cafeeiro consorciado com Teca é superior aos outros dois consórcios (Tabela 6).

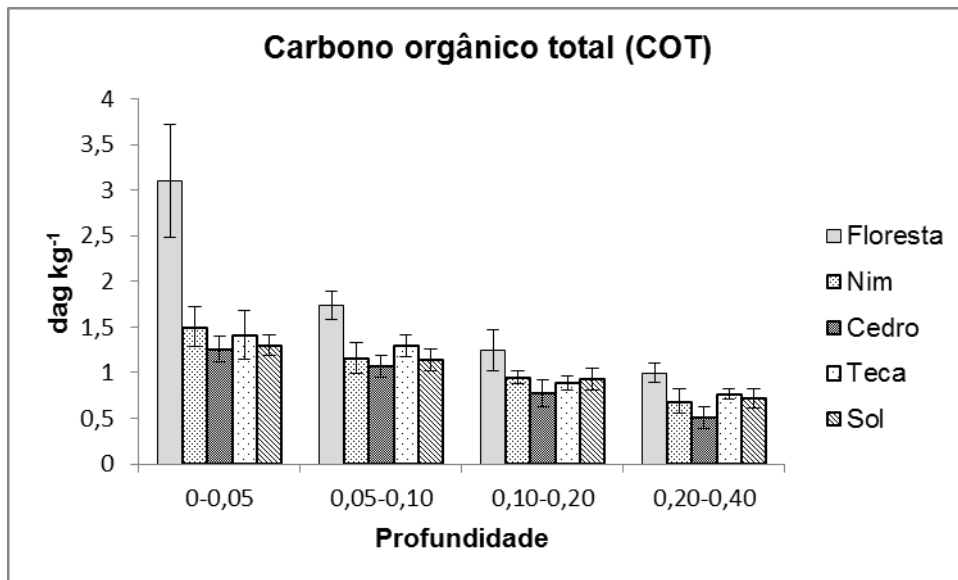
Com relação aos estoques de carbono (ESTC) e nitrogênio (ESTN), observa-se pelo contraste C1 na Tabela 6, que em todas as profundidades houve maior estoque na área florestal. Quando comparados os cafeeiros, na profundidade 0,20-0,40 m, o CS estocou mais C e N que os cafeeiros arborizados, apesar do teor de COT não ter diferido em todas as profundidades e o NT foi superior no CS somente na profundidade 0,05-0,10 m, demonstrando a importância da densidade do solo sobre os estoques de COT e NT. No capítulo relativo ao estudo dos atributos físicos do solo (Tabela 4), a densidade do solo sob café a pleno sol é significativamente maior que os cafeeiros consorciados na profundidade de 0,05-0,40 m.

Entre os cafeeiros sombreados, os contrastes C3 e C4 (Tabela 6) indicam que o CT obteve maior ESTN na profundidade de 0,05-0,20 m, e na profundidade 0,20-0,40 m o CN foi superior aos demais.

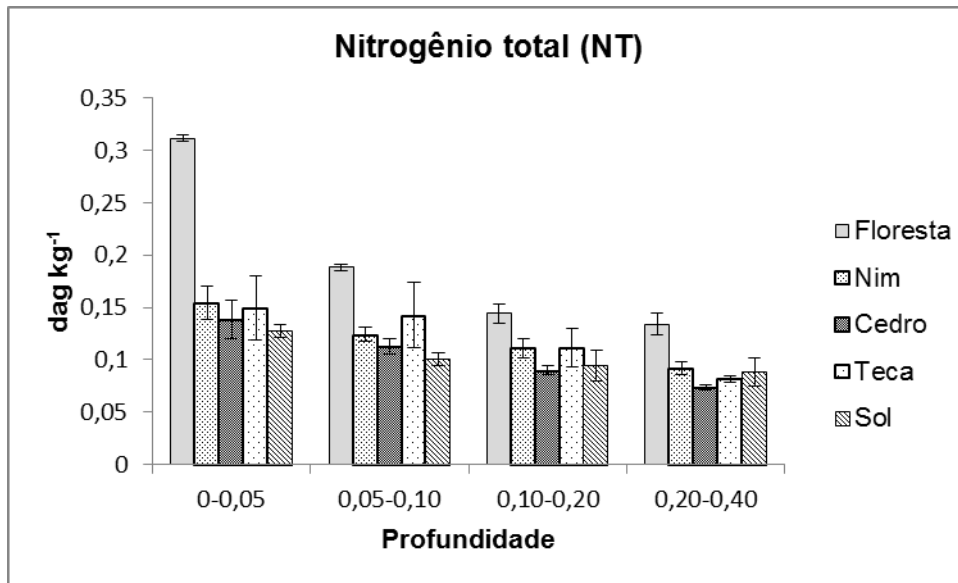
A deposição superficial (serapilheira) (Tabelas 1 e 2) e subsuperficial (renovação e exsudação radicular) de resíduos e o sistema radicular multiestratificado na mata promoveram maior acúmulo de matéria orgânica no perfil do solo sob essa cobertura vegetal influenciando os estoques de C e N no solo (Tabela 7).

Considerando a profundidade de 0-0,40 m, houve redução do ESTC de aproximadamente 28,3; 42,6; 25,7 e 26,7 %, respectivamente, para as coberturas vegetais CN, CC, CT e CS em relação à Floresta. Para o ESTN, essa redução correspondeu a 27,4; 39,7, 29,6 e 32,0 %, respectivamente, para as coberturas vegetais CN, CC, CT e CS em relação à Floresta.

Quando se compara o ESTN entre os cafeeiros não há diferença, no entanto considerando os contrastes C3 e C4 que comparam os cafeeiros consorciados entre si, o CN apresentou maior estoque. Com relação ao ESTC, os cafeeiros não diferiram significativamente entre si, contudo quando se comparam os cafeeiros consorciados, o CT apresenta maior ESTC, seguido do CN e depois CC (Tabela 7).



**Figura 3** - Carbono orgânico total (COT) no solo. Barras de erros correspondem ao desvio padrão da média dos dados.



**Figura 4** - Nitrogênio total (NT) no solo. Barras de erros correspondem ao desvio padrão da média dos dados.

**Tabela 6** - Valores médios e contrastes comparando carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT), relação COT/NT, estoque de carbono (ESTC) e estoque de N (ESTN) em diferentes profundidades de um Argissolo Amarelo sob distintos sistemas de uso e manejo

Sistemas de uso e manejo	COT	NT	COT/NT	ESTC	ESTN
	----- dag kg <sup>-1</sup> -----	-----		----- Mg ha <sup>-1</sup> -----	-----
<b>Profundidade 0-0,05 m</b>					
Floresta (FL)	3,10	0,31	10,0	19,80	1,99
Café e nim (CN)	1,50	0,15	9,8	10,95	1,13
Café e cedro (CC)	1,26	0,14	9,2	9,01	0,99
Café e teca (CT)	1,41	0,15	9,9	10,21	1,08
Café pleno sol (CS)	1,31	0,13	10,2	9,61	0,94
<b>Contrastes</b>					
C1	6,93*	0,68*	0,85	39,43*	3,83*
C2	0,26	0,06#	-1,77	1,34	0,38#
C3	-0,07	-0,01	-0,82	-0,45	-0,05
C4	0,25	0,02	0,60	1,95#	0,13#
<b>Profundidade 0,05-0,10 m</b>					
Floresta (FL)	1,74	0,19	9,3	11,46	1,24
Café e nim (CN)	1,16	0,12	9,4	8,60	0,92
Café e cedro (CC)	1,07	0,11	9,5	7,79	0,82
Café e teca (CT)	1,29	0,14	9,5	9,57	1,05
Café pleno sol (CS)	1,14	0,10	11,4	8,90	0,79
<b>Contrastes</b>					
C1	2,30*	0,27*	-2,68	10,99*	1,37*
C2	0,11	0,08*	-5,83*	-0,73	0,43*
C3	-0,36*	-0,05*	-0,06	-2,76*	-0,37*
C4	0,09	0,01	-0,13	0,81#	0,1#
<b>Profundidade 0,10-0,20 m</b>					
Floresta (FL)	1,25	0,14	8,7	17,19	1,98
Café e nim (CN)	0,95	0,11	8,6	14,44	1,68
Café e cedro (CC)	0,78	0,09	8,6	11,59	1,34
Café e teca (CT)	0,89	0,11	8,1	13,68	1,72
Café pleno sol (CS)	0,93	0,09	10,0	14,75	1,50
<b>Contrastes</b>					
C1	1,45*	0,17*	-0,46	14,29*	1,69*
C2	-0,18	0,03#	-4,59*	-4,55#	0,25
C3	-0,05	-0,02#	1,09	-1,33	-0,41*
C4	0,17#	0,02*	-0,04	2,85*	0,34*
<b>Profundidade 0,20-0,40 m</b>					
Floresta (FL)	1,00	0,13	7,5	28,67	3,85
Café e nim (CN)	0,69	0,09	7,6	21,29	2,85
Café e cedro (CC)	0,51	0,07	6,9	15,86	2,31
Café e teca (CT)	0,77	0,08	9,4	23,82	2,53
Café pleno sol (CS)	0,71	0,09	8,3	24,07	2,94
<b>Contrastes</b>					
C1	1,31*	0,20*	-2,36	29,62*	4,77*
C2	-0,2	-0,02#	-0,96	-11,23*	-1,13*
C3	-0,34*	0	-4,35*	-10,5*	0,11
C4	0,18*	0,02*	0,69	5,43*	0,54*

<sup>1/</sup> C1 = Floresta vs. Cafeeiros; C2 = Cafeeiros consorciados vs. Café pleno sol; C3 = Café nim + Café cedro vs. Café e teca; e C4 = Café nim vs. Café cedro. \* significativo a 5% e # significativo a 20%, pelo teste F.

**Tabela 7-** Valores médios e contrastes comparando estoque de carbono (ESTC) e estoque de N (ESTN) na profundidade de 0 – 0,40 m de um Argissolo Amarelo sob distintos sistemas de uso e manejo

Sistemas de uso e manejo	ESTC	ESTN
	Mg ha <sup>-1</sup>	
Floresta (FL)	77,1	9,1
Café e nim (CN)	55,3	6,6
Café e cedro (CC)	44,2	5,5
Café e teca (CT)	57,3	6,4
Café pleno sol (CS)	57,3	6,2
Contrastes		
C1	94,34*	11,67*
C2	-15,18#	-0,07
C3	-15,03*	-0,72#
C4	11,04*	1,11*

<sup>1/</sup> C1 = Floresta vs. Cafeeiros; C2 = Cafeeiros consorciados vs. Café pleno sol; C3 = Café nim + Café cedro vs. Café e teca; e C4 = Café nim vs. Café cedro. \* significativo a 5% e # significativo a 20%, pelo teste F.

Os atributos C-BMS, C ext, emissão de CO<sub>2</sub> e suas respectivas relações foram avaliados em duas épocas, verão e inverno de 2012. Os valores de C-BMS e o C ext diferiram principalmente entre floresta, cafeeiro a pleno sol e áreas arborizadas (Tabela 8, contrastes C1 e C2). Os teores de C ext do solo da área florestal foram inferiores aos dos cafeeiros. O contraste C2 mostra que os cafeeiros consorciados são superiores ao pleno sol. O CT mostrou-se superior frente aos consórcios (contraste 3, Tabela 8). Já o CN foi superior ao CC em ambas as profundidades avaliadas (contraste C4, Tabela 8).

Neste estudo foi possível detectar que os diferentes sistemas de uso e manejo influenciaram o C-BMS. Na figura 5, observa-se o gráfico com respectivas barras de desvio padrão da média das duas épocas, ficando claro que os valores de C-BMS no inverno foram inferiores. O solo sob floresta apresentou maiores valores de C-BMS entre os tratamentos estudados, e o café a pleno sol obteve o menor valor, e entre os consórcios houve tendência do CT ser superior (Tabela 8).

Comportamento análogo ao do C-BMS (Tabela 8) em relação aos tratamentos foi observado para o NT (Tabela 6), mostrando uma provável interação entre estes dois atributos.

Na coleta de verão, as áreas em consórcio com árvores apresentaram C-BMS e C ext superiores ao café a pleno sol. Esses valores influenciaram no qMic, por sua vez o CT foi superior entre os consórcios na primeira época de coleta (março de 2012), onde se constataram menores valores de umidade e, portanto, mais poros aerados (Tabela 8 e 10).

O contraste C1 (Tabela 8), que compara a floresta frente aos cafeeiros, mostra que na superfície do solo (profundidade 0-0,05 m) o qMic na área florestal foi inferior nas duas épocas de coleta de solo, no entanto na profundidade 0,05-0,10 m ocorreu comportamento inverso, com valor superior de qMic no solo sob floresta.

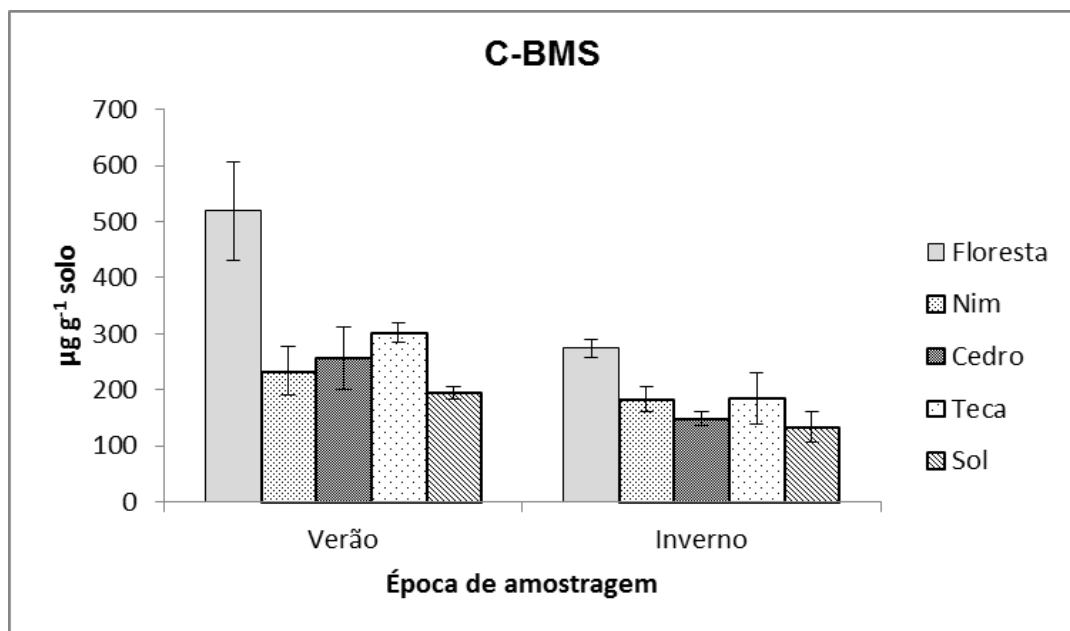
Os dados relativos à medição da emissão de CO<sub>2</sub> em campo na presença e ausência de serapilheira (Tabela 10) foram ajustados com regressões múltiplas (Tabela 9), padronizando os valores de emissão de CO<sub>2</sub> de cada coleta a uma única temperatura e umidade (24,5° C e 9,7 % para coleta de março/2012 e 20,9 ° C e 20,1 % para coleta de setembro/2012). Os valores estipulados são baseados na média de cada época de coleta. Foi notada pequena diferença entre a avaliação feita na presença e ausência de serapilheira. A baixa umidade do solo acarretou baixa atividade microbiana na serapilheira. Na segunda coleta (setembro/2012), período mais chuvoso (Figura 1), verificou-se maior diferença na avaliação da emissão de CO<sub>2</sub> na presença e ausência de serapilheira, indicando maior atividade microbiana quando há serapilheira no solo.

Não houve ajuste significativo para emissão de CO<sub>2</sub> em função da temperatura e umidade para os seguintes tratamentos: CN (ASer e PSer), CC (PSer) e CT (PSer). Isso demonstra que a temperatura e a umidade não são os principais fatores que influenciam as emissões ocorridas nesses sistemas (Tabela 10).

Na primeira avaliação realizada, analisando somente os cafeeiros (contraste C2), o café a pleno sol emitiu menos CO<sub>2</sub> que os cafeeiros consorciados. Comparando-se os cafeeiros arborizados, na ausência de serapilheira, não se observaram diferenças significativas entre os mesmos.

Na segunda avaliação (inverno), a área florestal emitiu mais CO<sub>2</sub> na presença de serapilheira, enquanto que na ausência de serapilheira não houve diferença significativa. Entre cafeeiros, a emissão de CO<sub>2</sub> foi superior no CS (Tabela 10).

A área florestal obteve um  $qCO_2$  inferior aos demais tratamentos mostrando estabilidade ao ecossistema, enquanto que o cafeeiro CS com maior  $qCO_2$  encontra-se mais estressado (desequilibrado). Na segunda avaliação o  $qCO_2$  não diferiu entre área florestal e os cafeeiros, no entanto o contraste C2 mostra que o CS obteve maior  $qCO_2$  que os cafeeiros arborizados, e sua temperatura foi superior, o que pode ter favorecido maior atividade microbiana e entre áreas consorciadas não houve diferença significativa em nenhuma das coletas realizadas (Tabela 10).



**Figura 5** - Carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS) na profundidade 0-0,05 m, nas duas épocas de coleta: verão (março/2012) e inverno (setembro/2012). Barras de erros correspondem ao desvio padrão da média dos dados.

**Tabela 8** - Valores médios e contrastes comparando carbono solúvel (C ext), carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS), quociente microbiano (qMic) em duas profundidades de um Argissolo Amarelo sob distintos sistemas de uso e manejo em duas épocas de coleta

Sistemas de uso e manejo	C ext	C-BMS	qMic (C-BMS/C)
	$\mu\text{g g}^{-1}$ solo		%
<b>Março/2012 - Profundidade 0-0,05 m</b>			
Floresta (FL)	54,8	518,8	1,44
Café e nim (CN)	110,5	233,5	1,53
Café e cedro (CC)	75,0	256,1	2,02
Café e teca (CT)	132,1	302,3	2,05
Café pleno sol (CS)	61,8	194,8	1,50
Contrastes			
C1	-160*	1089*	-1,36*
C2	132*	208*	1,10*
C3	-79*	-115#	-0,56*
C4	36*	-23	-0,50*
<b>Setembro/2012 - Profundidade 0-0,05 m</b>			
Floresta (FL)	64,7	274,0	0,83
Café e nim (CN)	79,4	182,7	1,27
Café e cedro (CC)	73,7	149,0	1,25
Café e teca (CT)	92,3	184,6	1,32
Café pleno sol (CS)	58,9	133,2	1,13
Contrastes			
C1	-46*	447*	-1,63*
C2	69*	117*	0,47#
C3	-32*	-38	-0,11
C4	6	34#	0,02

<sup>1/</sup> C1 = Floresta vs. Cafeeiros; C2 = Cafeeiros consorciados vs. Café pleno sol; C3 = Café nim + Café cedro vs. Café e teca; e C4 = Café nim vs. Café cedro. \* significativo a 5% e # significativo a 20%, pelo teste F.



