

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

ANNA CAROLYNA FERNANDES FERREIRA

**IMPACTO DO USO DO SOLO E ALTITUDE SOB A DINÂMICA DO  
CARBONO E FÓSFORO NO BIOMA MATA ATLÂNTICA**

ALEGRE - ES

2017

ANNA CAROLYNA FERNANDES FERREIRA

**IMPACTO DO USO DO SOLO E ALTITUDE SOB A DINÂMICA DO  
CARBONO E FÓSFORO NO BIOMA MATA ATLÂNTICA**

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

Orientador: Prof. Dsc. Felipe Vaz Andrade

ALEGRE - ES

2017

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)

(Biblioteca Setorial de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

---

Ferreira, Anna Carolyna Fernandes, 1991-

F383i      Impacto do uso do solo e altitude sob a dinâmica do carbono e fósforo no bioma Mata Atlântica / Anna Carolyna Fernandes Ferreira. – 2017.

85 f. : il.

Orientador: Felipe Vaz Andrade.

Coorientador: Eduardo de Sá Mendonça.

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

1. Solos – Fertilidade. 2. Biomassa florestal. 3. Solos – Teor de fósforo. 4. Pastagem. I. Andrade, Felipe Vaz. II. Mendonça, Eduardo de Sá. III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias e Engenharias. IV. Título.

CDU: 63

---

**ANNA CAROLYNA FERNANDES FERREIRA**

**IMPACTO DA ALTITUDE E USO DO SOLO SOB A DINÂMICA DO CARBONO E  
FÓSFORO NO BIOMA MATA ATLÂNTICA**

Dissertação apresentada a Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal, na linha de pesquisa Solos e Nutrição de Plantas.

Aprovada em 24/ 02/ 17.

**COMISSÃO EXAMINADORA**

---

Prof. Dsc. Felipe Vaz Andrade

Centro de Ciências Agrárias e Engenharias/UFES

Orientador

---

Prof. PhD. Eduardo de Sá Mendonça

Centro de Ciências Agrárias e Engenharias/UFES

(Coorientador)

---

Prof. Dsc. Renato Ribeiro Passos

Centro de Ciências Agrárias e Engenharias/UFES

---

Dr. Paulo Roberto da Rocha Júnior

UFES

## **DEDICO**

A Deus;

Aos meus pais, Maury e Lílian, pelo exemplo de vida e por nunca permitirem que eu desistisse dos meus sonhos;

Aos meus irmãos, Gabriel e Miguel, pela alegria constante.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por cuidar tão bem de mim e por sempre proporcionar a realização dos meus sonhos;

Aos meus pais, Maury e Líllian, por nunca medirem esforços para subsidiarem meus sonhos e por sempre me apoiarem nas decisões;

A Universidade Federal do Espírito Santo, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, pela oportunidade de realização deste curso;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e tecnológico (CNPq), pelo financiamento da bolsa;

Ao professor e orientador Felipe Vaz Andrade pela confiança e dedicação aos ensinamentos que contribuíram para meu treinamento;

Aos professores Eduardo de Sá Mendonça e Renato Ribeiro Passos, pela amizade, ensinamentos e colaborações prestadas para a elaboração deste trabalho;

Aos colegas de trabalho Joicy, Marlete, Fabiano, Amanda e Celcino pela grande ajuda nas análises laboratoriais desse trabalho;

Aos “irmãos de orientação” Eduardo Stauffer, Paulo Roberto e Ramires Ventura pelo apoio constante, ideias e por toda a ajuda prestada na parte de execução e escrita desse trabalho;

Ao professor Adésio Ferreira e ao colega José Henrique pela grande ajuda com as análises estatísticas;

Aos amigos Jaqueline Pego, Anarely Alvarenga, Ariany Teixeira, Sara Brinati, Abel Fonseca, Jéssica Loss, Gercino Ferreira, Abel Fonseca, Thaíse Rubim e tantos outros, pela convivência e amizade;

Às amigadas antigas, pelo incentivo constante;

Aos funcionários do Centro de Ciências Agrárias da UFES, em especial aos que atuam no Laboratório de Física e Química do Solo;

Por fim, agradeço a todos aqueles que, de um modo ou de outro, contribuíram para a realização deste trabalho.