**Tabela 9** - Equações de regressão (linear múltipla) e respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ), utilizadas para ajustar os valores de emissão de  $CO_2$  na mesma temperatura e umidade do solo

<b>Coleta março/2012 (verão)</b>		
<b>Sistemas de uso e manejo</b>	<b>C-CO<sub>2</sub> (Ausência de serapilheira)</b>	
	Equação ajustada <sup>1/</sup>	R <sup>2</sup>
Floresta	$\hat{E}=186,4 - 7,4T - 22,9U + 0,1U^2 + 0,8TU$	0,7163*
Café e nim	$\hat{E}= \text{média (1,77)}$	ns
Café e cedro	$\hat{E}= - 2,1 + 0,3T - 0,9U + 0,04U^2$	0,9328*
Café e teca	$\hat{E}= - 144,8 + 5,4T + 14,9U - 0,09U^2 - 0,5TU$	0,8044*
Café pleno sol	$\hat{E}= - 85,1 + 4,7T + 4,2U - 0,08T^2 - 0,18U^2$	0,9366*
<b>C-CO<sub>2</sub> (Presença de serapilheira)</b>		
Floresta	$\hat{E}= + 12,4 - 0,5T + 0,2U$	0,8059*
Café e nim	$\hat{E}= \text{média (1,97)}$	ns
Café e cedro	$\hat{E}= \text{média (1,90)}$	ns
Café e teca	$\hat{E}= \text{média (2,05)}$	ns
Café pleno sol	$\hat{E}= - 307,4 + 22,1T + 3,7U - 0,4T^2 - 0,1U^2$	0,9129*
<b>Coleta setembro/2012 (inverno)</b>		
<b>C-CO<sub>2</sub> (Ausência de serapilheira)</b>		
Floresta	$\hat{E}= + 73,9 - 3,4T - 2,8U + 0,001U^2 + 0,13TU$	0,9623*
Café e nim	$\hat{E}= + 8,1 - 0,13T - 0,17U$	0,9917*
Café e cedro	$\hat{E}= + 121,3 - 11,3T - 0,04U + 0,26T^2 + 0,002U^2$	0,9775*
Café e teca	$\hat{E}= - 52,2 + 5,1T - 0,4U - 0,11T^2 + 0,01U^2$	0,9977*
Café pleno sol	$\hat{E}= - 491,1 + 60,7T - 19,7U - 1,3T^2 + 0,5U^2$	0,8801*
<b>C-CO<sub>2</sub> (Presença de serapilheira)</b>		
Floresta	$\hat{E}= + 111,4 - 5,6T - 2,8U - 0,02U^2 + 0,17TU$	0,8154*
Café e nim	$\hat{E}= + 1,5 + 3,7T - 1,3U - 0,09T^2 + 0,03U^2$	0,9999*
Café e cedro	$\hat{E}= + 514,2 - 51,2T + 2,4U + 1,2T^2 - 0,07U^2$	0,9982*
Café e teca	$\hat{E}= - 8,1 + 0,48T + 0,01U$	0,9501*
Café pleno sol	$\hat{E}= + 178,2 - 16,0T + 0,15U + 0,36T^2 - 0,003U^2$	0,766*

<sup>1/</sup>  $\hat{E}$  = emissão de  $CO_2$  estimada; T= temperatura ( $^{\circ}C$ ) e U= umidade (%);\* significativo a 5% pelo teste T, e ns= não significativo.

**Tabela 10** - Valores médios e contrastes de emissão de CO<sub>2</sub> na ausência (ASer) e presença (PSer) de serapilheira, temperatura (T), umidade (Umid) e respectivos quocientes metabólicos (qCO<sub>2</sub>) em um Argissolo Amarelo em duas épocas de coleta

Sistemas de uso e manejo	C-CO <sub>2</sub> <sup>2</sup> (ASer)	C-CO <sub>2</sub> <sup>2</sup> (PSer)	C-CO <sub>2</sub> <sup>3</sup> (ASer)	C-CO <sub>2</sub> <sup>3</sup> (PSer)	T	Umid	qCO <sub>2</sub> <sup>4</sup> (ASer)	qCO <sub>2</sub> <sup>4</sup> (PSer)
	μmol CO <sub>2</sub> m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>		μmol CO <sub>2</sub> m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>		°C	%	μg CO <sub>2</sub> CBMS <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup>	
<b>Março/2012</b>								
Floresta	1,42	1,64	2,53	1,72	23,7	8,3	0,44	0,52
Café e nim	1,77	1,97	1,77	1,97	24,0	9,9	1,23	1,37
Café e cedro	1,80	1,90	1,74	1,90	24,2	9,1	1,18	1,23
Café e teca	1,83	2,05	1,52	2,05	24,7	10,8	0,96	1,08
Café pleno sol	1,76	2,23	1,19	1,6	26,2	10,7	1,45	1,81
<b>Contrastes</b>								
C1	-1,48*	-1,59*	3,95*	-0,8	-4,33*	-7,34*	-3,04*	-3,42*
C2	0,12	-0,76*	1,4*	1,27*	-5,67*	-2,27	-0,96*	-1,74*
C3	-0,09	-0,25	0,41	0,88*	-1,17	-2,72#	0,48#	0,44#
C4	-0,03	0,07	-0,02	0,61*	-0,17	0,80	0,05	0,14
<b>Setembro/2012</b>								
Floresta	1,78	3,14	1,51	2,82	20,5	22,8	1,02	1,79
Café e nim	1,74	1,97	1,75	1,92	19,8	21,0	1,51	1,75
Café e cedro	1,12	2,15	0,97	1,39	20,7	18,8	1,19	2,26
Café e teca	1,45	2,47	1,44	2,33	21,2	20,4	1,38	1,81
Café pleno sol	1,48	2,17	1,84	2,72	22,2	17,5	1,80	2,44
<b>Contrastes</b>								
C1	1.3#	3.81*	0,04	3,46*	-1,9	13,25*	-1,8#	-1,09
C2	-0.13	0.06	-1,36#	-0,84*	-4,9*	7,72#	-1,31#	-1,51*
C3	-0.04	-0.82	-0,16	-1,35#	-1,9#	-1	-0,06	0,39
C4	0.62*	-0.18	0,78*	0,53	-0,83	2,23	0,32	-0,52#

<sup>1/1</sup> C1 = Floresta vs. Cafeeiros; C2 = Cafeeiros consorciados vs. Café pleno sol; C3 = Café nim + Café cedro vs. Café e teca; e C4 = Café nim vs. Café cedro. \* significativo a 5% e # significativo a 20%, pelo teste F.

<sup>2/2</sup> Valores originais, coletados em campo; <sup>3/3</sup> Valores ajustados com regressão múltipla, para temperatura e umidade do solo em: 24,5<sup>0</sup>C e 9,7% para coleta março e 20,9<sup>0</sup>C e 20,1% para coleta setembro; e <sup>4/4</sup> valores calculados em função da emissão de CO<sub>2</sub> original.

Na tabela 11, são apresentados os valores de grau de saturação do solo no momento de medição da emissão de CO<sub>2</sub> (θs). É possível observar que no verão o θs foi menor e entre os tipos de manejo, a FI apresentou valor superior, seguido dos cafeeiros arborizados que não diferiram entre si, e o café a pleno sol com menor θs. No inverno, os valores de θs foram superiores aos observados no verão, no entanto os valores não diferiram entre os tipos de manejo.

**Tabela 11** - Valores médios e contrastes de grau de saturação ( $\theta_s$ ) de um Argissolo Amarelo em duas épocas de coleta

Sistemas de uso e manejo	Grau de saturação ( $m^3 m^{-3}$ )	
	Verão	Inverno
Floresta	0,313	0,639
Café e nim	0,311	0,637
Café e cedro	0,274	0,555
Café e teca	0,354	0,562
Café pleno sol	0,200	0,552
Contrastes		
C1	-0,45*	-0,19
C2	-0,16*	0,15
C3	-0,03	-0,08
C4	0,04#	0,08

<sup>1/</sup> C1 = Floresta vs. Cafeeiros; C2 = Cafeeiros consorciados vs. Café pleno sol; C3 = Café nim + Café cedro vs. Café e teca; e C4: Café nim vs. Café cedro.\* significativo a 5% e # significativo a 20%, pelo teste F.

#### 4 DISCUSSÃO

Na profundidade 0-0,20 m, a acidez ativa do solo foi considerada fraca e os níveis de K, Ca e Mg no solo encontram-se dentro da faixa média em todos as coberturas, enquanto o P encontra-se alto, com exceção para área de floresta, conforme Prezotti et al. (2007). Na profundidade de 0,20-0,40 m, onde as adubações surtem pouco efeito, os teores de nutrientes são menores e acidez mais elevada, evidenciada pelos menores valores de pH e maiores de Al e H+Al (Tabelas 4 e 5). Normalmente, em ambiente tropical, de solos ácidos e muito intemperizados, os solos sob mata apresentam baixa disponibilidade de cátions e P, e maior acidez trocável e ativa que os solos sob cultivo (BENITES et al. 2010, CARNEIRO et al. 2009), devido à calagem e adubação dos solos sob cultivo. Essa prática favorece o maior crescimento das plantas cultivadas, devido principalmente à maior disponibilidade de P (Ribeiro, 2011).

A elevação da fertilidade do solo (altos valores de pH, P, K, Ca e Mg e baixos de Al e H+Al), observada na tabela 4, corrobora com estudo realizado por Silva et al. (2011), onde diferentes sistemas agroflorestais, apresentam maiores teores de Ca, P e K em relação ao solo sob floresta nativa, principalmente nas camadas superficiais. Alvarenga e Davide (1999), com base na análise de componentes principais, verificaram que as características do solo mais correlacionadas com as alterações nos ecossistemas estudados foram: K, Mg e Ca. Os autores associam tal efeito às

práticas de adubação e correção do solo, o que também pode estar ocorrendo também nos cafeeiros estudados.

O solo sob área Florestal na profundidade 0,5-0,40 m, apesar de baixos valores de SB e V, obteve maior valor de CTC potencial nessa cobertura, provavelmente foi efeito da matéria orgânica do solo nesse ambiente. Os sistemas com presença de árvores consorciadas apresentam maiores quantidades de serapilheira acumulada (Tabela 1). Mendonça et al. (2001) sugerem que no sistema em que grandes quantidades de serapilheira são depositadas, as bases trocáveis nela contida podem auxiliar na disponibilidade de nutrientes presentes no solo, concluindo que as árvores presentes no sistema agroflorestal aumentam a disponibilidade de nutrientes. Por meio da liberação desses nutrientes, provenientes da matéria orgânica e dos resíduos orgânicos reciclados.

Os teores de COT e NT foram superiores no solo sob floresta (Tabela 6), com maiores valores encontrados na profundidade superior do solo (0-0,05 m), devido ao maior aporte de matéria orgânica na superfície do solo. A deposição constante e diversificada de material formador de serapilheira (Tabelas 1 e 2), a capacidade de produzir biomassa sob condições adversas, juntamente com o tempo de atuação dessa cobertura no solo, condicionam a manutenção de teores de COT e NT mais elevados em área sob floresta.

Pesquisas relacionadas ao estoque de carbono (ESTC) indicam que solos sob cafezais em sistema agroflorestal armazenam mais carbono do que solos sob cafezais cultivados a pleno sol e outros sistemas agrícolas tradicionais (ÁVILA et al. 2001; DOSSA et al. 2008; HARMAND et al. 2006; SOTO-PINTO et al. 2010; Van NOORDWIJK et al. 2002). Grande parte desses estudos é de longo prazo. Os sistemas estudados (5 anos) não apresentaram efeito significativo do aporte orgânico do sistema agroflorestal em relação ao sistema a pleno sol (C2, Tabela 6). Esse resultado deve estar relacionado ao curto espaço de tempo, e devido à comparação de sistemas agroecológicos com grande presença de plantas espontâneas herbáceas (Figura 1 - Anexo) na área do café a pleno sol.

O ESTC médio neste estudo foi de  $58 \text{ Mg ha}^{-1}$  ( $\pm 11,9$  desvio padrão), comparáveis a estudos semelhantes que envolvem café agroflorestal em ambientes tropicais. Hager (2012) encontrou ESTC de  $63,1 \pm 21,4 \text{ Mg ha}^{-1}$  na Costa Rica, Ávila et al. (2001) e Mena-Mosquera (2008) relataram valores elevados de ESTC em fazendas de café

na Costa Rica, na faixa 81-161 Mg ha<sup>-1</sup>. Albrecht e Kandji (2003) indicaram também uma faixa de ESTC entre 39 a 102 Mg ha<sup>-1</sup> para sistemas agroflorestais nos trópicos úmidos da América Sul.

Para o ESTN, não houve diferenças entre as áreas avaliadas, em todas as profundidades. Os valores encontrados neste estudo ao longo do perfil são semelhantes aos encontrados por Matias et al (2009). No caso das áreas cultivadas, a fertilização nitrogenada contribui para manutenção dos estoques de NT no solo. Em relação à floresta, a ausência de queimadas e a quantidade de argila (Tabela 3, capítulo relativo ao estudo dos atributos físicos do solo) contribuem para reduzir perdas de N por volatilização e lixiviação. Os valores de relação C/N, em todas as áreas, menores que 20, indicam que o processo dominante é a mineralização do N, que favorece a decomposição e a liberação de N para o solo (Moreira & Siqueira, 2006).

Lima et al. (2011) discutem que o aumento dos estoques de COT e NT nos sistemas agroflorestais está relacionado à melhoria da qualidade do solo, proporcionado pelo manejo agroflorestal, por meio das interações entre os componentes florestal e agrícola que resultam no maior aporte de fitomassa no solo. As tabelas 1 e 2 mostram as características da serapilheira de cada tratamento, onde pode ser notada a menor relação C/N e maior acúmulo da serapilheira nos cafeeiros arborizados, proporcionando melhor qualidade e conservação ao solo. Espera-se que com o passar dos anos os estoques de C e N aumentem nas áreas arborizadas e proporcionem maiores diferenças em relação ao café a pleno sol. Lima et al. (2011) encontraram valores de ESTN semelhantes ao deste estudo para SAF com 3 anos, no entanto SAF's com 6 e 10 anos de estabelecimento diferiram significativamente, mostrando que quanto maior o tempo de estabelecimento, maiores os estoques de C e N.

A presença de espécies sombreadoras implica em maior ciclagem de nutrientes pela queda de folhas e galhos, maior proteção do solo contra erosão, menor exposição do solo à radiação solar e maior presença de raízes que, por sua vez, reduzem as perdas de N (MUÑOZ & ALVARADO, 1997) e aumentam a atividade biológica do solo, favorecendo as relações solo-planta e a fixação biológica de N<sub>2</sub> (Beer, 1988).

A relação C/N influencia na decomposição e mineralização de materiais orgânicos, assim como na disponibilidade de N as plantas. O contraste C2 mostra que o solo

sob café a pleno sol apresenta maiores valores desta relação que cafeeiros consorciados na profundidade de 0,05-0,20 m. (Tabela 6). Valores semelhantes de relação C/N foram encontrados por Gharmakher et al. (2009), Saikh et al. (1998), Turner e Haygarth (2003) e Wang et al. (2006), respectivamente, 9,9 em solos na França; 10,4 em regiões de uso agrícola após desmatamento na Índia; 9,8 na Ucrânia e 10,6 no Canadá e EUA. Na maioria dos solos tropicais são encontradas relações na faixa de 10-12 (ACQUAYE 1963; BORNEMISZA & IGUE 1967; CONDRON et al. 1990). Um intervalo de 10/1 a 12/1 da relação C/N é adequada, pois é semelhante à relação encontrada geralmente no húmus (GRIFFIN, 1972). Além disso, equilibra constituintes da BMS que vão contribuir para formação do húmus.

A presença de plantas espontâneas e seu manejo (roçagem) no sistema de café agroecológico a pleno sol contribuem para um significativo aporte orgânico, igualando os teores de MO entre os sistemas cafeeiros (contraste C2, Tabela 6), corroborando com Morais et al. (2003). A coleta das amostras de solo na linha do cafeeiro pode ter contribuído para minimizar o efeito das árvores sobre os teores de MO.

Existem alguns fatores que podem confundir o verdadeiro efeito do tipo de manejo no atual estoque de C. Sanderman e Baldock (2010) enfatizam que o estoque de C entre sistemas de produção não podem ser adequadamente comparados sem conhecer seu nível basal de ESTC.

É provável que a semelhança nos valores de ESTC entre os cafeeiros a pleno sol e sombreados esteja baseada no manejo conservacionista adotado na propriedade, assim como no tempo reduzido (5 anos) de estabelecimento das árvores em consórcio.

Com relação à influência da serapilheira, sabe-se que sua manutenção sobre o solo tem implicação na proteção contra a erosão (SCHUMACHER et al., 2004), na diminuição da oscilação da temperatura do solo (RODRIGUES et al., 2010) e na reserva de nutrientes (TOLEDO et al., 2002, BALIEIRO et al., 2004).

Os valores de ESTC e ESTN são determinados pelo balanço entre adição e perda de material orgânico num sistema e pela qualidade do material adicionado, sendo que o uso e manejo do solo são decisivos nesse processo (NUNES et al., 2011).

Quando o manejo adotado não utiliza revolvimento do solo como nesta situação, o C e N adicionados tendem a elevar seus estoques, devido à diminuição da oxidação da MO. Diante desses argumentos, sistemas perenes de cultivo são favoráveis à elevação ou manutenção da matéria orgânica do solo.

Considerando o estoque de carbono no sistema (solo+biomassa da parte aérea), os consórcios agroflorestais têm a possibilidade de se aproximarem ou ultrapassarem o potencial de estoque encontrado no monocultivo do café (CARVALHO et al., 2010).

O desprendimento de C ext ocorre no estágio inicial de degradação dos resíduos orgânicos depositados no solo, em que materiais insolúveis sofrem hidrólise, dando origem a compostos intermediários solúveis em água, como aminoácidos, mono e dissacarídeos, ácidos fúlvicos, entre muitos outros. Portanto, baixos teores de C ext podem significar dificuldade no ataque inicial das enzimas de degradação ou que o estágio de síntese das enzimas já se encontra mais avançado (SOUZA; MELO, 2003). De acordo com Mendonça et al. (2001), o C ext é similar ao C solúvel em água, devido ao princípio de extração, podendo ser comparados. Os valores encontrados de C ext corroboram com Fávero et al. (2008), em ambiente agroflorestal. O C ext no solo sob cafeeiros arborizados foi superior ao de pleno sol, e, dentre os consórcios, o CT se mostrou com maiores teores, além da proteção ocasionada pelas árvores em consórcio, a característica da planta em consórcio que contribui para qualidade da MO, já que o C ext é o primeiro componente da MO a se desprender.

Com relação ao C-BMS, nota-se que os maiores valores foram encontrados no solo sob floresta, seguidos dos cafeeiros consorciados e em menor quantidade no CS (Tabela 8), corroborando com Zaia et al. (2012) que encontraram a mesma proporção para cacau em condições edafoclimáticas semelhantes no sul da Bahia, e com valores de C-BMS semelhantes. Os valores do C-BMS obtidos estão na mesma faixa dos já observados por outros autores, em condições edafoclimáticas diversas (BALOTA et al., 1998; GAMA-RODRIGUES et al., 2005; MARCHIORI JÚNIOR; MELO, 2000; MELLONI et al., 2001; SILVEIRA et al., 2006; ALVES et al. 2011).

O teor superior de C-BMS no solo sob floresta pode estar relacionado à melhor de qualidade da serapilheira, devido à combinação de diferentes espécies nesse ecossistema (GAMA-RODRIGUES et al., 1997, 1999), favorecendo a imobilização de C pela biomassa microbiana. Em solos sob vegetação nativa, não há

revolvimento, resultando em maior presença de raízes, mantendo as hifas fúngicas intactas, que são facilmente destruídas por ações que perturbam a estrutura do solo (JASPER et al., 1989). Vários autores como Alvarenga et al. (1999a), Matsuoka et al. (2003), Mendes et al. (2003), Assis Júnior et al. (2003) e Silveira et al. (2006), ao estudarem diferentes sistemas de manejo do solo, observaram equilíbrio nos teores de C-BMS do solo sob vegetação nativa.

O efeito semelhante de C-BMS e NT encontrado entre tratamentos (Tabelas 8 e 6, respectivamente), sugerem que a biomassa microbiana e sua atividade são influenciadas pelo teor de N (Correlação de Pearson,  $r=0,69^*$ ) do que pelo C (Correlação de Pearson,  $r=0,66^*$ ), no entanto as correlações significativas encontradas mostram que os dois atributos influenciam de maneira semelhante o C-BMS. Resultados similares foram obtidos por Martens (1987), Van Der Werf e Werstrate (1987) e Gama-Rodrigues et al. (2005).

Os atributos biológicos são influenciados por fatores como temperatura e umidade (CATTELAN & VIDOR, 1990). Para Wardle (1992), atributos químicos do solo e variáveis macroclimáticas considerados em conjunto são quase sempre capazes de explicar a variação global da atividade e dos teores de C-BMS. O C-BMS pode ser influenciado pelo aporte de resíduo orgânico de qualidade depositado na superfície do solo (FONSECA et al., 2007) e a umidade do mesmo (BERG, 2000).

Os valores superiores de CBMS e C ext no solo sob cafeeiros consorciados na coleta de março/2012 repercutem no maior  $q_{Mic}$ , apresentando maior eficiência em imobilizar carbono nas áreas de café sombreado que a pleno sol (contraste C2, Tabela 8). Na camada mais superficial do solo sob floresta, o teor de COT é superior quando comparado a camadas sub-superficiais (Tabela 6), repercutindo num  $q_{Mic}$  menor quando comparado entre tratamentos (Tabela 8). A relação CBM/C ( $q_{Mic}$ ) orgânico expressa a eficiência da população de microrganismos em imobilizar C (WARDLE, 1992). Além disso, indica o quanto a biomassa microbiana representa de reservatório “lábil” na dinâmica desse elemento (CAMPBELL et al., 1991; LI et al., 2004).

Segundo Insam e Domsch (1988), à medida que uma determinada biomassa microbiana se torna mais eficiente, menos carbono é perdido como  $CO_2$  pela



respiração, e uma fração significativa de carbono é incorporada à biomassa microbiana do solo.

Na primeira coleta (março/2012) é notável que a floresta encontra-se mais estabilizada, devido ao menor valor do  $qCO_2$ , tanto na presença quanto na ausência de serapilheira, mas com a substituição da cobertura vegetal ocorre decomposição mais acelerada dos resíduos vegetais, aumentando o  $qCO_2$  (OCIO & BROOKES, 1990). Nos cafeeiros consorciados, observa-se menor  $qCO_2$  no CT, mostrando uma tendência deste ser um agroecossistema mais estável que o CN e CC (Tabela 9).

Na segunda coleta (setembro/2012), o ambiente florestal apresentou maior emissão de  $CO_2$  (na presença de serapilheira) em relação à primeira coleta, denotando um  $qCO_2$  que não diferiu quando comparado aos cafeeiros (contraste C1, Tabela 9). A respiração microbiana neste caso foi alta com a presença de período úmido e chuvoso, mesmo a temperaturas inferiores. Segundo Álvares et al. (1995), o aumento da temperatura e da umidade do solo aumentam a atividade microbiana.

Observando o  $qCO_2$  na presença de serapilheira no contraste C2 (Tabela 9), verifica-se que os cafeeiros consorciados foram menos vulneráveis em relação ao cafeeiro a pleno sol na duas coletas realizadas, talvez pela maior proteção do solo por meio da cobertura vegetal, fazendo com que a incidência de raios solares seja menor, além da melhor conservação da umidade, favorecendo a existência de um microclima mais estável e sugerindo maior estabilidade do ecossistema (WARDLE & PARKINSON, 1990). É notado que a área florestal em seu equilíbrio obteve menores temperaturas, e entre os cafeeiros, a temperatura foi superior no CS em relação aos cafeeiros consorciados, embora a umidade tenha sido a mesma entre os cafeeiros (Tabela 9).

Vários fatores são atuantes na respiração microbiana, como presença de substâncias inibidoras de crescimento microbiano, composição química do substrato e fatores nutricionais do solo (MERCANTE et al., 2008).

O  $qCO_2$  é considerado um índice para avaliar o efeito das condições de estresse sobre a atividade da biomassa microbiana (ANDERSON & DOMSCH, 1993). Altos valores do  $qCO_2$  significam que a população microbiana está oxidando carbono de suas próprias células (respiração de manutenção dos microrganismos vivos) para a sua manutenção e adaptação ao solo, portanto, a população microbiana se encontra

em condições adversas ou estressantes (ANDERSON & DOMSCH, 1993; ISLAM & WEIL, 2000). Já as relações C/N microbiana, CBM/ C e NBM/N expressam a eficiência da biomassa microbiana em imobilizar C e N em função da qualidade nutricional da MO (JOERGENSEN & BROOKES, 1990; SPARLING, 1992).

Foi calculado o  $\theta_s$  no solo no momento da medição de emissão de  $\text{CO}_2$  e coleta de amostras para determinação do C-BMS, no intuito de inferir sobre a condição de oxigenação do solo, e os atributos biológicos medidos (Tabela 11). Os resultados mostram que na coleta de verão havia mais poros no solo com ar possibilitando maior translocação de gases no solo, favorecendo a microbiota contida. No entanto, na segunda coleta havia mais poros preenchidos com água, diminuindo a capacidade dos organismos em respirar, podendo ter influenciado os atributos. Contudo não foi obtida correlação entre o  $\theta_s$  e a emissão de  $\text{CO}_2$  e o C-BMS

## 5 CONCLUSÕES

De maneira geral, as condições químicas dos solos cultivados com cafeeiros foram superiores ao solo sob floresta, devido ao efeito principal da adubação. Contudo, o solo sob floresta apresenta maiores teores e estoques de carbono orgânico total e nitrogênio total, além de maior teor de carbono na biomassa microbiana. Entre os consórcios agroflorestais, destaque para o consórcio do cafeeiro com teca que aponta maiores teores de Ca e Mg e menores de Al e H+Al em profundidade 0,10-0,40 m.

Os atributos dos solos sob cafeeiros consorciados, de maneira geral, não diferem do solo sob cafeeiro a pleno sol, exceção feita para os atributos Mg, N e o C ext, C-BMS,  $q_{\text{Mic}}$  na duas épocas de coleta, os quais são superiores nos consórcios agroflorestais, e o  $q_{\text{CO}_2}$  inferior.

A emissão de C- $\text{CO}_2$  dos sistemas é fortemente influenciada pela temperatura e umidade do solo. Contudo fatores bióticos devem ter maior influência sobre as emissões, acarretando a diferenciação entre os sistemas estudados. O  $\theta_s$  possivelmente influencia a respiração do solo, influenciando na translocação de  $\text{O}_2$  e  $\text{CO}_2$  no solo.

O estudo numa condição de Argissolo coeso, mostra que num tempo de 5 anos de implantação de sistemas arborizados é suficiente para apresentar pequenas

mudanças nos atributos estudados, no entanto para atributos de alta sensibilidade, como os biológicos, são suficientes para representar mudanças mais consistentes dos sistemas de uso e manejo.

A proteção do solo ocasionada pelo sombreamento das árvores e a deposição de serapilheira influenciam principalmente os atributos biológicos estudados, favorecendo a um maior equilíbrio nos cafeeiros arborizados. Tal efeito influencia também a temperatura do solo, observando-se menores temperaturas no solo sob floresta, seguida das áreas consorciadas que apresentam a mesma temperatura.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACQUAYE, D.K. Some significance of soil organic phosphorus mineralization in the phosphorus nutrition of cocoa in Ghana. **Plant Soil**, v.19, p.65–80, 1963.
- ALBRECHT, A.; KANDJI, S.T. Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.99, p.15–27, 2003.
- ALVARENGA, M. I. N.; DAVIDE, A. C. Características físicas e químicas de um Latossolo Vermelho-Escuro e a sustentabilidade de agroecossistemas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, n.4, p.933-942, 1999.
- ALVARENGA, M. I. N.; SIQUEIRA, J. O.; DAVIDE, A. C. Teor de carbono, biomassa microbiana, agregação e micorriza em solos de Cerrado com diferentes usos. **Ciência Agrotecnica**, v. 23, n. 3, p. 617-625, 1999.
- ÁLVARES, R.; DÍAZ, R. A.; BARBERO, N.; SANTANATOGLIA, O. J.; BLOTTA, L. Soil organic carbon, microbial biomass and CO<sub>2</sub>-C production from three tillage system. **Soil and Tillage Research**, v. 33, n. 1, p. 17-28, 1995.
- ALVES, T. dos S.; CAMPOS, L. L.; NETO, N. E.; MATSUOKA, M.; e LOUREIRO, M. F. Biomassa e atividade microbiana de solo sob vegetação nativa e diferentes sistemas de manejos. **Acta Scientiarum**; Maringá, v. 33, n. 2, p. 341-347, 2011.
- ANDERSON, J.P.E. & DOMSCH, K.H. The metabolic quotient for CO<sub>2</sub> (qCO<sub>2</sub>) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology & Biochemistry**, v.25, p.393-395, 1996.
- ASSIS JÚNIOR, S. L.; ZANUNCIO, J. C.; KASUYA, M. C. M.; COUTO, L.; MELIDO, R. C. N. Atividade microbiana do solo em sistemas agroflorestais, monoculturas, mata natural e área desmatada. **Revista Árvore**, v.27, n.1, p.35-41, 2003.
- AVILA, G.; JIMÉNEZ, F.; BEER, J.; GÓMEZ, M.; IBRAHIM, M. Almacenamiento, fijación de carbono y valoración de servicios ambientales en sistemas agroforestales en Costa Rica. **Agroforestería en la Américas**, v.8, p.32–35, 2001.
- BALIEIRO, F.C.; DIAS, L.E.; FRANCO, A.A; CAMPELLO, E.F.C.; FARIA, S.M. Acúmulo de nutrientes na parte aérea, na serapilheira acumulada sobre o solo e decomposição de filódios de *Acacia mangium* willd. **Ciência Florestal**, v.14, n.1, p.59-65, 2004.
- BALOTA, E. L.; COLOZZI-FILHO, A.; ANDRADE, D. S.; HUNGRIA, M. Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, n. 4, p. 641-649, 1998.
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUCK, J.; CERETTA, C. A. Effect of no-tillage cropping systems on soil organic matter in a sand clay loam Acrisol from Southern Brazil monitorated by electron spin resonance and nuclear magnetic resonance. **Soil & Tillage Research**, v. 53, p. 95-104, 2000.

- BEER, J. Litter production and nutrient cycling in coffee (*Coffea arabica*) or cacao (*Theobroma cacao*) plantations with shade trees. **Agroforestry Systems**, v.7, p.103-114, 1988.
- BENITES, V.M.; MOUTTA, R.O.; COUTINHO, H.L.C.; BALIEIRO, F.C. Análise discriminante de solos sob diferentes usos em área de mata atlântica a partir de atributos da matéria orgânica. **Revista Árvore**, v.34, n.4, p.685-690, 2010.
- BERG, B. Litter decomposition and organic matter turnover in northern forest soils. **Forest Ecology and Management**, v. 133, n. 1, p. 13-22, 2000.
- BORNEMISZA, E.; IGUE, K. Comparison of three methods for determining organic phosphorus in Costa Rican soils. **Soil Science**, v.103, p.347–353, 1967.
- BROOKES, P.C.; POWLSON, D.S. & JENKINSON, D.S. Measurement of microbial biomass phosphorus in soil. **Soil Biol. Biochem**, v.14, p.319-329, 1982.
- CAMPBELL, C.A.; BIEDERBECK, V.O.; ZENTNER, R.P. & LAFOND, G.P. Effect of crop rotations and cultural practices on soil organic matter, microbial biomass and respiration in a thin black Chernozem. **Canadian Journal of Soil Science**, v.71, p.363-376, 1991.
- CARNEIRO, M.A.C.; SOUZA, E.D.; REIS, E.F.; PEREIRA, H.S.; AZEVEDO, W.R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, n.1, p.147-157, 2009.
- CARVALHO, J.L.N.; AVANZIL, J.C.; SILVA, M.L.N.; MELLO, C.R. CERRI, C.E.P. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, n.2, p.277-289, 2010.
- CATTELAN, A. J.; VIDOR, C. Flutuações na biomassa, atividade e população microbiana do solo, em funções de variações ambientais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.14, n.2, p.133-142, 1990.
- CONDRON, L.M.; MOIR, J.O.; TIESSEN, H.; STEWART, J.W.B. Critical evaluation of methods for determining total organic phosphorus in tropical soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.54, p.1261–1266, 1990.
- DALAL, R. C.; HARMS, B. P.; KRULL, E.; & WANG, W. J. Total soil organic matter and its labile pools following mulga (*Acacia aneura*) clearing for pasture development and cropping. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.43, p.13-20, 2005.
- DE-POLLI, H.; GUERRA, J. G. M. Carbono, nitrogênio e fósforo na biomassa microbiana do solo. In: Santos, G. A.; Silva, L. S.; Canellas, L. P.; Camargo, F. A. O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo. Ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2 ed. Porto Alegre-RS: Metrópole, v.2, p.263-276, 2008.
- DIEKOW, J.; MIELNICZUK, J.; KNICKER, H.; BAYER, C.; DICK, D.P. & KÖGEL-KNABNER, I. Soil C and N stocks as affected by cropping systems and nitrogen fertilization in a Southern Brazil Acrisol managed under no-tillage for 17 years. **Soil Tillage Research**, v.81, p.87-95, 2005.

- DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: Doran, J.W.; Coleman, D.C.; Bzedicek, D.F.; Stewart, B.A. (eds.) **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: **Soil Science Society of America**, 1994. p.3-21. (Special Publication, 35).
- DOSSA, E.L.; FERNANDES E.C.M.; REID W.S. Above- and belowground biomass, nutrient and carbon stocks contrasting an open-grown and a shaded coffee plantation. **Agroforestry Systems**, v.72, p.103–115, 2008.
- FÁVERO, C.; LOVO, I. C.; MENDONÇA, E. S.. Recuperação de área degradada com sistema agroflorestal no Vale do Rio Doce, Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa, v.32, n.5, p.861-868, 2008.
- FEIGL, B. J.; SPARLING, G. P.; ROSS, D. J.; CERRI, C. C. Soil microbial biomass in Amazonian soils: evaluation of methods and estimates of pool sizes. **Soil Biology and Biochemistry**, v.27, p.1467- 1472, 1995.
- FERNANDES, C.A.F. **Avaliação da qualidade do solo em áreas de cacau, cabruca, mata e policultivo no Sul da Bahia** – Ilhéus, 2008. 74 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual de Santa cruz.
- FERNANDES, D. R. Manejo do cafezal. In: Rena, A. B.; Malavolta, E.; Rocha, M.; Yamada, T. (Ed.). **Cultura do café; fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1986.
- FIGUEREDO, E. O. **Teca (*Tectona grandis*): Povoamentos florestais de alto valor de mercado**. Embrapa Acre, 2006. (Folder).
- FONSECA, G. C.; CARNEIRO, M. A. C.; COSTA, A. R.; OLIVEIRA, G. C.; BALBINO, L. C. Atributos físicos, químicos e biológicos de latossolo vermelho distrófico de cerrado sob duas rotações de cultura. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.37, n.1, p.22-30, 2007.
- FRANCO, F.S.; COUTO, L.; CARVALHO, A. F.; JUCKSCH, I.; FERNANDES FILHO, E. I.; SILVA, E.; NETO, J. A. A. M. Quantificação de Erosão em Sistemas Agroflorestais e Convencionais na Zona da Mata de Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa, v.26, n.6, p.751-760, 2002.
- GAMA-RODRIGUES, A.C.; BARROS, N.F. & MENDONÇA, E.S. Alterações edáficas sob plantios puros e misto de espécies florestais nativas do Sudeste da Bahia, Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.581-592, 1999.
- GAMA-RODRIGUES, E. F.; BARROS, N. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; SANTOS, G. A. S. Nitrogênio, carbono e atividade da biomassa microbiana do solo em plantações de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, n.3, p.893-901, 2005.
- GAMA-RODRIGUES, E.F.; GAMA-RODRIGUES, A.C. & BARROS, N.F. Biomassa microbiana de carbono e de nitrogênio de solos sob diferentes coberturas florestais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, p.361-365, 1997.

GHARMAKHER, H.N.; MACHET, J.M.; BEAUDOIN, N.; RECOUS, S. Estimation of sulphur mineralization and relationships with nitrogen and carbon in soils. **Biology and Fertility of Soils**, v.45,p.297–304, 2009

GIANELLO, C. & BREMNER, J.M. Comparison of chemical methods of assessing potentially available organic nitrogen in soil. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, v.17, p.216-236, 1986.

GRIFFIN, D.M. **Ecology of Soil Fungi**. Chapman and Hall Ltd, London, UK. 1972.

HAGER, A.. The effects of management and plant diversity on carbon storage in coffee agroforestry systems in Costa Rica. **Agroforest Systems**, v.86, p.159–174, 2012.

HARMAND, J.M.; HERGOUALC'H, K.; MIGUEL, S.; DZIB, B.; SILES, P.; VAAST, P. Carbon sequestration in coffee agroforestry plantations of Central America. In: **Proceedings of the 21<sup>st</sup> international conference on coffee science (ASIC)**. CIRAD, Montpellier, France, 2006.

INCAPER. Café sustentável. Informativo especial do Instituto Capixaba De Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural. **Incaper em Revista**, Vitoria. v.1, n.1, 2010. Disponível em: <<http://incaper.web407.uni5.net/revista.php?idcap=999>>, acesso em março de 2013.

INSAM, H.; DOMSCH, K. H. Relationship between soil organic carbon and microbial biomass on chronosequences of reclamation sites. **Microbial Ecology**, v.15, n.4, p.177-188, 1988.

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. **Agriculture Ecosystems and Environment**, v.79, n.1, p.9-16, 2000.

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Microwave irradiation of soil for routine measurement of microbial biomass carbon. **Boil. and Fert. Soils**. v.27, p.408-416, 1998.

JASPER, D. A.; ABBOTT, L. K.; ROBSON, A. D. Soil disturbance reduces the infectivity of external hyphae of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. **New Phytologist**, v.112, n.1, p.93-99, 1989.

JOERGENSEN, R.G. & BROOKES, P.C. Ninhydrin-reactive nitrogen measurements of microbial biomass in 0,5 M K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> soil extracts. **Soil Biology & Biochemistry**, v.22, p.1023-1027, 1990.

LA SCALA, N.; PANOSSO, A. R.; PEREIRA, G. T.; GONZALEZ, A. P.; MIRANDA, J. G. V. Fractal dimension and anisotropy of soil CO<sub>2</sub> emission in an agricultural field during fallow. **International Agrophysics**, Lublin, v.23, n.4, p.353-358, 2009.

LI, Q.; ALLEN, H.L. & WOLLUM II, A.G. Microbial biomass and bacterial functional diversity in forest soils: Effects of organic matter removal, compaction, and vegetation control. **Soil Biology & Biochemistry**, v.36 p.571-579, 2004.

LIMA, S. S. de; LEITE, L. F. C.; OLIVEIRA, F. das C.; e COSTA, D. B. da. Atributos químicos e estoques de carbono e nitrogênio em argissolo vermelho-amarelo sob

sistemas agroflorestais e agricultura de corte e queima no norte do piauí. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.35, n.1, p.51-60, 2011.

LORENZI, H., SOUZA, H. M., TORRES, V. A. M., BACHER, L. B. **Árvores exóticas no Brasil: madeiras, ornamentais e aromáticas**. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 2003.

MARCHIORI JÚNIOR, M.; MELO, W. J. Alterações na matéria orgânica e na biomassa microbiana em solo de mata natural submetido a diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 3, p. 1177-1182, 2000.