# IMPACTO DO USO DO SOLO E ALTITUDE SOB A DINÂMICA DO CARBONO E FÓSFORO NO BIOMA MATA ATLÂNTICA

## Sumário

INTRODUÇÃO GERAL .....	12
<b>CAPÍTULO 1- Fertilidade do solo e estoques de carbono e nitrogênio sob diferentes usos do solo e altitudes na região altimontana da Floresta Atlântica .....</b>	<b>12</b>
1. INTRODUÇÃO .....	14
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	15
2.1 Áreas de estudo .....	15
2.2 Coleta e Caracterização dos solos .....	18
2.3 Carbono orgânico total, Nitrogênio total e Estoques de C e N .....	18
2.4 Análises Estatísticas .....	19
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	19
4. CONCLUSÃO .....	34
<b>CAPÍTULO 2- Impacto do uso do solo e altitude sobre a biomassa microbiana ...</b>	<b>42</b>
1. INTRODUÇÃO .....	44
2.1 Áreas de estudo .....	45
2.2 Delineamento experimental para coleta e caracterização dos solos .....	48
2.3 Caracterização do C, P e N da Biomassa Microbiana .....	50
2.4 CO <sub>2</sub> mineralizado .....	50
REFERÊNCIAS .....	59
<b>CAPÍTULO 3- Frações de fósforo sob diferentes usos do solo e altitudes .....</b>	<b>66</b>
1. INTRODUÇÃO .....	68
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	69
2.1 Áreas de estudo .....	69
2.2 Coleta e Caracterização dos solos .....	72
2.3 Fracionamento de fósforo .....	73
2.4 Análises estatísticas .....	73
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	74
4. CONCLUSÃO .....	80
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	80

## RESUMO GERAL

FERREIRA, ANNA CAROLYNA FERNANDES. Universidade Federal do Espírito Santo. Fevereiro de 2017. **Impacto do uso do solo e altitude sob a dinâmica do carbono e fósforo no bioma Mata Atlântica.** Orientador: DSc. Felipe Vaz Andrade. Coorientador: PhD. Eduardo de Sá Mendonça.

O estudo da dinâmica da matéria orgânica do solo (MOS) e nutrientes afetada por diferentes usos do solo é essencial para a compreensão dos efeitos das atividades agrícolas no ambiente. Objetivou-se com esse estudo avaliar os estoques de carbono (EC), de nitrogênio (EN), a atividade da biomassa microbiana (BM) e a dinâmica de fósforo (P) sob diferentes usos do solo e altitudes. Para tal, este trabalho foi dividido em três capítulos. O primeiro capítulo teve como objetivo avaliar a fertilidade do solo, os EC e EN em diferentes usos do solo em altitudes distintas. Para tanto, foram coletadas amostras de solo na camada de 0,00- 0,10 e 0,10-0,20 m de profundidade em quatro sistemas de uso do solo, sendo um sistema agroflorestal (SAF), floresta secundária (FS), pastagem (PAS) e eucalipto (EUC), situados em dois distritos com altitudes distintas (100 e 700 m) pertencentes ao município de Alegre- ES, no mês de fevereiro de 2016. Foram realizadas análises dos atributos químicos de EC e EN a partir da terra fina seca ao ar (TFSA) e, de maneira geral, os sistemas que visam a conservação da MOS sobre o solo (conservacionistas) apresentaram melhores resultados do que os sistemas de cultivo convencionais (monocultivos), fato que pode estar relacionado à maior ciclagem biogeoquímica da MOS, resultando do maior aporte. O segundo capítulo visou quantificar a BM e sua atividade em usos do solo sob diferentes altitudes, a partir de amostras de solo da camada de 0,00- 0,10 m acondicionadas em BOD ( $\pm 4^{\circ}$  C). Os sistemas conservacionistas apresentaram maior atividade da BM em relação aos sistemas convencionais, indicando a relação positiva entre o aporte de MOS e a atividade microbiana. O terceiro capítulo objetivou estudar a dinâmica do P em classes de agregados do solo sob influência dos sistemas de uso e altitudes. Para tanto, foi realizado fracionamento de fósforo nas diferentes classes de agregados estudadas. Verificou-se que as frações moderadamente lábeis e de labilidade restrita (PML e PLR) predominaram nas classes de agregados com exceção da de menor diâmetro, onde predominaram as frações lábeis (PL). Além disso, as classes de agregados de menor



diâmetro apresentaram maiores teores de P total do que as de maior diâmetro, fato que pode estar associado aos maiores teores de carbono (C) e à maior área superficial específica dessas classes.