MARTENS, R. Estimation of microbial biomass in soils by the respiration method: Importance of soil pH and flushing methods for measurement of respired CO<sub>2</sub>. **Soil Biology & Biochemistry**, v.19, p.77-81, 1987.

MARTINS NETO, F.L.; MATSUMOTO, S.N. Qualidade do solo e nutrição de plantas em sistemas de produção de café (*coffea arabica* L.). **Coffee Science**, v.5, n.3, p.206-213, 2010.

MARTINS, P. F. S.; CERRI, C. C.; VOLKOFF, B.; ANDREUX, F.; CHAUVEL, A. Consequences of clearing and tillage on the soil of a natural Amazonian ecosystem. **Forest Ecology and Management**, v.38, p.273-282, 1991.

MATIAS, M. da C. B. da S.; SALVIANO, A A C; LEITE, L. F. de C. & ARAUJO, A. S. F. de. Biomassa microbiana e estoques de C e N do solo em diferentes sistemas de manejo, no Cerrado do Estado do Piauí. **Acta Scientiarum, Agronomy**. [online], v.31, n.3, p.517-521, 2009.

MATSUOKA, M.; MENDES, I. C.; LOUREIRO, M.F. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de Primavera do Leste (MT). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n.3, p.425-433, 2003.

MELLONI, R.; PEREIRA, E. G.; TRANNIN, I. C. B.; SANTOS, D. R.; MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. Características biológicas de solos sob mata ciliar e campo cerrado no sul de Minas Gerais. **Ciência e agrotecnologia**, v.25, n.1, p.7-13, 2001.

MENA-MOSQUERA, V.E. **Relación entre el carbono almacenado en la biomasa total y la composición fisionómica de la vegetación en los sistemas agroforestales con café y em bosques secundarios del Corredor Biológico Volcánica Central-Talamanca, Costa Rica**. Master thesis. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, 2008.

MENDES, I. C.; SOUZA, L. V.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C. Propriedades biológicas em agregados de um latossolo vermelho-escuro sob plantio convencional e direto no cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n.3, p.435-443, 2003.

MENDONÇA, E. S.; LEITE, L. F. C.; FERREIRA NETO, P. S. Cultivo de café em sistema agroflorestal: uma opção para recuperação de solos degradados. **Revista Árvore**, Viçosa, v.25, n.3, p.375-383, 2001.



MENDONÇA, E. S.; SILVA, A. C.; MEDEIROS, M. L.; FONTES, M. P. F. Carbono orgânico extraído por soluções salinas y su relación con otras formas de carbono de suelos tropicales. **Agrociencia**, Texcoco. v.35, n.4, p.397-406, 2001.

MENDONÇA, E. S; MATOS, E, S (Ed.). **Matéria orgânica do solo: Método de análises**. Viçosa: UFV. 2005. 77p.

MERCANTE, F. M.; SILVA, R. F.; FRANCELINO, C. S. F.; CAVALHEIRO, J. C. T.; OTSUBO, A. A. Biomassa microbiana, em um Argissolo Vermelho, em diferentes coberturas vegetais, em área cultivada com mandioca. **Acta Scientiarum, Agronomy**, v.34, n.4, p.479-485, 2008.

MORAIS, H.; MARUR, C.J.; CARAMORI, P.H.; RIBEIRO, A.M.A.; GOMES, J.C. Características fisiológicas e de crescimento de cafeeiro sombreado com quando e cultivado a pleno sol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, p.1131-1137, 2003.

MOREIRA, A.; GONÇALVES, R.P. Available phosphorus and potassium status of soils of Amazonas State. **Better Crops with Plant Food**, v.90(1), p.30-32, 2006.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: Editora UFLA, 2006, 729p.

MUÑOZ, G.; ALVARADO, J. Importância de la sombra en el cafetal. **Agroforestería en las Américas**, v.4, p.25-29, 1997.

NAIR, P.K.R. Agroecosystem management in the 21<sup>st</sup> century: It is time for a paradigm shift. **Journal of Tropical Agriculture**, v.46, n.1-2, p.1–12, 2008.

NEILL, C.; GARCIA-MONTIEL, D. C.; PICCOLO, M. C.; CERRI, C.; STEUDLER, P. A.; MELILLO, J. M.; BRITO, M. Net nitrogen mineralization rates in soils following 77 deforestation for pasture across the south western Brazilian Amazon Basin Landscape. **Oecologia**, v.110, p.243-252, 1997.

NEVES, B. P., OLIVEIRA, I. P., NOGUEIRA, J. C. M.. **Cultivo e Utilização do Nim indiano**. Embrapa Acre, 2003. (Circular técnica da Embrapa).

NUNES, R. S.; LOPES, A. A. C.; SOUSA, D. M. G.; MENDES, I. C.. Sistemas de manejo e os estoques de carbono e nitrogênio em latossolo de cerrado com a sucessão soja-milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, n.4, p.1407-1419, 2011.

OCIO, J. A.; BROOKES, P. C. An evaluation of methods for measuring the microbial biomass in soils following recent additions of wheat straw and characterization of the biomass that develops. **Soil Biology and Biochemistry**, v.22, n.5, p.685-694, 1990.

OLSZEWSKI, N.; COSTA, L. M.; FERNANDES FILHO, E. I.; RUIZ, H. A.; ALVARENGA, R. C. & CRUZ, J. C. Morfologia de agregados do solo avaliada por meio de análise de imagens. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.901-909, 2004.

PREZOTTI L. C; GOMES. J. A.; DADALTO. G. G; OLIVEIRA. J. A. de. **Manual de recomendação de calagem e adubação para o estado do Espírito Santo – 5a aproximação**. Vitória, ES. SEEA/INCAPER/CEDAGRO, 2007. 305p.

RIBEIRO, P. H. **Matéria orgânica e atributos químicos em solo de tabuleiros costeiros sob diferentes coberturas vegetais**. Jeronimo Monteiro, Universidade Federal do Espírito Santo, 2011. 41p. (Dissertação de Mestrado)

RODRIGUES, A.C.G. Ciclagem de nutrientes em sistemas agroflorestais na região tropical: Funcionalidade e Sustentabilidade. In: Muller, M.W.; Rodrigues, A.C.G.; Brandão, I.C.F.L.; Seródio, M.H.C.F., (eds.) **Sistemas agroflorestais, tendência da agricultura ecológica nos trópicos: sustento da vida e sustento de vida**. Ilhéus: CEPLAC, 2004. p.67- 88.

RODRIGUES, B.D.; MARTINS, S.V.; LEITE, H.G. Avaliação do potencial da transposição da serapilheira e do banco de sementes do solo para restauração florestal em áreas degradadas. **Revista Árvore**, v.34, n.1, p.65-73, 2010.

SAIKH, H., VARADACHARI, C., GHOSH, K. Changes in carbon, nitrogen and phosphorus levels due to deforestation and cultivation: a case study in Simlipal National park, India. **Plant Soil**., v.198, p.137–145, 1998.

SALES, E. F.; ARAÚJO, j. B. Levantamento de árvores consorciadas com cafeeiros no estado do Espírito Santo. In: Congresso Brasileiro de Agroecologia, 3., 2005. Florianópolis, SC. **Anais...** Florianópolis: ABA, 2005. CD-ROM.

SANDERMAN, J.; BALDOCK, J.A. Accounting for soil carbon sequestration in national inventories: a soil scientists perspective. **Environmental Research Letters**, v.5, p.01-06, 2010.

SCHROTH, G; LEHMANN, J.; RODRIGUES, M.R.L.; BARROS, E.; MACEDO, J.L.V. Plant-soil interactions in multistrata agroforestry in the humid tropics. **Agroforestry Systems**, v.53, p.85-102, n.2, 2001.

SCHUMACHER, M.V.; BRUN, E.J.; HERNANDES, J.I.; KONIG, F.G. Produção de serapilheira em uma floresta de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze no município de Pinhal Grande-RS. **Revista Árvore**, v.28, n.1, p.29-37, 2004.

SILVA, D.C.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; OLIVEIRA, A.H.; SOUZA, F.S.; MARTINS, S.G.; MACEDO, R.L.G. Atributos do solo em sistemas agroflorestais, cultivo convencional e floresta nativa. **Revista de Estudos Ambientais**, v.13, n.1, p.77-86, 2011.

SILVEIRA, R, B.; MELLONI, R.; MELLONI, E. G. P. Atributos microbiológicos e bioquímicos como indicadores da recuperação de áreas degradadas, em Itajubá/MG. **Cerne**, v. 2, n.1, p.48-55, 2006.

SISTI, C.P.J.; SANTOS, H.P.; KOHHANN, R.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S. & BODDEY, R.M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in Southern Brazil. **Soil Tillage Research**, v.76, p.39-58, 2004.

SOTO-PINTO, L.; ANZUETO, M.; MENDOZA, J.; FERRER, G.J.; de JONG, B. Carbon sequestration through agroforestry in indigenous communities of Chiapas, Mexico. **Agroforestry Systems**, v.78, p.39–51, 2010.

SOUZA, J. C. A. V.; BARROSO, D. G.; CARNEIRO, J. G. A. **Cedro australiano (*Toona ciliata*)**. Niterói: Programa Rio Rural, 2010. 12 p. (Programa Rio Rural. Manual Técnico 21).

SOUZA, W.J.O.; MELO, W.J. Matéria orgânica em um Latossolo submetido a diferentes sistemas de produção de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n.6, p.1113-1122, 2003.

SPARLING, G.P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.30, p.195-207, 1992.

THOMAZINI, A.; AZEVEDO, H. C. A.; MENDONÇA, E. S. Perdas de solo, água e nutrientes em sistemas conservacionistas e convencionais de café no sul do estado do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Agroecologia**. v.7, n.2, p.150-159, 2012.

TOLEDO, L.O.; PEREIRA, M.G.; MENEZES, C.E.G. Produção de serapilheira e transferência de nutrientes em florestas secundárias localizadas na região de Pinheiral, RJ. **Ciência Florestal**, v.12, n.2, p.9-16, 2002.

TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade do solo. In: ALVAREZ VENEGAS, V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R.; BARROS, N. F. de; MELLO, J. W. V. de; COSTA, L. M. da. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. p. 195-276.

TURNER, B.L.; HAYGARTH, P.M. Changes in bicarbonate-extractable inorganic and organic phosphorus by drying pasture soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.67, p.344–350, 2003.

VAN DER WERF, H. & VERSTRAETE, W. Estimation of active soil microbial biomass by mathematical analysis of respiration curves: Calibration of test procedures. **Soil Biology & Biochemistry**, v.19, p.261-265, 1987.

VAN NOORDWIJK, M.; RAHAYU, S.; HAIRIAH, K.; WULAN, Y.C.; FARIDA, A.; VERBIST, B. Carbon stock assessment for a forest-to coffee conversion landscape in Sumber-Jaya (Lampung, Indonesia): from allometric equations to land use change analysis. **Science in China**, Series C-Life Sciences, Suppl. Science in China Press, Beijing, v.45, p.75–86, 2002.

WANG, J.; SOLOMON, D.; LEHMANN, J.; ZHANG, X.; AMELUNG, W. Soil organic sulphur forms and dynamics in the Great Plains of North America as influenced by longterm cultivation and climate. **Geoderma**, v.133, p.160–172, 2006.

WARDLE, D. A. A comparative assessment of factors which influence microbial biomass carbon and nitrogen levels in soil. **Biological Reviews**, v. 67, n. 3, p. 321-358, 1992.

WARDLE, D. A.; PARKINSON, D. Interactions between microclimatic variables and the soil microbial biomass. **Biology and Fertility of Soils**, v. 9, n. 3, p. 273-280, 1990.

ZAIA, F. C.; GAMA-RODRIGUES A. C.; GAMA-RODRIGUES E. F.; MOÇO M. K. S.; FONTES A. G.; MACHADO R. C. R.; BALIGAR V. C. Carbon, nitrogen, organic phosphorus, microbial biomass and N mineralization in soils under cacao agroforestry systems in Bahia, Brazil. **Agroforest Systems**, v.86, p.197–212, 2012.

## Capítulo 2 - Atributos físicos do solo sob cultivo de cafeeiro a pleno sol e consorciado com espécies arbóreas

### RESUMO

Os sistemas agroflorestais constituem uma alternativa de produção agrícola, têm potencialidades de melhorar os atributos físicos do solo. Diante da necessidade de obter informações sobre o impacto do cultivo de cafeeiros arborizados, realizou-se essa pesquisa, com o objetivo de avaliar os atributos físicos do solo sob cultivo de café consorciado com diferentes espécies arbóreas, comparativamente ao café cultivado a pleno sol, tendo como referência uma área sob floresta. O trabalho foi conduzido em sistemas de produção de café, numa propriedade familiar, município de Nova Venécia, Espírito Santo. O solo da área é um ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso típico, cultivado com café conilon plantado em 2002, no espaçamento de 3x1,2 m. No ano de 2006, foi realizado o plantio de árvores em consórcio, nos seguintes sistemas de uso e manejo: 1) café a pleno sol, 2) café consorciado com nim (*Azadirachta indica*), 3) café consorciado com cedro australiano (*Cedrela fissilis*) e 4) café consorciado com teca (*Tectona grandis*). Foi utilizado um solo de área florestal como referência. A amostragem do solo foi realizada nas seguintes profundidades: 0,0 – 0,05; 0,05 – 0,10; 0,10 – 0,20; e 0,20 – 0,40 m, avaliando-se os seguintes atributos do solo: granulometria, densidade do solo e de partículas, porosidade total, macro e microporosidade, estabilidade de agregados, resistência do solo à penetração e umidade do solo. Os resultados experimentais mostram que os sistemas de uso e manejo diferem, principalmente para densidade do solo, sistema poroso do solo e resistência do solo à penetração. O sombreamento e proteção do solo ocasionada pelo consórcio dos cafeeiros com árvores influenciam a densidade do solo, porosidade total e macroporosidade do solo, não diferindo entre os cafeeiros sombreados, no entanto se mostrando com qualidade maior que o café a pleno sol. Os cafeeiros consorciados se diferenciam somente na agregação do solo. O solo sob café com Teca apresenta maiores valores de índice de estabilidade de agregados (IEA), diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) na profundidade 0,20-0,40 m, mostrando-se mais estruturado. Na profundidade 0,10-0,20 m, o café com Nim é superior, com maiores valores de DMG, DMP e, conseqüentemente, maiores proporções de agregados maiores. A resistência do solo à penetração é influenciada pela umidade do solo, com destaque

para o café a pleno sol que apresenta valores mais baixos desse atributo, em função da irrigação, que eleva a umidade do solo.

**Palavra-chave** - Café sombreado. Manejo de agroecossistemas. Estabilidade de agregados. Porosidade do solo. Resistência do solo à penetração.

## Chapter 2 - Physical properties of the soil under full-sun coffee intercropped with different tree species

### ABSTRACT

Agroforestry systems are an alternative agricultural production and have the potential to improve soil physical properties. Faced with the need for information on the coffee agroforestry systems, the objective is to evaluate the relationship of the chemical, physical and components of soil organic matter under coffee intercropping with different tree species, compared to the full-sun coffee with an area under forest like reference. The research was conducted in coffee production systems, a family farm, in Nova Venécia city - ES. The soil is an Yellow Ultisol Distrocohesive typical, with shadow coffee plantation, the following land use systems and management: 1) coffee full (full-sun), 2) coffee intercropped with neem (*Azadirachta indica*), 3) coffee intercropped with Australian cedar (*Cedrela fissilis*) and 4) coffee intercropped with Teca (*Tectona grandis*). It was used a soil of forest area, as a reference. Soil sampling was conducted in the following depths: 0.0-0.05, 0.05-0.10; 0.10-0.20, and 0.20-0.40 m, evaluating the following attributes soil particle size distribution, bulk density and total porosity, macroporosity, microporosity and soil resistance penetration. The experimental results show that the use and management systems differ, mainly for bulk density, soil pore system and resistance to penetration. The shading and protection of the soil caused by the coffee intercropped with tree influences the density, porosity and macroporosity, do not differ between the coffee shaded, however proving that higher-quality from full-sun coffee. The shadow coffees differ only in soil aggregation. The soil of coffee intercropped with Teca has higher stability index of aggregate (SIA), weighted average diameter (WAD), geometric mean diameter (GMD) 0.20-0.40 m in depth, showing more structured. In depth 0.10-0.20 m, and coffee intercropped with neem is higher WAD, GMD and consequently higher proportion of larger aggregates. The soil resistance penetration is influenced by soil moisture, especially for full-sun coffee which shows lower values of this attribute, depending on irrigation management, which increased soil moisture.

**Key words:** Shadow coffee. Agroecosystems management. Soil porosity. Aggregate stability. Soil resistance penetration.

## 1 INTRODUÇÃO

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 arborizadas para as condições ecológicas do norte do Estado são escassas.

A perda de solo é elevada quando não se utilizam práticas conservacionistas, tais como aquelas que levam em consideração o aumento da cobertura do solo (LANI et al., 2007). Dadalto et al. (1995) relatam perdas elevadas de solo ( $10 \text{ t ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ ) via erosão na Região Norte do ES, quando se utilizam manejo inadequado de lavouras cafeeiras. Uma característica desses solos é seu caráter distrófico, tendo basicamente a camada superficial como fonte de nutrientes.

Esses fatos explicam, em grande parte, as baixas produtividades obtidas em algumas propriedades e o aumento de áreas com lavouras depauperadas (DADALTO et al., 1995).

Lani et al. (2007) discutem que para reduzir o processo de erosão e melhorar as propriedades do solo, devem ser utilizadas práticas conservacionistas fundamentadas em dois princípios básicos: aumento da cobertura vegetal e aumento da rugosidade do terreno.

Os sistemas agroflorestais (SAF's) constituem uma alternativa de produção agrícola que minimizam o efeito da intervenção humana. Aproximando-se as características ao ambiente natural pela presença de diferentes espécies dentro de uma área, elevando-se a diversidade do ecossistema. Com isso otimizam-se as interações benéficas entre as plantas de diferentes ciclos, portes e funções (SANCHEZ, 1995; YOUNG, 1997). Os SAF's têm sido considerados como sistemas de manejo que buscam conservar as condições do solo as mais próximas das condições naturais, havendo um melhor aproveitamento dos componentes do agroecossistema, no tempo e no espaço (NAIR, 1993). Por sua constituição, possuem sistemas radiculares diversos que propiciam um contínuo aporte de matéria orgânica e condicionam favoravelmente o meio físico do solo, melhorando as condições de infiltração e retenção de água (FAO, 1995; BREMAM & KESSLER, 1997). Nesse sentido, Carvalho et al. (2004) sugerem que solo sob sistema agroflorestal apresenta



qualidade física superior, por favorecer menor densidade, maior porosidade, menor resistência à penetração e maior agregação.

Estudos recentes demonstram a importância dos atributos físicos do solo, que têm sido utilizados para verificar alterações do manejo em sistemas conservacionistas comparados a sistemas convencionais (D'ANDRÉA et al., 2002; SANTANA et al., 2006; MENEZES et al., 2008).

A compreensão da qualidade física do solo é fundamental tendo em vista a necessidade de adoção de estratégias para um manejo sustentável dos agroecossistemas. Os Argissolos Amarelo distrocoesos, de regiões de Tabuleiros Costeiros, semelhantes ao estudado neste trabalho, apresentam fortes limitações agrícolas naturais, como, por exemplo, baixa fertilidade e baixa reserva em nutrientes. Além disso, apresentam horizontes subsuperficiais endurecidos (coesos), que reduzem a profundidade efetiva do solo e, conseqüentemente, o desenvolvimento do sistema radicular (BRASIL, 1983; EMBRAPA, 1978). O conhecimento de práticas de uso e manejo que favoreçam a melhoria da qualidade desses solos é escasso.

Espera-se que a ausência no revolvimento do solo, o aumento da adição de C por meio do cultivo de plantas em sistemas arborizados, o aumento do número de espécies vegetais cultivadas e o aumento da densidade do sistema radicular promovam melhorias na qualidade física dos solos, principalmente, favorecendo o incremento da proporção de macroagregados do solo.

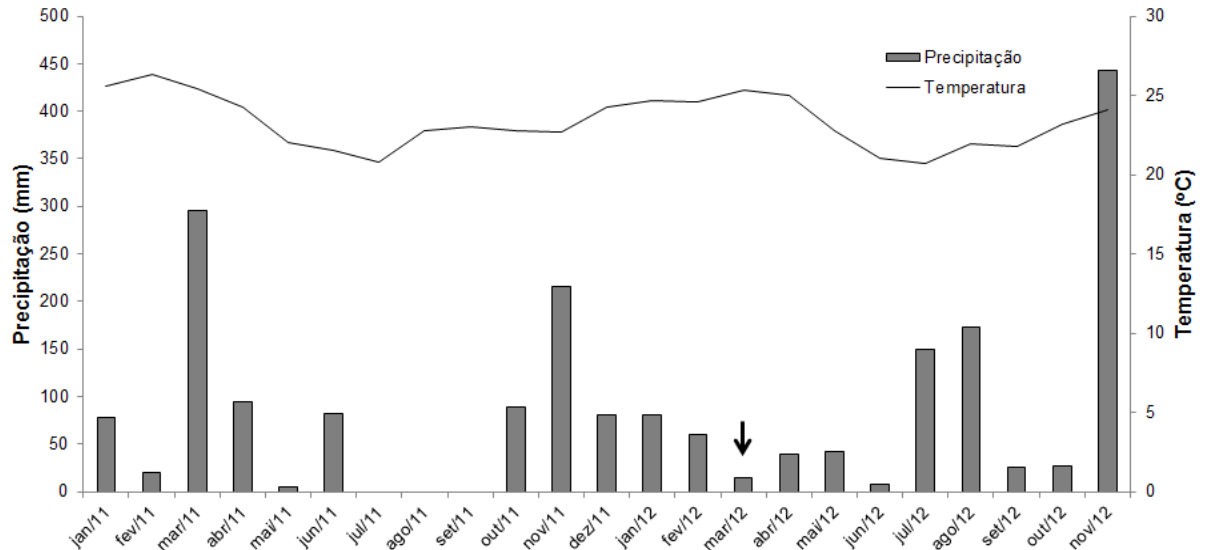
Diante da necessidade de obter informações sobre o cultivo de cafeeiros arborizados, este trabalho objetivou avaliar os atributos físicos do solo sob cultivo de café consorciado com diferentes espécies arbóreas, comparativamente ao café cultivado a pleno sol, tendo como referência uma área sob floresta.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **Caracterização da área experimental**

O trabalho foi conduzido em sistemas de produção de café, numa propriedade familiar com área de 0,81 ha, declividade de até 10%, localizada no Córrego da Travessia, município de Nova Venécia, Espírito Santo, com coordenadas geográficas de 40° 33' 17,70" W, 18° 23' 40,92" S e altitude de 200 m. O clima da

região é classificado como Aw, segundo Köppen-Geiger. Na Figura 1, são apresentados os dados de precipitação pluviométrica e temperatura dos anos de 2011 e 2012.



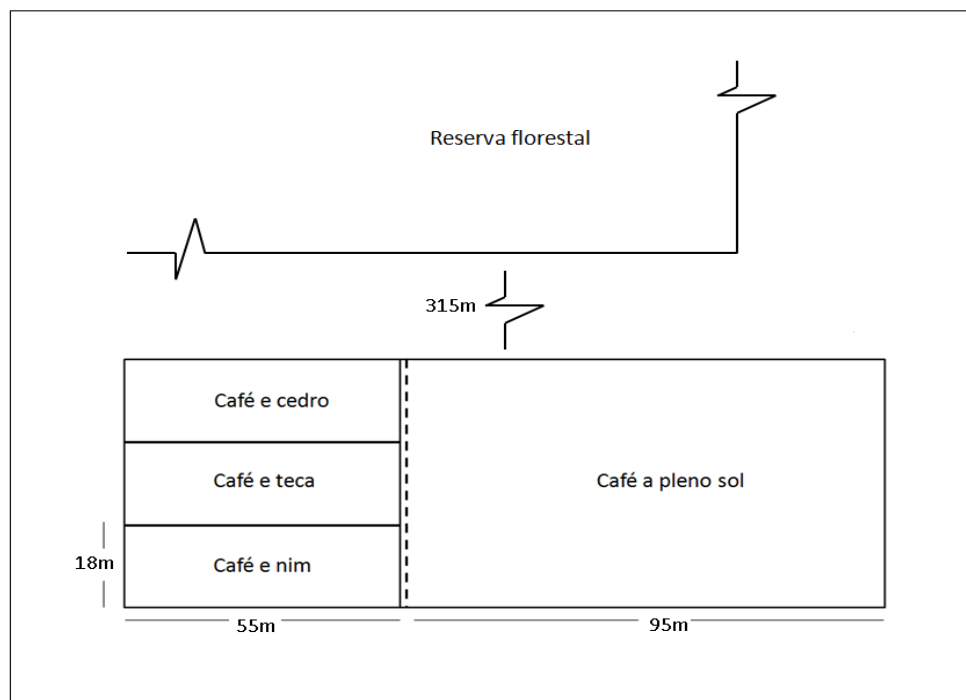
**Figura 1** - Precipitação e temperatura mensal da área de estudo em Nova Venécia, ES, nos anos de 2011 e 2012. As setas indicam os meses que foram realizadas amostragem do solo.

O solo da área é um ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso típico (Figura 1, Anexo), textura argilo-arenosa, cultivado com café conilon linhagem Robustão Capixaba (Emcapa 8141) plantado em 2001, no espaçamento de 3x1, 2 m. No ano de 2006 foi realizado o plantio de árvores em consórcio, dividido em quatro talhões com diferentes tratamentos: 1) café sem consórcio - CS (pleno sol), 2) café consorciado com nim - CN (*Azadirachta indica*), 3) café consorciado com cedro australiano - CC (*Cedrela fissilis*) e 4) café consorciado com teca – CT (*Tectona grandis*). Cada talhão de café consorciado possui área de 990 m<sup>2</sup> (7 linhas de café, com 33 plantas cada) e o café a pleno sol ocupa uma área de 5130 m<sup>2</sup>. Foi utilizado um solo de área florestal - FL, próximo aos cultivos cafeeiros, nos mesmos padrões topográficos e edáficos, como referência de sistema não antropizado (Figura 2).

A área florestal está em processo de regeneração, pois possui 28 anos, foi classificada como Floresta Primária Estacional Semidecidual em regeneração, onde são observadas entre as espécies de ocorrência o Jacarandá Caviuna (*Dalbergia nigra*), Boleira (*Joannesia princeps*), Anjico (*Parapiptadenia rígida*), Cedro Rosa (*Cedrela fissilis*), Erva Baleira (*Cordia verbenacea*), entre outras.

Antes dos cultivos de cafeeiros e a área florestal, as áreas eram ocupadas por pastagem. Hoje os cafeeiros encontram-se em transição para o sistema agroecológico, com manejo fitossanitário orgânico. A irrigação das áreas ocorre de forma diferenciada, onde cafeeiros sombreados são irrigados por gotejamento, enquanto que no café a pleno sol o sistema adotado é por aspersão. As árvores do consórcio foram plantadas em 2006, num espaçamento 3x3 m no meio das entre linhas do cafeeiro. Em janeiro de 2011, foi realizado o desbaste das árvores a fim de se obter um espaçamento de 3x6 metros. As árvores são podadas uma vez ao ano, com os restos culturais permanecendo sobre o solo de cada tratamento. Do sistema convencional persiste apenas a aplicação de adubos formulados NPK (adubação mineral), em média 800 g/planta/ano.

Todos os cafeeiros receberam a mesma adubação e calagem em função da análise química do solo e das exigências nutricionais da cultura, com base no Manual de Recomendação de Calagem e Adubação para o Estado do Espírito Santo, 5ª Aproximação (PREZOTTI et al., 2007), sendo que a última calagem na área foi feita em 2009. Atualmente é feita aplicação de preparados homeopáticos à base de *Calcarea carbonica* e *Magnesium carbonicum*, no intuito de correção de acidez e fornecimento de Ca e Mg.



**Figura 2-** Croqui da área experimental mostrando os diferentes sistemas de uso e manejo do solo.

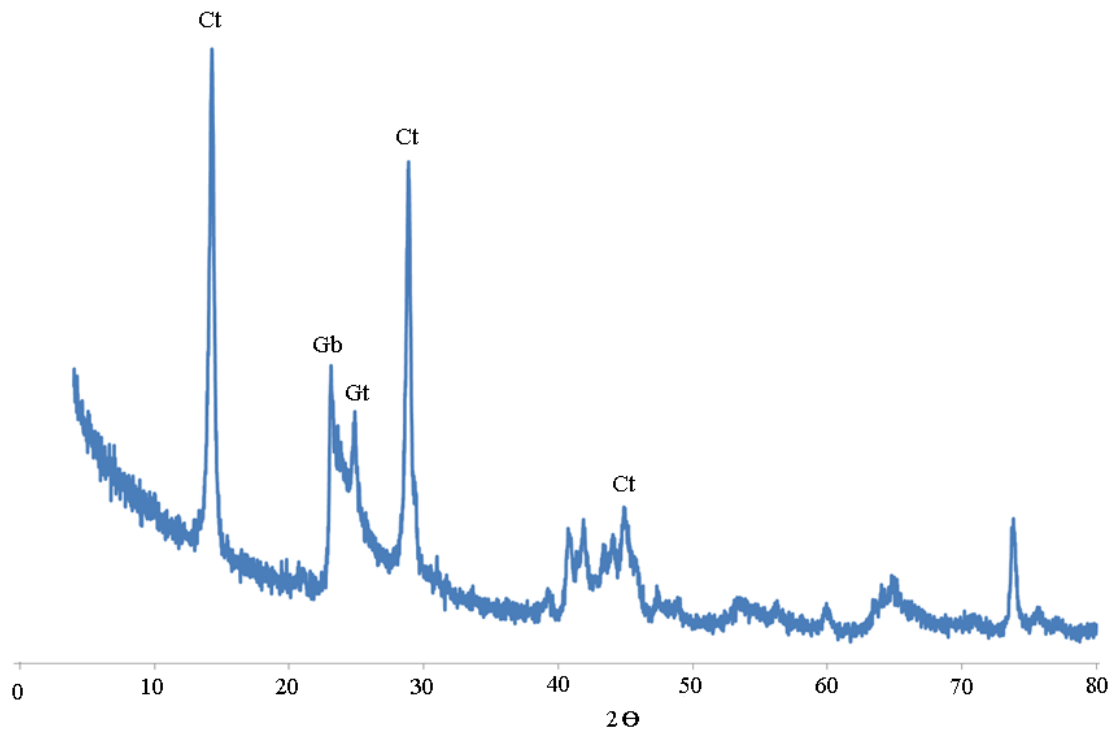
Nim indiano, pertence à família Meliaceae e é de origem asiática. A espécie pode ser reconhecida por ser árvore decídua, de tronco com casca parda-acinzentada saliente; folhas compostas pinadas, dispostas em espiral; inflorescências em panículos axilares mais curtas que as folhas, com flores branco-creme, pequenas; os frutos são drupas elipsóides (LORENZI et al., 2003). A planta se adaptou a climas tropicais e subtropicais áridos com precipitação pluvial anual entre 400 a 800 mm. Não é exigente quanto à qualidade de solos, porém não tolera locais encharcados e ácidos. A espécie tem diversas utilizações, por isso alguns a chamam de “árvore da vida”. Há anos ela é usada na Índia para controle de insetos-pragas, nematóides, alguns fungos, bactérias e vírus, na medicina humana e animal, na fabricação de cosmético, reflorestamento, como madeira de lei, adubo, assim como paisagismo (NEVES et al., 2003).

A Teca pertence à família botânica Verbenaceae, é uma árvore de grande porte e crescimento rápido podendo chegar a 30 m, As folhas, que podem ter disposição oposta a verticilar em grupos de três, são coriáceas e medem de 30 a 60 cm de comprimento por 20 a 35 cm de largura, os limbos são largos e elípticos, as folhas amplas tornam a árvore sombreante desde a fase juvenil, com sistema radicular pivotante. Nativa das florestas tropicais, encontrada no subcontinente Índico e no sudeste asiático, a Teca é exigente em nutrientes, principalmente cálcio (FIGUEREDO, 2006).

O cedro australiano, da família Meliaceae, é uma árvore decídua, de grande porte, atingindo 20 m de altura e 1,2 m de circunferência, possui folhas alternadas, pecioladas e paripenadas, com sistema radicular pivotante. Nativa das regiões da Índia e Malásia até o Norte da Austrália, a árvore é de crescimento rápido. A espécie é moderadamente tolerante à falta de água, mas altamente responsiva a quantidade de água disponibilizada durante o seu ciclo, com incrementos acentuados e rápidos. O cedro australiano é exigente em nutrientes, em especial o cálcio, pouco tolerante a solos ácidos (SOUZA et al., 2010).

O material de solo utilizado para obtenção das amostras de terra fina seca ao ar (TFSA) foi destorroado, passado em peneira de 2,0 mm para realização da análise granulométrica. Para análises dos agregados, o material de solo coletado com estrutura indeformada foi levemente quebrado com as mãos e passado em peneira de 4,0 mm e retido em peneira 2,0 mm e seco ao ar. Na Figura 3 é apresentado

difratograma de Raios-X da fração argila do solo, evidenciando a caulinita como um dos principais constituintes mineralógicos.



**Figura 3** - Difratograma de raios-X da fração argila na profundidade de 0-0,20 m do Argissolo Amarelo em Nova Venécia-ES. Ct: caulinita; Gb: gibsitita; Gt: goethita; Hm: hematita. (K $\alpha$  Co).

A determinação da densidade do solo ( $D_s$ ), densidade de partículas ( $D_p$ ), porosidade total ( $P$ ), macroporosidade ( $M_{ap}$ ) e microporosidade ( $M_{ip}$ ) foi realizada conforme procedimentos da Embrapa (1997). As amostras indeformadas de solo foram coletadas pelo método do anel volumétrico, utilizando amostrador de Uhland com anéis de aço inox onde seus respectivos volumes e massas foram previamente aferidos em laboratório. O anel foi inserido, evitando compactação, em cada profundidade do solo amostrada, envolvido com plástico PVC e levado ao laboratório para limpeza das bordas dos anéis e acondicionado em latas de alumínio. As análises foram realizadas no Laboratório de Física do Solo da Universidade Federal de Viçosa (UFV).

## Determinações experimentais

### Análise granulométrica

A análise granulométrica foi realizada pelo método da pipeta, baseada no princípio da velocidade de queda das partículas, conforme lei de Stokes, utilizando-se 10 g de TFSA em recipientes plásticos com 50 ml de solução de NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup>, contendo dez esferas de metal com diâmetro de 0,4 cm, em agitador orbital a 175 rpm por 12 horas. A determinação do silte foi efetivada por diferença entre a fração coletada silte+argila menos a fração argila (RUIZ, 2005).

### Densidade do solo, densidade de partículas, porosidade total, macro e microporosidade

Primeiramente foi determinada a microporosidade (Mip), em que as amostras de solo indeformadas coletadas pelo método do anel volumétrico, utilizando um amostrador de Uhland, foram colocadas para saturar em água durante 24 horas e, posteriormente, colocadas em mesa de tensão a 6 kPa (coluna de 60 cm de H<sub>2</sub>O). Após estabilizar a drenagem da água contida nos anéis, estes foram retirados da mesa de tensão, pesados em balança de precisão e secos em estufa a 105 °C, até peso constante, para determinação do peso seco. Com a massa do solo úmido a uma tensão de 6 kPa (M<sub>R+solo+água</sub>) e o solo seco em estufa (M<sub>R+solo seco</sub>) determinou-se a microporosidade, de acordo com a seguinte expressão:

$$Mip = M_{(R+solo+água)} - M_{(R+solo\ seco)} / D_{água} \times \text{volume do cilindro}$$

em que: D<sub>água</sub> = densidade da água, considerada igual a 1,0 kg dm<sup>-3</sup>.

Com o volume do anel e a massa do solo seco foi determinada a densidade do solo, pela seguinte equação:

$$Ds = Ms / Vt$$

em que: Ds = densidade do solo (kg dm<sup>-3</sup>), ms = massa do solo seco em estufa (kg) e vt = volume total do solo (dm<sup>3</sup>).

A densidade de partículas (Dp) foi determinada pelo método do balão volumétrico, enquanto a porosidade total (P) foi calculada pela expressão  $P = 1 - Ds/Dp$  e a macroporosidade (Map) pela expressão:  $Map = P - Mip$ .

### Análise de agregados

A análise de agregados foi realizada pelo método via úmida, utilizando-se o peneiramento em água, após pré-umedecimento dos agregados por capilaridade, utilizando aparelho de oscilação vertical, proposto por Yoder (1936), conforme descrito por Kemper & Chepil, (1965) nas seguintes classes de tamanho: 4-2; 2-1; 1-0,5; 0,5-0,25; 0,25-0,105 e menor que 0,105 mm. A partir das classes de agregados foram calculados o diâmetro médio ponderado (DMP), o diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados e o Índice de Estabilidade de Agregados (IEA), de acordo com as expressões abaixo:

$$DMP = \sum_{i=1}^n (M_i \cdot x_i)$$

$$DMG = EXP \frac{\sum_{i=1}^n M_p \cdot \text{Log} M_i}{\sum_{i=1}^n x_i}$$

$$IEA = \frac{P_s - M_p 0,105 - \text{areia}}{P_s - \text{areia}} \cdot 100$$

em que:

M<sub>i</sub> = diâmetro médio das classes (mm); x<sub>i</sub> = proporção de cada classe em relação ao total; P<sub>s</sub> = massa da amostra seca (g); M<sub>p0,105</sub> = massa dos agregados da classe <0,105 mm (g); M<sub>p</sub> = massa dos agregados de cada classe (g); e Areia = proporção de areia (g kg<sup>-1</sup>).

Com as mesmas classes de agregados (4-2; 2-1; 1-0,5; 0,5-0,25; 0,25-0,105 e menor que 0,105 mm) foram calculadas as proporções de macroagregados (> 0,25 mm) e microagregados (< 0,25 mm), conforme proposta de Tisdall & Oades (1982). Calcularam-se também a percentagem das seguintes classes: 4-2 mm (macroagregados maiores), 2-0,25 mm (macroagregados menores) e 0,25-0,105 mm (microagregados), de acordo com Assis et al. (2006).

### Resistência do solo à penetração e umidade do solo

Foi determinada a resistência do solo à penetração (RP), segundo Stolf (1991), no mesmo local em que foi realizada a amostragem de solo, em março de 2012. Foram feitas 10 determinações em cada tratamento, e calculada a resistência de 0,05 a 0,05 m de penetração vertical no solo, até a profundidade de 0,40 m, com

penetrômetro de impacto (modelo IAA/Planalsucar-Stolf). A umidade do solo foi realizada concomitantemente pelo método termogravimétrico (EMBRAPA, 1997), nas profundidades de 0-0,20 e 0,20-0,40 m do solo. A transformação dos valores da penetração da haste do aparelho no solo (cm/impacto) em resistência à penetração (MPa) foi obtida pela fórmula (Stolf, 1991):

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

$$RP = 66,529N + 5,751$$

em que: M = massa do êmbolo (3,99 kg); m = massa dos demais componentes (3,43 kg); g = aceleração da gravidade (10 m s<sup>-2</sup>); h = altura de queda do êmbolo (40 cm); A = área da base do cone (1,29 cm<sup>2</sup>); RP = resistência do solo à penetração ou índice do cone (kgf cm<sup>-2</sup>); e N = 1 X<sup>-1</sup>, número de impactos cm<sup>-1</sup>.