**Palavras-chave:** fertilidade do solo, biomassa microbiana, fracionamento de fósforo, pastagem

## GENERAL ABSTRACT

FERREIRA, ANNA CAROLYNA FERNANDES. Federal University of Espírito Santo. February of 2017. **Impact of soil use and altitude on the dynamics of carbon and phosphorus in the Atlantic Forest biome.** Advisor: Dr. Sc. Felipe Vaz Andrade. Co-advisor: PhD. Sc. Eduardo de Sá Mendonça.

The study of the dynamics of soil organic matter (SOM) and nutrients affected by different soil uses is essential for understanding the effects of agricultural activities on the environment. The objective of this study was to evaluate stock carbon (EC), nitrogen (EN), microbial biomass (BM) and phosphorus (P) dynamics under different soil uses and altitudes. For this, this work was divided in three chapters. The first chapter aimed to evaluate soil fertility, EC and EN in different soil uses at different altitudes. For this, soil samples were collected in two layers 0,00-0,10 m and 0,10-0,20 m depth in four soil use systems, being an agroforestry system (SAF), secondary forest (FS), pasture (PAS) and eucalyptus (EUC), located in two districts with distinct altitudes (100 and 700 m) belonging to the municipality of Alegre-ES, in February 2016. It was realized chemical analyzes of EC and EN using for this samples of fine particles of air-dried soil (TFSA), and, in general, systems that aim to conserve MOS on the ground (conservationist) presented better results than conventional cultivation systems (monoculture), this a fact may be related to the Biogeochemical cycling of MOS, resulting from the greater contribution. The second chapter aimed to quantify BM and its activity in soil uses under different altitudes, from soil samples of the layer 0.00-0.10 m depth conditioned in BOD ( $\pm 4^\circ \text{C}$ ). The conservationist systems presented greater activity of the BM in relation to the conventional systems, indicating the positive relation between the contribution of MOS and the microbial activity. The third chapter aimed to study the dynamics of P in classes of soil aggregates under the influence of the systems of use and altitudes. For that, phosphorus fractionation was carried out in the different classes of aggregates studied. It was verified that the moderately labile fractions and restricted lability (PML and PLR) predominated in the classes of aggregates with the exception of the smaller diameter, where the labile fractions predominated. In addition, the classes of smaller diameter aggregates had higher total P contents than the larger diameter ones, which may be

associated with the higher carbon content (C) and the higher specific surface area of these classes.

**Key words:** soil fertility, microbial biomass, phosphorus fractionation, pasture

## INTRODUÇÃO GERAL

De maneira geral, a introdução de sistemas agrícolas em substituição aos sistemas nativos, tem causado alterações nas propriedades químicas e biológicas do solo, as quais são dependentes das condições do solo, do clima, do uso adotado e das práticas de manejo. Essas alterações podem potencializar mudanças ambientais severas, como o aumento da concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico, causando problemas ambientais (Lal et al., 2004).

Solos agrícolas com baixos teores de carbono (C) podem se tornar dreno deste elemento através de práticas que criem um balanço positivo de C no sistema. Nesse contexto, destacam-se os sistemas conservacionistas, como por exemplo os sistemas agroflorestais (SAF), que contribuem para o aumento dos estoques de carbono (EC) e nitrogênio (EN) do solo (Campanha et al., 2007), além da melhoria da disponibilidade de nutrientes como o fósforo (P), resultante da variabilidade de componentes arbóreos nesses sistemas e maior deposição de matéria orgânica do solo (MOS) (Rita et al., 2013). Souza et al. (2009) discutem que em SAF, o aporte de MOS é diferente em relação aos monocultivos e, dessa maneira, podem ser observados diferentes EC e nutrientes no solo.

Diversos fatores afetam o acúmulo de MOS, sendo que o clima, a temperatura, o manejo e o regime hídrico são os principais controladores da entrada de C no sistema (Davidson e Janssens, 2006). Lima (2008) observou que a altitude e a temperatura média anual em plantios de eucalipto influenciaram diretamente no EC do solo, fato que pode ser atribuído às maiores taxas de decomposição da MOS.

Estudos vem sendo realizados objetivando relacionar a influência do conteúdo MOS na disponibilidade de nutrientes, principalmente no que diz respeito ao fósforo (P) (Andrade et al., 2003), um dos nutrientes mais limitantes ao desenvolvimento das culturas nas regiões tropicais.

Pereira et al. (2010) verificaram que a adoção de sistemas de manejo que contemplem a elevação dos teores de MOS, proporcionam melhor aproveitamento do uso de P pelas culturas. Resultados semelhantes foram verificados por Frazão et al. (2008). Busato et al. (2005), verificaram que a manutenção da MOS nas áreas de cultivo alteraram a distribuição das formas de P no solo, com diminuição da participação das

formas não lábeis e, conseqüente, aumento das formas pouco lábeis e lábeis. Cunha et al. (2007) observaram maiores teores de P lábil em solos sob coberturas florestais do que em solos sob pastagem.

Viero (2015), avaliando o efeito dos sistemas de manejo sobre os atributos químicos do solo, observou maiores teores de P disponível em sistema conservacionista cerca de duas vezes superior ao observado em monocultivos. Ainda segundo o mesmo autor, esse resultado pode estar relacionado ao maior aporte de resíduos do sistema conservacionista em relação monocultivo.

Sendo assim, estudos a respeito da dinâmica da MOS e nutrientes nos diferentes usos do solo em altitudes distintas são essenciais para a compreensão dos efeitos que as alterações nas formas de uso da terra podem causar no ambiente. Dessa forma, objetivou-se com esse estudo avaliar os EC, EN, a atividade da biomassa microbiana e a dinâmica de P sob diferentes usos do solo e altitudes.

## REFERÊNCIAS

- Andrade FV, Mendonça ES, Alvarez VVH, Novais RF. Adição de ácidos orgânicos e húmicos em Latossolos e adsorção de fosfato. *R. Bras. Ci. Solo.* 2003; 27:1003-1011.
- Campanha MM, Santos RHS, Freitas GBD, Martinez HEP, Jaramillo-Botero C, Garcia SL. Análise comparativa das características da serrapilheira e do solo em cafezais (*Coffea arabica* L.) cultivados em sistema agroflorestal e em monocultura, na Zona da Mata, MG. *Rev Árv.* 2007;31:805-12.
- Davidson EA, Janssens IA. Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change. *Nature.* 2006; 440, 165-73.
- Fração LA, Pícolo MC, Feigl BJ, Cerri CC, Cerri CEP. Propriedades químicas de um Neossolo Quartzarênico sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado mato-grossense. *Pesqui Agropec. Bras.* 2008; 43:641-48.
- Lal R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science.* 2004; 304:1623-27.
- Lima AMN, Silva ID, Neves JCL, Novais RD, Barros ND, Mendonça ES, Demolinari MSM, Leite FP. Frações da matéria orgânica do solo após três décadas de cultivo de eucalipto no Vale do Rio Doce-MG.
- Pereira MG, Loss A, Beutler SJ, Torres JLSC. Matéria orgânica leve e P remanescente em diferentes sistemas de manejo do solo. *Pesq. agropec. bras.* 2010; 45 (5): 508-514,
- Rheinheimer DS, Cassol PC, Kaminski J, Anghinoni I. Fósforo orgânico do solo. In: Santos GA, Silva LS, Canellas LP, Camargo FAO. Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicais, 2. ed. rev. e atual. Porto Alegre: Metrópole, 2008;101-109.
- Rita JCDO, Gama-Rodrigues AC, Gama-Rodrigues EF, Zaia FC, Nunes DAD. Mineralization of organic phosphorus in soil size fractions under different vegetation covers in the north of Rio de Janeiro. *R. Bras. Ci. Solo.* 2013; 37(5), 1207-1215.

Viero F. Características químicas e indicadores de qualidade de solos em sistemas conservacionistas de manejo de longa duração. Tese de doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 94 p. (2015).