A resistência do solo à penetração, em kgf cm<sup>-2</sup>, foi convertida para MPa através da expressão:

$$RP \text{ (MPa)} = (66,259 \cdot N + 5,751) \cdot 0,098$$

em que:

N = número de impactos por camada de solo analisada;

0,098 = fator de conversão da unidade em kgf cm<sup>-2</sup> para MPa.

### **Delineamento experimental e análise estatística dos dados**

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC), em esquema de parcelas subdividas no espaço, com cinco sistemas de uso e manejo [1- uma área florestal; 2 - consórcio de café e nim (*Azadirachta indica*); 3 - consórcio de café e cedro australiano (*Cedrela fissilis*); 4 - consórcio de café com teca (*Tectona grandis*); e 5 - café (*Coffea canephora*) pleno sol] e quatro profundidades de amostragem do solo (0,0 – 0,05; 0,05 – 0,10; 0,10 – 0,20e 0,20 – 0,40m), com cinco repetições.

Os resultados foram submetidos à análise de variância e os contrastes comparados pelo teste F, medindo-se assim a significância (5% de probabilidade) e a “tendência”, para expressar diferenças estatísticas no intervalo entre 5 e 20% de probabilidade de acordo com Olszewski et al., (2004). Realizou-se a Correlação de Pearson para



encontrar associação entre as variáveis COT com Argila; Ds com porosidade total e macroporosidade; macroporosidade e porosidade total; e resistência do solo a penetração com a umidade do solo, os coeficientes de correlação (r) foram testados pelo teste t a 5% de significância. Os graus de liberdade dos tratamentos foram desdobrados em contrastes ortogonais (Tabela1), para cada profundidade. As análises estatísticas foram realizadas no software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2011).

Os contrastes foram comparados com base no grau de sombreamento observado em campo, ou seja, o nim tem um dossel mais fechado que o cedro, que é superior à teca.

**Tabela 1** - Contrastes ortogonais usados na avaliação dos atributos analisados, considerando os diferentes sistemas de uso e manejo

Contrastes <sup>1/</sup>	Sistemas de uso e manejo					Café pleno sol
	Floresta	Café e nim	Café e cedro	Café e teca		
<b>C1</b>	4	-1	-1	-1		-1
<b>C2</b>	0	1	1	1		-3
<b>C3</b>	0	1	1	-2		0
<b>C4</b>	0	1	-1	0		0

1/Os contrastes foram utilizados para as quatro profundidades avaliadas (0 – 0,05; 0,05 – 0,10; 0,10 – 0,20; e 0,20 – 0,40 m). C1 = Floresta vs. Cafeeiros; C2 = Cafeeiros consorciados vs. Café a pleno sol; C3 = Café consorciado com nim + Café consorciado com cedro vs. Café consorciado com teca; e C4 = Café consorciado com nim vs. Café consorciado com cedro.

### 3 RESULTADOS

A composição granulométrica observada para o solo das áreas em estudo permite enquadrá-lo na classe textural argilo arenosa, com 320 a 480 g de argila kg<sup>-1</sup> de solo, na profundidade 0-0,20 m. Foi observado gradiente textural entre a profundidade 0-0,20 m e a 0,20-0,40 m, com média de incremento de 100 g de argila kg<sup>-1</sup> de solo.

O teor de argila do solo entre as áreas não diferiu na profundidade 0-0,20 m, apenas na profundidade 0,20-0,40 m em que a área florestal apresentou maiores teores (C1, Tabela 2). Pelo contraste C2, em que se comparam os cafeeiros, verifica-se que o

teor de argila nos cafeeiros consorciados foi superior ao CS em todas as profundidades. Entre os consórcios com café, a área com nim apresentou menores valores de argila (Tabela 2).

Ocorreu tendência do solo sob floresta apresentar maiores valores de silte, enquanto que os cafeeiros não diferiram entre si (Tabela 2). A fração areia por sua vez apresentou maiores valores no CS (contraste C2), seguido do CN em todas as profundidades (contraste C3 e C4), de acordo com a Tabela 2.

**Tabela 2** - Composição granulométrica de um Argissolo Amarelo sob diferentes profundidades e sistemas de uso e manejo. Valores médios de areia grossa (AG), areia fina (AF), silte e argila e seus respectivos contrastes

Sistemas de uso e manejo	AG	AF	Silte	Argila
	----- g kg <sup>-1</sup> -----			
<b>Profundidade 0-0,05 m</b>				
Floresta (FL)	504,7	99,2	43,3	352,7
Café e nim (CN)	492,4	130,8	34,7	342,0
Café e cedro (CC)	411,1	123,3	21,9	443,7
Café e teca (CT)	474,0	114,3	27,8	383,9
Café pleno sol (CS)	537,0	124,2	18,6	320,1
Contrastes				
C1	104,5	-95,8*	70,3*	-78,9
C2	-233,4*	-4,2	28,5#	209,2*
C3	-44,5	25,6#	1,0	18,0
C4	81,3*	7,5	12,8*	-101,6*
<b>Profundidade 0,05-0,10 m</b>				
Floresta (FL)	488,1	94,4	26,8	390,7
Café e nim (CN)	450,1	143,5	23,9	382,5
Café e cedro (CC)	377,0	120,9	24,3	477,9
Café e teca (CT)	396,0	124,1	24,1	380,4
Café pleno sol (CS)	518,7	131,8	14,0	335,5
Contrastes				
C1	210,6*	-142,5*	20,8#	-13,6
C2	-333,0*	-7,	30,2*	234,5*
C3	35,0	16,1	-0,1	99,6#
C4	73,1*	22,6*	-0,4	-95,3*
<b>Profundidade 0,10-0,20 m</b>				
Floresta (FL)	459,5	91,0	34,0	415,6
Café e nim (CN)	459,9	139,5	22,9	345,5
Café e cedro (CC)	361,8	125,7	24,0	488,5
Café e teca (CT)	372,9	118,0	23,9	485,2
Café pleno sol (CS)	531,9	128,0	19,1	321,1
Contrastes				
C1	111,5	-147,3*	46,0*	22,0
C2	-401,1*	-0,6	13,4	356,1*
C3	75,9#	29,2*	-0,9	-136,5*
C4	98,1*	13,8*	-1,1	-143,0*
<b>Profundidade 0,20-0,40 m</b>				
Floresta (FL)	314,1	90,4	29,5	565,9
Café e nim (CN)	356,5	134,0	26,0	483,5
Café e cedro (CC)	283,7	120,1	20,3	575,9
Café e teca (CT)	325,5	119,8	25,3	529,4
Café pleno sol (CS)	475,8	137,2	16,7	370,2
Contrastes				
C1	-185,0*	-149,5*	29,8#	304,7*
C2	-461,7*	-37,6*	21,4#	478,1*
C3	-10,9	14,6	-4,2	0,5
C4	72,8*	13,9#	5,7	-92,4*

C1 = Floresta vs. Cafeeiros; C2 = Cafeeiros consorciados vs. Café pleno sol; C3 = Café nim + Café cedro vs. Café e teca; e C4 = Café nim vs. Café cedro.\*significativo a 5% e # tendência a 20%, pelo teste F.

Os dados de densidade e o espaço poroso do solo mostraram que o tempo de manejo nas áreas cafezeiras influenciaram tais atributos de maneira significativa, em

que os cafeeiros arborizados diferiram do CS, com menores valores de  $D_s$ , nas profundidades abaixo de 0,10 m (Tabela 3).

De forma geral, a densidade de partículas ( $D_p$ ) não foi influenciada pelos sistemas de uso e manejo do solo (Tabela 3), o que era de se esperar, pois a  $D_p$  é influenciada somente pela composição sólida do solo (mineral e orgânica) (Ferreira; Dias Júnior, 1996).

Com relação à microporosidade ( $Mip$ ), ocorreram pequenas diferenças entre tratamentos na profundidade 0,05-0,10 m, onde os cafeeiros arborizados foram superiores ao CS e, entre os cafeeiros arborizados, o CC apresentou maiores valores de  $Mip$  na profundidade de 0-0,05 m e tendência de superioridade na profundidade 0,05-0,20 m. A densidade do solo ( $D_s$ ) seguiu a ordem crescente de valores:  $FL < CN = CC = CT < CS$  na profundidade 0,05-0,40 m. Como a porosidade total é calculada a partir da  $D_s$ , a porosidade foi superior no solo sob área florestal. Resultados semelhantes foram obtidos para a macroporosidade ( $Map$ ) (Tabela 3).

Os resultados de DMP, DMG e IEA são apresentados na Tabela 4. Para todos os sistemas de uso e manejo avaliados, o solo apresentou estrutura bem desenvolvida, demonstrada pelos valores elevados de DMG e DMP, acima de 2,09 mm na profundidade de 0-0,10 m e acima de 1,53 mm na profundidade de 0,10-0,40 m. Com relação às proporções de tamanhos de agregados, houve predominância de macroagregados maiores (Tabela 4).

O solo sob área florestal obteve maiores valores de DMG, DMP e proporção de macroagregados maiores (4-2 mm) em todas as profundidades estudadas. O contraste C2 mostra que os cafeeiros consorciados com espécies arbóreas não diferiram do café a pleno sol. Contudo, entre os cafeeiros arborizados, na profundidade 0,10-0,20 m, o CN obteve maiores valores de DMG, DMP e, conseqüentemente, maiores proporções de agregados maiores. Na profundidade 0,20-0,40 m, o solo sob CT mostrou-se mais estruturado, com valores de DMG e DMP elevados e percentagem superior de macroagregados maiores (Tabela 4).

O IEA comportou-se de forma semelhante ao DMG e DMP, apresentando o solo sob área florestal maiores índices em todas as profundidades, indicando que o solo apresenta estrutura mais preservada que os outros sistemas. Os cafeeiros não

diferiram entre si, no entanto entre os cafeeiros consorciados, na profundidade 0,20-0,40 m, o solo sob CT obteve maior valor de IEA (Tabela 4).

**Tabela 3** - Valores médios de densidade do solo (Ds), densidade de partículas (Dp), porosidade total (P), microporosidade (Mip) e macroporosidade (Map) de um Argissolo Amarelo sob diferentes profundidades e sistemas de uso e manejo e seus respectivos contrastes

Sistemas de uso e manejo	Ds	Dp	P	Mip	Map
	----- kg dm <sup>-3</sup> -----	-----	-----	----- m <sup>-3</sup> m <sup>-3</sup> -----	-----
<b>Profundidade 0-0,05 m</b>					
Floresta (FL)	1,28	2,68	0,520	0,203	0,317
Café e nim (CN)	1,46	2,73	0,463	0,202	0,261
Café e cedro (CC)	1,43	2,72	0,472	0,219	0,254
Café e teca (CT)	1,44	2,70	0,468	0,208	0,260
Café pleno sol (CS)	1,47	2,73	0,459	0,219	0,239
<b>Contrastes</b>					
C1	-0,68*	-0,16	0,22*	0,03	0,25*
C2	-0,08	-0,05	0,03	-0,01	0,06#
C3	0	0,06	0	0,02#	0
C4	0,03	0,02	-0,01	-0,02*	0,01
<b>Profundidade 0,05-0,10 m</b>					
Floresta (FL)	1,32	2,63	0,506	0,196	0,311
Café e nim (CN)	1,48	2,70	0,454	0,205	0,249
Café e cedro (CC)	1,46	2,72	0,462	0,216	0,246
Café e teca (CT)	1,48	2,69	0,455	0,200	0,255
Café pleno sol (CS)	1,57	2,73	0,423	0,195	0,228
<b>Contrastes</b>					
C1	-0,73*	-0,32*	0,23*	-0,04#	0,26*
C2	-0,28*	-0,09	0,1*	0,04*	0,07#
C3	-0,02	0,04	0,01	0,01	-0,02
C4	0,02	-0,02	-0,01	-0,01#	0
<b>Profundidade 0,10-0,20 m</b>					
Floresta (FL)	1,38	2,70	0,483	0,213	0,270
Café e nim (CN)	1,52	2,66	0,441	0,192	0,250
Café e cedro (CC)	1,50	2,73	0,449	0,208	0,241
Café e teca (CT)	1,54	2,71	0,431	0,203	0,228
Café pleno sol (CS)	1,58	2,71	0,417	0,206	0,211
<b>Contrastes</b>					
C1	-0,63*	0	0,19*	0,03	0,15*
C2	-0,19*	-0,03	0,07*	0,02	0,09*
C3	-0,07	-0,03	0,03	0,04*	0,03#
C4	0,02	-0,07#	-0,01	-0,01#	0,01
<b>Profundidade 0,20-0,40 m</b>					
Floresta (FL)	1,44	2,65	0,461	0,233	0,228
Café e nim (CN)	1,55	2,73	0,428	0,218	0,211
Café e cedro (CC)	1,57	2,70	0,420	0,217	0,203
Café e teca (CT)	1,55	2,74	0,429	0,233	0,197
Café pleno sol (CS)	1,67	2,72	0,385	0,214	0,170
<b>Contrastes</b>					
C1	-0,6*	-0,31*	0,18*	0	0,13#
C2	-0,34*	0,02	0,12*	0,05#	0,1#
C3	0,03	-0,05	-0,01	0,01	0,02
C4	-0,02	0,03	0,01	-0,01	0,01

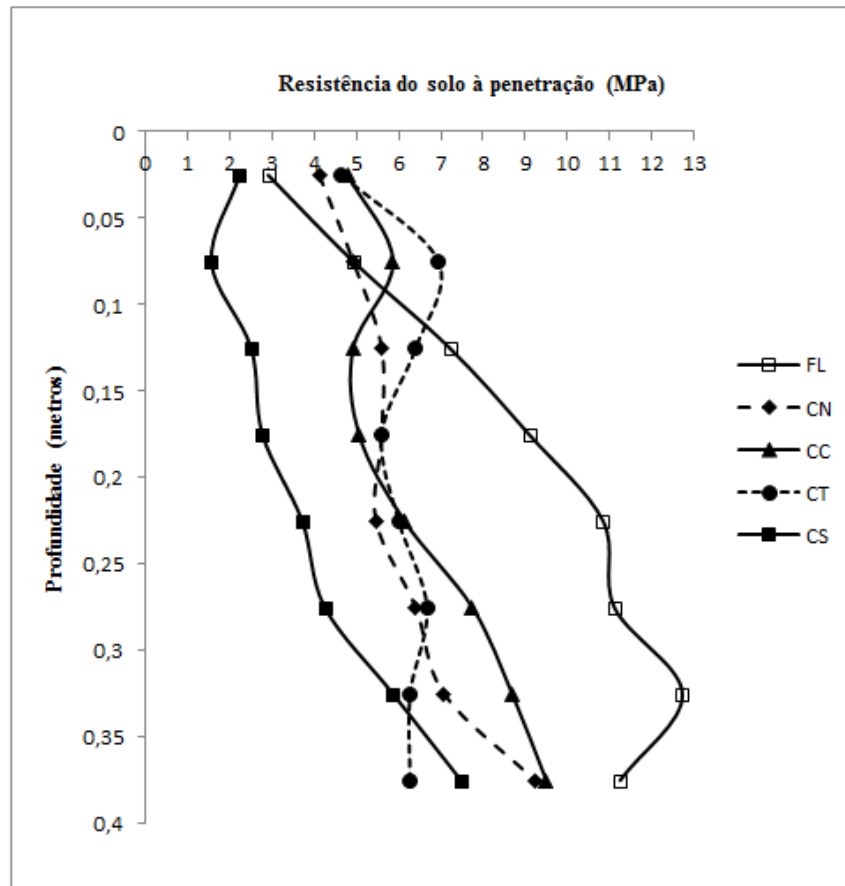
C1 = Floresta vs. Cafeeiros; C2 = Cafeeiros consorciados vs. Café pleno sol; C3 = Café nim + Café cedro vs. Café e teca; e C4 = Café nim vs. Café cedro.\*significativo a 5% e # tendência a 20%, pelo teste F.

**Tabela 4** - Índices de agregação de um Argissolo Amarelo sob diferentes profundidades e sistemas de uso e manejo. Valores médios de diâmetro médio geométrico (DMG) e ponderado (DMP), macroagregados maiores (Mag>), macroagregados menores (Mag<) e microagregados (Mig) e seus respectivos contrastes

Sistemas de uso e manejo	DMG ----- mm -----	DMP	IEA	Mag> ----- % -----	Mag<	Mig
<b>Profundidade 0-0,05 m</b>						
Floresta (FL)	2,82	2,94	77,9	95,65	3,10	1,24
Café e nim (CN)	2,38	2,78	68,6	81,66	16,54	1,76
Café e cedro (CC)	2,23	2,57	63,7	76,77	21,18	2,04
Café e teca (CT)	2,46	2,75	63,4	83,56	14,39	2,06
Café pleno sol (CS)	2,31	2,64	67,6	78,90	19,29	1,81
<b>Contrastes</b>						
C1	1,9*	1,02*	48,3#	61,74*	-58,98*	-2,71#
C2	0,14	0,19#	-7,2	5,29	-5,75	0,42
C3	-0,32#	-0,14#	5,6	-8,69#	8,95#	-0,31
C4	0,15#	0,21*	4,9	4,88#	-4,65#	-0,28
<b>Profundidade 0,05-0,10 m</b>						
Floresta (FL)	2,81	2,84	86,1	93,85	5,37	0,78
Café e nim (CN)	2,25	2,59	66,4	78,21	19,90	1,89
Café e cedro (CC)	2,09	2,47	54,3	71,73	25,70	2,58
Café e teca (CT)	2,34	2,67	67,6	81,00	17,17	1,83
Café pleno sol (CS)	2,16	2,56	55,1	74,84	22,65	2,51
<b>Contrastes</b>						
C1	2,41*	1,05*	100,9*	69,63*	-63,95*	-5,68*
C2	0,18	0,05	23#	6,43	-5,18	-1,25
C3	-0,35#	-0,28*	-14,4	-12,07#	11,26#	0,81
C4	0,16#	0,12#	12,1#	6,48#	-5,79#	-0,69#
<b>Profundidade 0,10-0,20 m</b>						
Floresta (FL)	2,72	2,83	88,6	90,23	9,13	0,64
Café e nim (CN)	2,20	2,47	58,2	76,33	22,24	2,35
Café e cedro (CC)	1,86	2,24	50,8	67,28	28,92	3,80
Café e teca (CT)	1,99	2,44	51,6	70,31	26,29	3,40
Café pleno sol (CS)	2,00	2,45	54,1	69,96	27,47	2,57
<b>Contrastes</b>						
C1	2,85*	1,75*	139,8*	77,05*	-68,41*	-9,56*
C2	0,05	-0,21	-1,8	4,04	-4,95	1,83
C3	0,1	-0,17	5,8	2,98	-1,42	-0,65
C4	0,34*	0,23*	7,4	9,05*	-6,68#	-1,45*
<b>Profundidade 0,20-0,40 m</b>						
Floresta (FL)	2,33	2,59	77,8	78,50	20,24	1,26
Café e nim (CN)	1,57	2,01	33,5	49,93	46,31	3,75
Café e cedro (CC)	1,38	1,80	30,3	41,41	53,47	5,12
Café e teca (CT)	1,81	2,18	49,8	53,60	42,65	3,75
Café pleno sol (CS)	1,53	1,97	33,6	54,47	41,61	3,92
<b>Contrastes</b>						
C1	3,03*	2,39*	164,3*	114,59*	-103,07*	-11,52*
C2	0,17	0,08	12,7	-18,48	17,61#	0,87
C3	-0,66*	-0,55*	-35,8*	-15,86#	14,5#	1,36
C4	0,2#	0,21#	3,2	8,52#	-7,16#	-1,36#

C1 = Floresta vs. Cafeeiros; C2 = Cafeeiros consorciados vs. Café pleno sol; C3 = Café nim + Café cedro vs. Café e teca; e C4 = Café nim vs. Café cedro.\*significativo a 5% e # tendência a 20%, pelo teste F.

Na Figura 4 e Tabela 5, são apresentados os dados de resistência do solo à penetração (RP). Entre os sistemas de uso e manejo solo, o café a pleno sol apresentou os menores valores de RP e o solo sob floresta os maiores valores a partir da profundidade de 0,10 m.



**Figura 4** - Resistência do solo à penetração sob distintos sistemas de uso e manejo: floresta (FL), café consorciado com Nim (CN), café consorciado com Cedro (CC), café consorciado com Teca (CT) e café a pleno sol (CS).

**Tabela 5** - Resistência do solo à penetração (RP) e umidade de um Argissolo Amarelo sob distintos sistemas de uso e manejo e seus respectivos contrastes

Sistemas de uso e manejo	Resistência do solo à penetração				Umidade (0-0,20 m)
	Profundidade (m)				
	0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,15	0,15-0,20	%
	MPa				
Floresta (FL)	2,90	4,92	7,21	9,09	11,84
Café e nim (CN)	4,11	4,92	5,59	5,59	13,55
Café e cedro (CC)	4,79	5,86	4,92	5,06	13,40
Café e teca (CT)	4,65	6,94	6,40	5,59	12,56
C. pleno sol (CS)	2,23	1,56	2,50	2,77	15,19
	Contrastes				
C1	-1,96#	0,19	4,42*	8,15*	-7,34#
C2	3,22*	6,13*	4,42*	3,73*	-6,08*
C3	-0,19	-1,45#	-1,07	-0,25	1,83
C4	-0,32	-0,44	0,32	0,25	0,15
	Profundidade (m)				
	0,20-0,25	0,25-0,30	0,30-0,35	0,35-0,40	Umidade (0,20- 0,40 m)
Floresta (FL)	10,84	11,11	12,72	11,24	11,14
Café e nim (CN)	5,46	6,40	7,07	9,23	12,95
Café e cedro (CC)	6,13	7,75	8,69	9,50	13,50
Café e teca (CT)	6,00	6,67	6,27	6,27	12,66
C. pleno sol (CS)	3,71	4,25	5,86	7,48	16,19
	Contrastes				
C1	10,37*	9,1*	10,81*	5,88#	-10,76*
C2	3,03#	3,79#	2,09	1,2	-9,46*
C3	-0,19	0,38	1,52	2,91#	1,13
C4	-0,32	-0,63	-0,76	-0,13	-0,54

C1 = Floresta vs. Cafeeiros; C2 = Cafeeiros consorciados vs. Café pleno sol; C3 = Café nim + Café cedro vs. Café e teca; e C4 = Café nim vs. Café cedro.\*significativo a 5% e # tendência a 20%, pelo teste F.

#### 4 DISCUSSÃO

Os cafeeiros arborizados apresentaram maior teor de argila no solo, e entre estes, o CT apresentou os maiores teores de argila entre os cafeeiros (Contraste C2, C3 e C4, Tabela 2). Altos teores de argila contribuem para maior acúmulo de carbono orgânico, uma vez que nessas condições, há maior proteção da matéria orgânica (MO) do solo (BAYER & MIENICZUK, 1999). No entanto, não foi encontrada correlação significativa entre teor de argila e COT no presente estudo.



Os valores de densidade do solo (Ds) nos cafeeiros consorciados não diferiram entre si, mas foram menores que o café a pleno sol na profundidade de 0,05-0,40 m, indicando o potencial de sistemas arborizados ou agroflorestais em melhorar as condições físicas dos solos, observado pela redução da Ds (contraste C2, Tabela 4). Tal efeito corrobora com Carvalho et al. (2004), Aguiar (2008) e Mendonça et al. (2010), que obtiveram menores valores de Ds em solos sob sistemas agroflorestais.

As diferenças existentes entre os valores de Ds nas áreas podem ser resultado do efeito que o manejo provoca nos teores e qualidade da MO do solo, uma vez que a diminuição no teor de MO tende a elevar a Ds (MARCOLIN, 2006; SILVA et al., 2011) e reduzir a estabilidade da estrutura do solo (TORMENA et al., 2004). Os teores de COT não diferiram entre os cafeeiros, no entanto os valores de C ext foram inferiores no CS (Tabela 8, capítulo 1). Além disso, ocorre a proteção do solo, tanto pela interceptação das gotas das chuvas pelas árvores, quanto pela presença da serapilheira (MUSCHLER, 2000; BARBERA-CASTILLO, 2001), condições essas que favorecem a redução da Ds.

Carvalho et al. (2004) e Freitas et al. (2012) constataram, ao pesquisar os efeitos do manejo sobre a Ds, que o solo sob SAF apresentou menor Ds que a área de referência. Os autores atribuíram os resultados à maior atividade biológica no solo sob SAF. A atividade biológica de fungos e bactérias tem influência direta na agregação do solo (TISDALL & OADES, 1979), reduzindo a Ds, refletindo assim na sua agregação. A manutenção da umidade mais constante ao longo do ano no sistema arborizado em relação ao café a pleno sol no presente trabalho pode ter favorecido a biota do solo. De acordo com Campos et al. (1999), solos com uma boa cobertura impedem ou diminuem a ação direta das gotas de chuva, mantêm mais uniforme a umidade e a temperatura, favorecem o desenvolvimento do sistema radicular e atividade microbiana e contribuem para a criação de um ambiente mais favorável à agregação, o que é corroborado por Wendling et al. (2005), influenciando assim o sistema poroso e promovendo a redução da Ds nesse sistema.

Houve correlação significativa e negativa entre Ds e a porosidade total ( $r=-0,99^*$ ) e macroporosidade ( $r=-0,78^*$ ). A atuação do sistema poroso do solo está na aeração, condução e retenção de água, resistência à penetração e à ramificação das raízes no solo e, conseqüentemente, no aproveitamento de água e nutrientes disponíveis

(TOGNON, 1991). O solo sob área florestal apresentou maiores valores de porosidade total (P) e macroporosidade (Map), enquanto que os cafeeiros arborizados não diferiram entre si quanto à porosidade, no entanto foram superiores ao café a pleno sol (Tabela 3). No solo sob café a pleno sol, há maior teor de areia grossa, o que poderia favorecer a Map, no entanto não ocorreu correlação significativa entre areia grossa e a Map. O maior aporte orgânico nos sistemas arborizados em relação ao pleno sol contribuiu para o incremento da porosidade total do solo. O aporte orgânico favorece a atividade biológica do solo e a agregação (CASTRO FILHO et al., 1998), contribuindo para estruturação do solo (OADES, 1984).

A densidade de partículas apresentou valores inferiores no solo sob área florestal (Tabela 3), o que se deve ao alto teor de MO no solo sob floresta (Tabela 6, Capítulo 1). Silva et al. (2011) também observaram redução da Dp nos solos devido ao maior teor de MO, influenciado pelos baixos valores de densidade de partículas da MO do solo. A densidade dos minerais do solo geralmente excede  $2 \text{ kg dm}^{-3}$ , enquanto a de compostos orgânicos é inferior a  $1,5 \text{ kg dm}^{-3}$  (GREGORICH & ELLERT, 1993).

A porosidade do solo é determinada pela forma como se arranjam suas partículas sólidas, destacando-se que se houver grande contato entre superfícies dessas partículas, ocorre predominância de sólidos na amostra de solo, reduzindo o espaço poroso, como ocorreu no café a pleno sol, apresentando menor porosidade entre os cafeeiros (contraste C2, Tabela 3). Independentemente da profundidade e do manejo, verifica-se que os valores de porosidade encontrados para o cafeeiro estão abaixo do valor considerado ideal para a cultura, de acordo com Guimarães & Lopes (1986), que corresponde a 50%. Effgen et al. (2012), avaliando propriedades físicas do solo em lavoura de café conilon no sul do Espírito Santo, também encontraram valores de porosidade abaixo de 50 % na camada de 0 – 0,20 m.

A transformação de macroporos em microporos é frequentemente observada com o aumento de atividades antrópicas com o solo (CARVALHO et al., 2004; TORMENA et al., 2004). No entanto, tal fenômeno não foi notado entre os sistemas estudados, já que a microporosidade, de maneira geral, não diferiu entre os sistemas de uso e manejo (Tabela 3).

Os Argissolos Amarelos típicos de Tabuleiros Costeiros apresentam horizontes sub superficiais coesos (SANTANA et al., 2006; CORRÊA et al., 2008), consistência friável quando úmidos e, quando secos, consistência dura, muito dura ou extremamente dura (RIBEIRO, 2001), aumentando a resistência do solo à penetração e dificultando o rearranjo das partículas do solo na formação de agregados.

O uso agrícola desses solos causa mudança na morfologia dos horizontes superficiais com o desenvolvimento de um horizonte Ap (A plow), que pode apresentar perda de estrutura (SILVA et al., 1998; RIBEIRO, 2001). O ajuste face a face das argilas é outro fator de grande importância que resulta em aumento da densidade do solo e redução da porosidade e macroporosidade (FERREIRA et al., 1999a,b), principalmente devido à predominância de caulinita na fração argila desses solos, corroborando com Corrêa et al. (2008). Pela figura 3, verifica-se pelo difratograma de raios-X do Argissolo em estudo, a presença de caulinita na fração argila. Tais fenômenos dificultam a recuperação da estrutura do solo, principalmente no que diz respeito à agregação do solo, num manejo em curto espaço de tempo (5 anos). Portanto, percebe-se neste trabalho que a pedogênese, pelo maior tempo de atuação, provavelmente tenha exercido maior influência sobre os atributos físicos do solo do que o manejo empregado nos cafeeiros.

Schoenholtz et al. (2000) apontam a grande dificuldade de recuperação da estabilidade de agregados, podendo levar de 5 a 50 anos. A diferença não significativa dos resultados de DMG e DMP entre os cafeeiros arborizados e o café a pleno sol não corroboram com os dados de Silva et al. (2011) e D'Andreia et al. (2002), que encontraram maior agregação do solo em SAFs. Contudo, esses trabalhos foram realizados em SAFs de tempo superior a 10 e 12 anos, enquanto no presente trabalho os SAF's foram implantados há 5 anos, necessitando portanto de mais tempo para a melhoria da agregação do solo. Na comparação entre os cafeeiros arborizados (contrastes C3 e C4, Tabela 4), verifica-se que na profundidade 0,10-0,20 m o CN proporcionou maiores valores de DMG, DMP, IEA e macroagregados maiores, enquanto que na profundidade 0,20-0,40 m o CT apresentou desempenho superior quanto aos valores de DMG, DMP e IEA, evidenciando o efeito do manejo na estrutura do solo. Um dos fatores que pode ter diferenciado os cultivos consorciados são as raízes das espécies arbóreas em

consórcio, pois as raízes estimulam a agregação do solo, tanto pela promoção da população microbiana na rizosfera e pelo suprimento de resíduos orgânicos (SILVA & MIELNICZUK, 1997), como pela promoção à reorientação e aproximação dos microagregados pela sua expansão e remoção de água, fazendo com que ocorra coesão entre as partículas do solo (PALMEIRA et al., 1999), ocorrendo efeito diferente entre espécies, comprovado tal efeito por Perin et al. (2002) em leguminosas.

O contraste C1 da tabela 4 evidencia a redução da macroagregação nos agroecossistemas cafeeiros, possivelmente, devido à quebra mecânica dos agregados e à redução da matéria orgânica em decorrência do manejo do solo na área (CHEVALLIER et al., 2004; BHATTACHARYYA et al., 2009). O manejo também influenciou a microagregação, aumentando a proporção de microagregados nos cafeeiros em relação à floresta (contraste C1, tabela 4). Esse efeito deve-se, provavelmente, ao rompimento dos macroagregados em microagregados (VEZANNI & MIELNICZUK, 2011), bem como devido à redução da matéria orgânica associada aos minerais que, por meio das ligações organometálicas, é a principal responsável pela formação e estabilização dos microagregados (EDWARDS & BREMNER, 1967; TISDALL & OADES, 1982; DIEKOW et al., 2005).

Segundo Arshad et al. (1996), a RP pode ser restritiva ao crescimento das raízes quando variar de 2 a 4 MPa. Camargo & Alleoni (1997) concluem que 2,5 MPa é o limite crítico para o crescimento das raízes da maioria dos vegetais, sendo que, Souza & Alves (2003) sugerem valor crítico de 5 MPa para sistemas conservacionistas. Os maiores valores encontrados para RP nos cafeeiros consorciados foram superiores a 4,11 MPa, considerado já restritivo para cultivo, aumentando os valores de RP em profundidade, chegando a 9,5 MPa na profundidade 0,35-0,40 m (Figura 4 e Tabela 5). Tais valores de RP são semelhantes aos encontrados por Effgen et al. (2012) em cafeeiros no sul do Espírito Santo. O incremento da RP com o aumento da profundidade se deve à presença da camada coesa em sub-superfície nos Argissolos dos Tabuleiros Costeiros (SANTANA et al., 2006; CORRÊA et al., 2008). No entanto, deve-se considerar que a resistência à penetração possui relação com a umidade do solo (BUSSCHER et al., 1997; SILVEIRA et al., 2010), o que pode explicar os valores encontrados. Os maiores valores de umidade do solo foram encontrados no CS,

onde ocorreu menor RP, e a menor umidade do solo ocorreu na FL, em que houve a maior RP, com valores de até 12,72 MPa. Esse comportamento fica claro pela correlação significativa e negativa observada entre RP e umidade do solo RP ( $r=-0,596^*$ ), evidenciando o forte efeito que a umidade do solo exerce sobre a RP, indicando que a interpretação dos resultados de RP sem levar em consideração a umidade do solo fica comprometida. Outro fator de influencia o aumento da RP nos cafeeiros arborizados, é que nesses ambientes a densidade de raízes é alta e a evapotranspiração elevada diminuindo a umidade do solo.

Os valores de RP observados, segundo Camargo & Alleoni (1997), estão na amplitude de faixa da classe de resistência alta (5,1 a 10 MPa), em que há sérias limitações para o desenvolvimento das raízes, o que possivelmente está associado aos elevados valores de densidade do solo e baixos de porosidade (Tabela 3) e ao tipo de solo.

Nos cafeeiros, a umidade do solo é controlada e manejada pela prática da irrigação, a qual torna esses solos friáveis quando úmidos, com conseqüente diminuição da sua resistência à penetração (SILVA et al., 2011). No manejo dos cafeeiros, o sistema de irrigação é diferenciado entre cafeeiros consorciados (gotejamento) e a pleno sol (aspersão), ocorrendo molhamento maior e abundante no café a pleno sol enquanto que nos arborizados o gotejamento irriga somente a linha do cafeeiro.

Tem-se observado, em sistemas agroflorestais, incremento do teor de carbono orgânico e decréscimo nos valores de Ds e RP em relação às áreas preservadas consideradas sistemas de referência, como mostram os resultados obtidos por Silva et al. (2011) em Argissolo Amarelo de Prado-BA. No entanto, neste trabalho foi observado nos SAF's apenas a RP menor que a área de referência (FL) (Tabela 5). Comparando o café a pleno sol frente às áreas agroflorestais (CN, CT e CC) foi notado diminuição da Ds e melhor sistema poroso nos cafeeiros arborizados (Tabela 3).

## **5 CONCLUSÕES**

Há melhoria na qualidade física do solo pela adoção dos sistemas consorciados, entre tais sistemas o que se destaca é o CT, com melhor estrutura do solo seguido do CN.

Sistemas consorciados com espécies arbóreas com 5 anos de implantação no ambiente de tabuleiros costeiros não apresentam diferenças, ocorrendo tendência de melhoria dos atributos físicos do solo.

O sombreamento e proteção do solo ocasionada pelo consórcio dos cafeeiros com árvores influenciam a densidade do solo, a porosidade total e a macroporosidade do solo, não havendo diferença entre os cafeeiros sombreados, mas sendo superior ao café a pleno sol.

Os cafeeiros consorciados se diferenciam somente na agregação do solo. O solo sob café com Teca apresenta maiores valores de IEA, DMG e DMP na profundidade 0,20-0,40 m, mostrando-se mais estruturado. Na profundidade de 0,10-0,20 m, o café com Nim é superior, com maiores valores de DMG e DMP e, conseqüentemente, maiores proporções de agregados maiores.

A resistência do solo à penetração é influenciada pela umidade do solo, com destaque para o café a pleno sol que apresenta valores mais baixos desse atributo, em função da irrigação, que eleva a umidade do solo.

## 6 REFERÊNCIAS

- AGUIAR, M. I. de. **Qualidade física do solo em sistemas agroflorestais**. 2008. 79p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)- Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.
- ARSHAD, M. A.; LOWERY, B.; GROSSMAN, B. **Physical tests for monitoring soil quality**. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. (ed.). *Methods for assessing soil quality*. Madison: SSSA/ Special Publication, 1996. n.49, p.123-141.
- ASSIS, C.P. de; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E. de S.; NEVES, J.C.L. Carbono e nitrogênio em agregados de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n. 10, p. 1541-1550, out. 2006.
- BARBERA-CASTILLO, N.M. **Diversidad de especies de hormigas en sistemas agroforestales contrastantes de café**, em Turrialba, Costa Rica. 2001. 99p. Dissertação (Mestrado) – Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. **Dinâmica e função da matéria orgânica**. In: Santos, G.A.; Camargo, F.A.O. (Ed.). *Matéria orgânica do solo: fundamentos e caracterização*. Porto Alegre: Gênese, 1999. p.9-26.
- BERTOL, I. Propriedades físicas do solo relacionadas a diferentes níveis de oferta de forragem de capim-elefante-anão cv. Mott. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 5, p.1047-1054, 2000.
- BHATTACHARYYA, R.; PRAKASH, V.; KUNDU, S.; SRIVASTVA, A.K. & GUPTA, H.S. Soil aggregation and organic matter in a sandy clay loam soil of the Indian Himalayas under different tillage and crop regimes. **Agriculture, Ecosystems & Environment**., v.132, p.126-134, 2009.
- BRASIL. MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA – Secretaria Geral. Pedologia. Folhas SF.23/24-Rio de Janeiro/Vitória. Projeto RADAMBRASIL, 1983. p.385-552. (**Levantamento de Recursos Naturais**, v.32)
- BREMAN, H.; KESSLER, J. J. The potencial benefits of agroforestry in the Sahel and other semi – arid regions. **European Journal of Agronomy**, v.7, p.25-33, 1997.
- BUSSCHER, W.J.; BAUER, P.J.; CAMP, C.R. & SOJKA, R.E. Correction of cone index for soil water content differences in a coastal plain soil. **Soil Tillage Research**, v.43, p.205-217, 1997.
- CAMARGO, O.A. & ALLEONI, L.R.F. **Compactação do solo e o desenvolvimento de plantas**. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1997. 132p.