## CAPÍTULO 1

### FERTILIDADE DO SOLO, ESTOQUES DE CARBONO E NITROGÊNIO SOB DIFERENTES USOS DO SOLO E ALTITUDES NA REGIÃO ALTIMONTANA DA FLORESTA ATLÂNTICA

#### RESUMO

A dinâmica do carbono (C) e de nutrientes nos sistemas agrícolas e florestais está diretamente relacionada com as formas de uso do solo. Além disso, alterações nas formas de uso do solo tem influência direta em atributos químicos e físicos do solo. Objetivou-se com esse estudo avaliar o efeito de diferentes sistemas de uso do solo e altitudes nos atributos químicos e estoques de C (EC) e nitrogênio (EN). Foram coletadas amostras de solo na camada de 0,00- 0,10 e 0,10- 0,20 m de profundidade em quatro sistemas de uso do solo, sendo um sistema agroflorestal (SAF), floresta secundária (FS), pastagem (PAS) e eucalipto (EUC), situados em dois distritos com altitudes distintas (100 e 700 m) pertencentes ao município de Alegre- ES. Os resultados foram avaliados através de análise de variância e estatística multivariada por meio da análise de componentes principais e agrupamento por distância euclidiana. Os sistemas conservacionistas de uso do solo (SAF e FS) apresentaram melhoria nos atributos químicos (pH, P, K, Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup>, Al<sup>+3</sup>, H<sup>+</sup> Al, COT, NT, CTC efetiva e saturação por bases), EC e EN em relação aos monocultivos (PAS e EUC). Em ambas as altitudes, houve o agrupamento dos sistemas entre conservacionistas e monocultivos em função das variáveis estudadas.

**Palavras-chave:** sistemas agroflorestais, análise multivariada, pastagem, eucalipto.



## CHAPTER 1

### SOIL FERTILITY AND NITROGEN AND CARBON STOCKS UNDER DIFFERENT USES OF SOIL AND ALTITUDES IN THE ALTIMONTAN REGION OF THE ATLANTIC FOREST

#### ABSTRACT

The dynamics of carbon (C) and nutrients in agricultural and forestry systems is directly related to the forms of land use. In addition, changes in the forms of land use have a direct influence on soil chemical and physical attributes. The objective of this study was to evaluate the effect of different soil use systems and altitudes on the chemical attributes and stocks of C (EC) and nitrogen (EN). Soil samples were collected in two layers 0,00-0,10 and 0,10-0,20 m depth in four soil use systems, being an agroforestry system (SAF), secondary forest (FS), pasture (PAS) and eucalyptus (EUC), located in two districts with distinct altitudes (100 and 700 m) belonging to the municipality of Alegre-ES. The results were evaluated through analysis of variance and multivariate statistics through principal component analysis and Euclidean distance grouping. The soil conservation systems (SAF and FS) presented improvement in chemical attributes (pH, P, K, Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup>, Al<sup>+3</sup>, H<sup>+</sup> Al, COT, NT, CTC, NT, effective CTC and base saturation) , EC and EN in relation to monocultures (PAS and EUC). At both altitudes, the systems were grouped between conservationists and monocultures according to the studied variables.

**Keywords:** agroforestry systems, multivariate analysis, pasture, eucalyptus.

## 1. INTRODUÇÃO

As mudanças no uso da terra devido à substituição de áreas com vegetação nativa por áreas de cultivo agrícola promovem alterações nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo. Essas alterações podem resultar em degradação do solo e perdas de produtividade nos sistemas (Ferreira, 2007), além de potencializar mudanças ambientais como o aumento da concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico, contribuindo com alterações climáticas em escala global (Barré et al., 2017).

Mudanças nas formas de uso do solo tem influência direta em atributos como a densidade do solo, capacidade de troca de cátions (CTC), soma de bases, saturação por alumínio, teor de nutrientes, assim como o estoque de carbono (EC) e nitrogênio (EN) (Melloni et al., 2008). Embora muitos estudos a respeito deste tema venham sendo conduzidos (Gama-Rodrigues et al., 2010; Gatto et al. 2010), dados relacionados ao comportamento das propriedades químicas, assim como os estoques de C e N com relação à cobertura vegetal ainda são contraditórios. Araújo et al. (2007) estudando os atributos do solo sob diferentes usos e manejos, verificaram maior CTC para o sistema com vegetação nativa (11,12 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), seguida da pastagem, monocultivo de pinus e monocultivo (10,12; 8,21 e 7,40 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, respectivamente).

Sistemas conservacionistas, como os sistemas agroflorestais (SAF), contribuem para melhoria da disponibilidade de nutrientes, EC e EN do solo, resultante da variabilidade de componentes arbóreos nesses sistemas e maior deposição de matéria orgânica do solo (MOS) (Campanha et al., 2007). Brandão (2013), avaliando a fertilidade do solo sob diferentes usos, observou maiores teores de bases trocáveis no SAF, comparando-se ao solo de vegetação nativa. Iwata et al. (2012) obtiveram maiores valores de pH em áreas sob SAF em relação às áreas sob vegetação natural e monocultivo.

Corazza et al. (1999) observaram maiores EC na camada de 0-20 cm de profundidade em eucalipto e pastagem (39,77; 44,87 e 42,87 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente) e os menores para áreas de culturas agrícolas anuais (36,51 a 37,34 Mg ha<sup>-1</sup>). Estudando os EC e EN em diferentes usos do solo, Wang et al. (2016) verificaram maiores EN em área de reflorestamento com pinus (3,19 Mg ha<sup>-1</sup>), em relação à floresta secundária (2,97 Mg ha<sup>-1</sup>) e monocultivo (1,64 Mg ha<sup>-1</sup>). Resultados semelhantes foram

encontrados por Silva et al. (2007) e Rangel e Silva (2007) indicando que áreas com monocultivo e menor aporte de resíduos apresentaram menores EC e EN.

Diversos fatores afetam o acúmulo de MOS e, conseqüentemente, o EC no solo, sendo que o clima, a temperatura, o manejo e o regime hídrico são os principais controladores da entrada de carbono (C) no sistema (Davidson e Janssens, 2006). No bioma Mata Atlântica, pequenas diferenças de altitudes induzem grandes diferenças nos atributos do solo, principalmente ao que diz respeito aos químicos, físicos e biológicos (Yimer et al. 2006; Machado et al. 2016). Lima (2008) observou que em solos de menor altitude e maior temperatura média anual em plantios de eucalipto, apresentaram menores EC (30 Mg ha<sup>-1</sup>) quando comparado aos de maior altitude (36 Mg ha<sup>-1</sup>), fato que pode ser atribuído às maiores taxas de decomposição da MOS.

Dessa forma, estudos a respeito da dinâmica do C e de nutrientes no solo são essenciais para a compreensão dos efeitos que as alterações nas condições ambientais, assim como uso e manejo, podem causar (Paz, 2011). Sendo assim, objetivou-se nesse estudo avaliar o efeito da altitude e usos do solo sobre a fertilidade, EC e EN do solo.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Áreas de estudo**

O estudo foi realizado em amostras de Argissolos em duas regiões com altitudes distintas pertencentes ao município de Alegre, sul do estado do Espírito Santo (Figura 1). A região pertence à microrregião do Caparaó, com predominância de Latossolos e Argissolos Vermelho Amarelo (Mesquita, 2011) com área de abrangência do bioma Mata Atlântica. A região apresenta altitude variando de 119 a 1.227 metros e declividade do relevo variando de plano a escarpado, com predominância de relevo forte ondulado (Mesquita, 2011). As coletas de solo foram realizadas em duas altitudes: 100m (altitude 1) localizada no distrito de Rive (20° 44' 01.4 "S; 41° 25' 52.6" W) e 700 m (altitude 2) distrito de Lagoa Seca (20° 51' 32.2" S; 41° 27' 34.4" W).

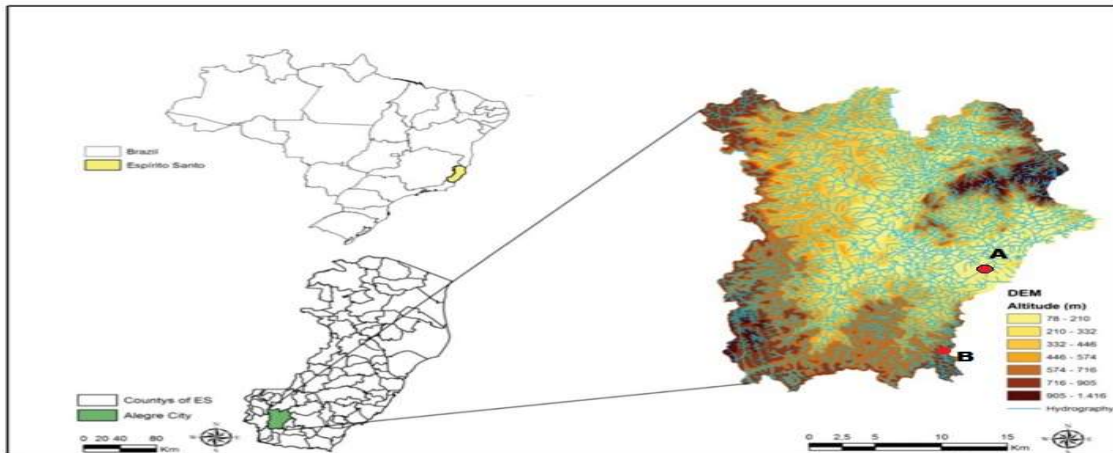


Figura 1 - Localização do município de Alegre, Espírito Santo, onde A é a altitude 1 (Rive) e B a altitude 2 (Lagoa Seca) em Alegre, Espírito Santo.