- CARVALHO, R.; GOEDERT, W. J.; ARMANDO, M. S. Atributos físicos da qualidade de um solo sob sistema agroflorestal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p.1153-1155, 2004.
- CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PADANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, n.3, p.527-538, 1998.
- CHEVALLIER, T.; BLANCHART, E.; ALBRECHT, A. & FELLER, C. The physical protection of soil organic carbon in aggregates : a mechanism of carbon storage in a Vertisol under pasture and market gardening (Martinique, West Indies). **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.103, p.375-387, 2004.
- CORRÊA, M.M.; KER, J.C.; BARRÓN, V.; TORRENT, J.; CURI, N.; TORRES, T.C.P. Caracterização física, química, mineralógica e micromorfológica de horizontes coesos e fragipãs de solos vermelhos e amarelos do ambiente Tabuleiros Costeiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 297-313, 2008.
- D'ANDRÉA, A.F.; SILVA, M.L.N, CURI, N.; FERREIRA, M.M. Atributos de agregação indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região dos cerrados no sul do estado de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 1047-1054, 2002.
- 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, ES: SEAG-ES, p.107-110, 1995.
- DIEKOW, J.; MIELNICZUK, J.; KNICKER, H.; BAYER, C.; DICK, D.P. & KÖGEL-KNABNER, I.K. Carbon and nitrogen stocks in physical fractions of a subtropical Acrisol as influenced by long-term no-till cropping systems and N fertilisation. **Plant Soil**, v.268, p.319-328, 2005.
- 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, n.3, p. 505- 517, 2004.
- EDWARDS, A.P. & BREMNER, J.M. Microaggregates in soils. **Journal of Soil Science**, v.18, p.64-73, 1967.
- EFFGEN, T. A. M.; PASSOS, R. R.; ANDRADE, F. V.; LIMA, J. S. de S.; REIS, E. F.; Borges, E. N. Propriedades físicas do solo em função de manejos em lavouras de cafeeiro conilon. **Revista Ceres**, v.59, n.3, p. 414-421, 2012.



EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2. ed. . Rio de Janeiro, 1997. 212p.. (EMBRAPA/CNPS-RJ. Documentos, 1).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Levantamento exploratório reconhecimento de solos do Espírito Santo**. Rio de Janeiro, 1978. 461p. (Boletim Técnico, 45)

FAO-Organizacion de Las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentacion. **Consulta de expertos sobre la avance de la agrofloresteria em zonas áridas y semiáridas da américa latina ey caribe**. Santiago, 1995, 152p. (Serie zonas Aridas y Semiaridas, n 1).

FERRÃO, G. R.; FERRÃO, M. A. G.; FONSECA, A. F. A.; LANI, J.A.; FERRÃO L. F.V. A **Cafeicultura no estado do Espirito Santo: Tecnologias e Desafios**. In: TOMAZ, M. A. et al. (Org.). *Tecnologias para a Sustentabilidade da Cafeicultura*. Alegre, ES: CCA-UFES, 2011. p. 19-50.

FERREIRA, M. M.; DIAS JUNIOR, M. S. **Roteiro de aulas práticas de física do solo**. Lavras: UFLA, 1996. 35p.

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**, v.23, p.515-524, 1999a.

FERREIRA, M.M.; FERNANDES, B. & CURI, N. Mineralogia da fração argila e estrutura de Latossolos da região Sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.507-514, 1999b.

FIGUEREDO, E. O. **Teca (*Tectona grandis*): Povoamentos florestais de alto valor de mercado**. Embrapa Acre, 2006. (Folder).

GREGORICH, E. G.; ELLERT, B. H. **Light fraction and macroorganic matter in mineral soils**. In: CARTER, M. R. (Ed.). *Soil sampling and methods of analysis*. Boca Raton: Lewis, 1993. p. 397-407.

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

KEMPER, W.D.; CHEPIL, W.S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C.A.; EVANS, D.D.; WHITE, J.L.; ESMINGER, L.E.; CLARK, F.E. (Eds.) **Methods of soil analysis – Physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling**. Madison: American Society of Agronomy, 1965. p.499-510.

- KIEHL, E.J. **Manual de edafologia: Relações solo-planta**. São Paulo: Ceres, 1979. 262p.
- LANI, J. A.; BRAGANÇA, S. M.; PREZOTTI, L. C.; GUARÇONI, A. M.; DADALTO, G. G. **Preparo, manejo e conservação do solo**. In: FERRÃO, R. G.; et al. (Ed.). *Café Conilon*. Vitória, ES: Incaper, p.281-295, 2007.
- LORENZI, H., SOUZA, H. M., TORRES, V. A. M., BACHER, L. B. **Árvores exóticas no Brasil: madeiras, ornamentais e aromáticas**. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 2003.
- MARCOLIN, C.D. **Propriedades físico-hídrico-mecânicas de solos sob plantio direto, na região de Passo Fundo-RS**. 2006. 92f. Dissertação (Mestrado) Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2006.
- MENDONÇA, E. S.; CARDOSO, I. M.; JUCKSCH, I.; FERNANDES, R. B. A.; GARCIA, R.V. **Fatores edáficos de cafezais arborizados: processo de aprendizado contínuo com agricultores familiares**. In: ZAMBOLIM, L.; CAIXETA, E. T.; ZAMBOLIM, E. M. (Org.). *Estratégias para produção de café com qualidade e sustentabilidade*. 1ed.Viçosa - MG: Suprema Gráfica e Editora LTDA, 2010, v.1, p. 63-84.
- MENEZES, J.M.T.; VAN LEEUWEN, J.; VALERI, S.V.; CRUZ, M.C.P.; LEANDRO, R.C. Comparação entre solos sob uso agroflorestal e em florestas remanescentes adjacentes, no norte de Rondônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 893-898, mar./abr. 2008.
- MUSCHLER, R.G. **Árboles en cafetales**. Turrialba, Costa Rica: Catie/ GTZ, 2000. 139p. (Módulo de enseñanza agroforestal, 5).
- NAIR, P. K. R. **An introduction to agroforestry**. Dordrecht: Kluwer, 1993. 499p.
- NEVES, B. P., OLIVEIRA, I. P., NOGUEIRA, J. C. M.. **Cultivo e Utilização do Nim indiano**. Embrapa Acre, 2003. (Circular técnica da Embrapa).
- OADES, J.M. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. **Plant Soil**, v.76, p.319-337, 1984.
- OLSZEWSKI, N.; COSTA, L. M.; FERNANDES FILHO, E. I.; RUIZ, H. A.; ALVARENGA, R. C. & Cruz, J. C. Morfologia de agregados do solo avaliada por meio de análise de imagens. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.901-909, 2004.
- PALMEIRA, P.R.T.; PAULETTO, E.A.; TEIXEIRA, C.F.A.; GOMES, A.S. & SILVA, J.B. Agregação de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.189-195, 1999.

PERIN, A.; GUERRA, J.G.M.; TEIXEIRA, M.G.; PEREIRA, M.G.; FONTANA, A. Efeito da cobertura viva com leguminosas herbáceas perenes na agregação de um argissolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.713-720, 2002.

PREZOTTI, L. C.; GOMES, J. A.; DADALTO, G. G; OLIVEIRA, J. A. de. **Manual de recomendação de calagem e adubação para o estado do Espírito Santo – 5a aproximação**. Vitória, ES. SEEA/INCAPER/CEDAGRO, 2007. 305p.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. R: **A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2011. Disponível <<http://www.R-project.org>> acesso em 06 set 2011.

RIBEIRO, M.R. Características morfológicas dos horizontes coesos dos solos de Tabuleiros Costeiros. In: Workshop Coesão em Solos dos Tabuleiros Costeiros, 2001, Aracaju. **Anais...** Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2001. p.161-168.

RUIZ, H. A. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte+argila). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.297-300, 2005.

SANCHEZ, P.A. Science in agroforestry. **Agroforestry Systems**, v.30, p.5-55, 1995.

SANTANA, M.B.; SOUZA, L.S.; SOUZA, L.D.; FONTES, L.E.F. Atributos físicos do solo e distribuição do sistema radicular de citros como indicadores de horizontes coesos em dois solos de tabuleiros costeiros do estado da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 1, p. 1-12, jan./fev. 2006.

SANTANA, M.B.; SOUZA, L.S.; SOUZA, L.D.; FONTES, L.E.F. Atributos físicos do solo e distribuição do sistema radicular de citros como indicadores de horizontes coesos em dois solos de tabuleiros costeiros do estado da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 1, p. 1-12, jan./fev. 2006.

SCHOENHOLTZ, S. H.; VAN MIEGROET, H.; BURGER, J. A. A review of chemical and physical properties as indicators of forest quality: challenges and opportunities. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 138, p. 335-356, 2000.

SILVA, A.J.N.; RIBEIRO, M.R.; MERMUT, A.R. & BENKE, M.B. Influência do cultivo contínuo da cana de açúcar em Latossolos Amarelos coesos do estado de Alagoas: propriedades micromorfológicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.515- 525, 1998.

SILVA, D. C. da.; SILVA, M. L. N.; CURTI, N.; OLIVEIRA, A. H. SOUZA, F. S. de.; MARTINS, S. G.; MACEDO, R. L. G. Atributos do solo em sistemas agroflorestais, cultivo convencional e floresta nativa. **Revista de Estudos Ambientais**, v.13, p.77-86, 2011.

- SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 20, p.113-117, 1997.
- SILVEIRA, D. de C.; MELO FILHO, J. F. de; SACRAMENTO, J. A. A. S. do; & SILVEIRA, E. C. P. Relação umidade versus resistência à penetração para um argissolo amarelo distrocoeso no recôncavo da bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.659-667, 2010.
- SOUZA, J. C. A. V.; BARROSO, D. G.; CARNEIRO, J. G. A. **Cedro australiano (*Toona ciliata*)**. Niterói: Programa Rio Rural, 2010. 12 p. (Programa Rio Rural. Manual Técnico 21).
- SOUZA, Z. M.; ALVES, M. C. Movimento de água e resistência à penetração em Latossolo Vermelho distrófico de cerrado, sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, p.18-23, 2003.
- STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmula de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.15, p.229-235, 1991.
- TISDALL, J.M. & OADES, J.M. Organic matter and waterstable aggregates in soils. **Journal of Soil Science**, v.33, p.141-163, 1982.
- TISDALL, J.M.; OADES, J.M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **Journal of Soil Science**, v.33, p.141-163, 1982.
- TISDALL, J.M.; OADES, J.M. Stabilization of soil aggregates by the root systems of ryegrass. **Australian Journal of Soil Research**, v.17, n.3, p.429-441, 1979.
- TOGNON, A. A. **Propriedades físico-hídricas do Latossolo Roxo da região de Guairá-SP sob diferentes sistemas de cultivo**. 1991. 85 f. Dissertação (Mestrado) Escola Superior de Agricultura de Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1991.
- TORMENA, C. A.; FRIEDRICH, R.; PINTRO, J. C.; COSTA, A. C. S.; FIDALSKI, J. Propriedades físicas e taxa de estratificação de carbono orgânico num Latossolo Vermelho após dez anos sob dois sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, núm. 6, 2004, p. 1023-1031
- 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**, v.22, p.573-581, 1998.
- VEZZANI, F. M. & MIELNICZUK, J. Agregação e estoque de carbono em argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.213-223, 2011.

WENDLING, B.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E.S. & NEVES, J.C.L. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, p.487-494, 2005.

YODER, R.E. A direct method of aggregate analysis of soil and a study of the physical nature of erosion losses. **Journal of the American Society of Agronomy**, v.28, p.337-351, 1936.

YOUNG, A. **Agroforestry for soil management**. 2nd ed. Nairobi: CAB Internacional, 1997. 320p.

## 1 CONCLUSÕES GERAIS

Os sistemas de uso e manejo apresentam comportamento diferenciado para os atributos químicos, os componentes da matéria orgânica e os atributos físicos do solo avaliados.

As condições químicas dos solos cultivados com cafeeiros são superiores ao solo sob floresta, devido à fertilização química do solo. Contudo, o solo florestal apresenta maiores teores e estoques de carbono orgânico total e nitrogênio total, além de maior teor de carbono na biomassa microbiana, decorrente do maior aporte orgânico e manutenção das condições naturais.

Os solos sob cafeeiros consorciados se mostram superiores ao cafeeiro a pleno sol para os seguintes atributos do solo: Mg, N, C ext, C-BMS, qMic, Porosidade total e Map, apresentando maiores valores; e para os atributos Ds e qCO<sub>2</sub>, apresenta valores inferiores.

A emissão de C-CO<sub>2</sub> dos sistemas é fortemente influenciada pela temperatura e umidade do solo. Contudo fatores bióticos devem ter maior influência sobre as emissões, acarretando a diferenciação entre os sistemas estudados. O  $\theta_s$  possivelmente influencia a respiração do solo, influenciando na translocação de O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub> no solo.

A proteção do solo ocasionada pelo sombreamento das árvores e a deposição de serapilheira proporcionam melhoria nas propriedades dos solos sob cultivo arborizado, favorecendo um maior equilíbrio e melhoria nos atributos do solo nos cafeeiros arborizados.

Entre os consórcios agroflorestais, o café com Teca seguido do café com Nim se destacam para grande parte dos atributos do solo avaliados.

Sistemas consorciados com espécies arbóreas com 5 anos de implantação em ambiente de tabuleiros costeiros não apresentam diferenças, ocorrendo tendência de melhoria para maioria dos atributos. No entanto, atributos do solo de maior sensibilidade, como os biológicos, são suficientes para representar mudanças mais consistentes dos sistemas de uso e manejo.

## 2 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ficou claro neste trabalho, numa condição *ex post facto*, a potencialidade na utilização de consórcios agroflorestais que promovem melhorias nos atributos do solo. É importante destacar que apesar do curto tempo de estabelecimento dos sistemas, cinco anos, verificaram-se melhorias consistentes, nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo.

Torna-se necessário então um tempo maior de observação e pesquisa para verificação de fenômenos mais evidentes que possivelmente ocorrerão em sistemas agroflorestais, como estruturação do solo e dinâmica da matéria orgânica.

Além da melhor qualidade do solo, destaca-se a melhor qualidade ambiental das propriedades rurais, segurança alimentar e social dos produtores e condições mais adequadas aos trabalhadores. A diversidade da economia do produtor rural, trazendo segurança econômica com renda diversa, como o produto das espécies arbóreas em consórcio.

Pesquisadores e profissionais da área agrônoma reconhecem a importância e os benefícios no manejo de agroecossistemas com sistemas conservacionistas como os sistemas agroflorestais. Por que então não orientar agricultores, principalmente de base familiar, para a diversificação e consórcio de cultivos? Por que muitos agricultores insistem em práticas que depauperam e degradam os solos? As informações apresentadas evidenciam que o manejo agroflorestal proporciona melhorias no solo em relação ao monocultivo, apesar do curto tempo de instalação. Há também necessidade de implantação de princípios e técnicas de cultivo mais sustentáveis e adequadas para os agroecossistemas atuais.

## **ANEXO 1 – Descrição do perfil do solo**

### **Descrição Geral**

IDENTIFICAÇÃO DO PERFIL – **ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso típico**

DATA – 01/05/2012.

MUNICÍPIO – Nova Venécia – ES.

COORDENADAS GEOGRÁFICAS: 40° 33' 17,70" W, 18° 23' 40,92" S.

COBERTURA VEGETAL – Floresta.

ALTITUDE – 250 metros.

MATERIAL ORIGINÁRIO – granito.

PEDREGOSIDADE – ausente.

ROCHOSIDADE – ausente.

RELEVO REGIONAL – suave ondulado.

RELEVO LOCAL – ondulado a suave ondulado.

EROSÃO – ausente.

DRENAGEM – bem drenado.

USO ATUAL – floresta.

DESCRITO POR: Lucas C. Pilon, Huezer V. Sperandio e Diego L. Burak.

### **Descrição Morfológica**

A1 0 – 6 cm; cor (10YR 4/2 úmido; 7,5YR 5/2 seco); textura franco argilo arenoso, estrutura moderada a forte, média a grande em blocos subangulares; consistência dura (seca), muito friável a firme (úmida) e não plástico e ligeiramente pegajoso (molhado), transição gradual e plana.

A2 6 - 13 cm; cor (10YR 3/3 úmido; 10YR 5/2 seco); textura argila arenosa, estrutura moderada, média em blocos subangulares; consistência dura, muito friável a friável, não plástico e ligeiramente pegajoso; transição plana clara e plana.

A3 13 – 23 cm; cor (10YR 4/4 úmido; 10YR 5/4 seco); textura argila arenosa, estrutura moderada, média a grande em blocos subangulares; consistência dura, friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana.

Bt1 23 – 35 cm; cor (10YR 4/6 úmido; 10YR 6/6 seco); textura argila arenosa, aspecto maciço coeso que desfaz em estrutura moderada, média a grande em blocos subangulares; consistência dura a muito dura, friável, muito plástico e pegajoso; transição plana clara.



Bt2 35 – 47 cm; cor (10YR 4/6 úmido; 10YR 5/8 seco); textura argilosa, estrutura moderada, média a grande em blocos subangulares; consistência dura a muito dura, muito friável, muito plástico e muito pegajoso; transição gradual e plana.

Bt3 47 – 71+ cm; cor (10YR 4/6 úmido; 10YR 5/8 seco); textura muito argilosa, estrutura moderada, média a grande em blocos subangulares; consistência dura a muito dura, muito friável, muito plástico e muito pegajoso; transição difusa e plana.

**Tabela 1** - Caracterização granulométrica do perfil de um ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso típico, Nova Venécia-ES

Horizontes	Símbolo	Profundidade	Fração granulométrica			
			Areia grossa (2,0-0,21 mm)	Areia fina (0,2-0,05 mm)	Silte (0,05- 0,002 mm)	Argila (<0,002 mm)
A1		0 – 6 cm	60,4	8,7	1,5	29,4
A2		6 - 13 cm	49,1	9,0	5,5	36,4
A3		13 – 23 cm	46,9	8,8	2,8	41,5
B1		23 – 35 cm	36,9	9,0	2,3	51,9
B2		35 – 47 cm	26,3	7,8	7,6	58,3
B3		47 – 71+ cm	25,3	7,3	2,7	64,8

**Tabela 2** - Caracterização química do perfil de um ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso típico, Nova Venécia-ES

Símbolo	Profundidade	----- Bases trocáveis -----					
		pH	P	K	Na	Ca	Mg
		----- mg dm <sup>-3</sup> -----			cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>		
A1	0 – 6 cm	5,4	1,61	21	0	0,86	0,32
A2	6 - 13 cm	4,9	2,41	22	0	0,71	0,33
A3	13 – 23 cm	4,9	1,45	12	0	0,45	0,26
B1	23 – 35 cm	4,9	1,77	6	0	0,36	0,21
B2	35 – 47 cm	4,9	0,88	3	0	0,34	0,1
B3	47 – 71+ cm	5,0	0,08	0	0	0,37	0,07

		Al	H+Al	SB	t	T	V
		----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----					%
A1	0 – 6 cm	0,3	2,89	1,24	1,54	4,13	30,02
A2	6 - 13 cm	0,75	4,04	1,10	1,85	5,15	21,43
A3	13 – 23 cm	0,65	3,47	0,74	1,39	4,21	17,69
B1	23 – 35 cm	0,8	3,8	0,58	1,38	4,38	13,3
B2	35 – 47 cm	0,9	3,38	0,44	1,34	3,82	11,51
B3	47 – 71+ cm	3,0	3,30	0,44	3,44	3,74	11,71

pH em água (relação 1:2,5); P e K disponível (Mehlich 1); Ca, Mg e alumínio trocáveis (extração por KCl) e H+Al (extração por acetato de cálcio); H+Al = (Lamostra-Lbranco)x1,65; SB = (K/390+Na/230+Ca+Mg); T = SB+(H+Al); t = SB+Al; V = SB/T\*100; e m = Al/t\*100.



**Figura 1** - Fotos da área experimental, Nova Venécia – ES. A = café consorciado com Teca; B = café consorciado com Cedro; C = café consorciado com Nim; D = café a pleno sol; E = Área Florestal; e F = perfil descrito, ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso típico, Nova Venécia – ES.