Devido às características do relevo, o município pode ser dividido em dois climas principais (Pinto, 2016). Para as altitudes superiores a 600 m o clima é predominantemente Cwa, subtropical úmido, com temperatura do mês mais frio inferior a 18° C, e do mês mais quente superior a 22° C. Para as cotas inferiores, o clima é tropical de monções Am, com 23° C de temperatura média, segundo Köppen-Geiger. A precipitação média está entre 1.300 e 1.500 mm, concentrada entre os meses de novembro e março (60 a 70 % do total), com verão quente e chuvoso e inverno seco (Figura 2).

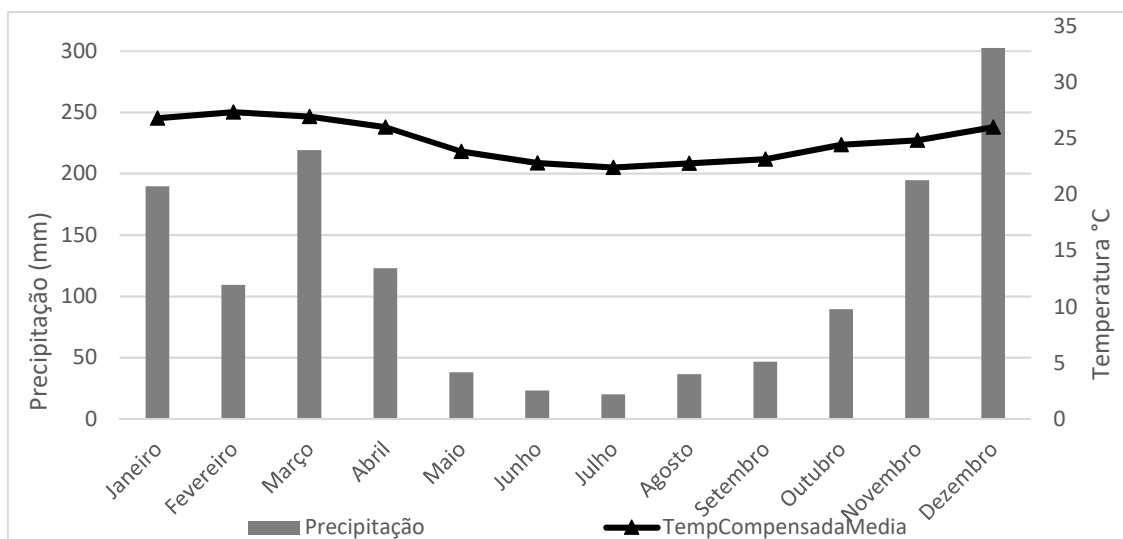


Figura 2- Precipitação média (mm) para o município de Alegre- ES para o ano de 2016. Fonte: Estação de superfície automática do município de Alegre – INMET.

Os sistemas de uso do solo utilizados, em ambas as altitudes, consistiram em uma floresta secundária (FS), sistema agroflorestal (SAF), pastagem (PAS) e eucalipto (EUC).

De maneira geral, a vegetação que compõe a FS é classificada como Floresta Estacional Semidecidual (Probio, 2004). Este ecossistema caracteriza-se por apresentar duas estações climáticas definidas, o período de chuvas e o período de seca, o qual condiciona uma estacionalidade foliar dos elementos arbóreos dominantes, a qual 20 a 50 % dos indivíduos perdem as folhas em função da deficiência hídrica e de baixas temperaturas (Ururahy et al., 1983; IBGE, 2012). É caracterizada pela ocorrência de indivíduos dominantes como *Piptadenia* sp. (angico), *Cariniana* sp. (jequitibá), *Ocotea* sp. e *Nectandra* sp. (canelas) e *Lecythis* sp. (sapucaia) (Ururahy et al. 1983), tendo sofrido interferência antrópica há cerca de 20 anos, com extrações de madeira de lei para venda e uso local por produtores e moradores da região.

O SAF da altitude 1, é constituído por café (*Coffea canephora*) em consórcio com cedro (*Cedrella fissilis*), com 9 anos em espaçamento 2,5 x 1,0 m. Foram realizadas podas da espécie florestal nos primeiros anos e, posteriormente, implantado o café. Não foi realizada nenhum tipo de adubação mineral, correção de acidez do solo ou controle de pragas e doenças.

Já o SAF da altitude 2 é constituído pelo consórcio de café (*Coffea arabica* L.) e ingá (*Inga sessilis*) implantado há 11 anos em uma área de 1,5 ha anteriormente ocupada com pastagem. Após os dois primeiros anos, o agricultor realizou poda das espécies florestais. Nesse mesmo período, foi implantada a cultura do café no espaçamento de 2,5 x 1,2 m (entre linhas e plantas, respectivamente). Ao longo dos anos, o manejo de plantas espontâneas foi conduzido com capinas. O agricultor realizava calagem e adubação com formulado 20-05-20 (N-P-K) no início do período chuvoso, mediante análise de solo. Nos ingazeiros é feito o manejo de poda para permitir que parte da luz solar chegue aos cafeeiros. O controle de pragas e doenças não é feito na lavoura.

As PAS, em ambas as altitudes, com aproximadamente 9 anos, foram implantadas com Braquiária (*Brachiaria decumbens*) em um local de derrubada de mata nativa. Os sistemas nunca sofreram renovação, com baixa cobertura do solo durante a estação seca e que se renova durante o período chuvoso. O manejo de plantas espontâneas é feito por roçada manual e não são utilizados herbicida, calcário ou fertilizante nesse sistema nas duas altitudes.

O EUC da altitude 1 é caracterizado pelo plantio de *Eucalyptus grandis* em espaçamento 3 x 3 m implantado há aproximadamente 5 anos, ao passo que o EUC da altitude 2 é composto por *Corymbia citriodora* (Hook) K.D. & L.A.S Johnson (Eucalipto), com 9 anos de idade em espaçamento 3 x 2 m implantado em área anteriormente ocupada por mata nativa. Em ambos os sistemas foi realizada apenas adubação de plantio com formulado N-P-K.

## 2.2 Coleta e caracterização dos solos

Foram coletadas amostras de solo, em triplicatas, nos quatro sistemas em estudo (FS, SAF, EUC e PAS) e em duas altitudes (altitude 1 – 100 m; altitude 2 – 700m), nas profundidades de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m no mês de fevereiro/2016. As amostras foram coletadas na mesma face de exposição solar para todos os sistemas estudados.

As amostras foram secas ao ar e passadas em peneira de 2,0 mm, obtendo a terra fina seca ao ar (TFSA) utilizada nas análises químicas (pH, P, K, Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup>, Al<sup>+3</sup>, H<sup>+</sup> Al, COT, NT, CTC efetiva e saturação por bases) e físicas (densidade do solo e análise granulométrica) realizadas de acordo com a EMBRAPA (2011). Para determinação da densidade do solo foram coletadas três amostras indeformadas de solo com auxílio de anel volumétrico em ambas as profundidades.

## 2.3 Carbono orgânico total, nitrogênio total e estoques de C e N

Para determinação dos teores de carbono orgânico total (COT), foi empregada solução de dicromato de potássio em meio ácido, com fonte externa de calor (Yoemans e Bremmer 1988). Para avaliação do estoque do EC, foi considerado o C estocado nas camadas de solo até 20 cm de profundidade, de acordo com a seguinte expressão:

$$EC = (C \times DS \times P) \times 10$$

em que:

EC = estoque de C do solo (Mg ha<sup>-1</sup>);

C = teor de COT (g kg<sup>-1</sup>);

DS = densidade do solo (g cm<sup>-3</sup>);

p = profundidade da camada do solo (cm).

O nitrogênio total (NT) foi determinado pela digestão do solo com ácido sulfúrico e água oxigenada, seguida de destilação a vapor (Kjeldahl) de acordo com Tedesco et al. (2005). Para avaliação do EN, foi considerado o NT estocado nas camadas de solo até 20 cm de profundidade:

$$EN = (NT \times Ds \times p) \times 10$$

em que :

EN= estoque de N total do solo ( $Mg \text{ ha}^{-1}$ );

NT= teor de N total ( $dag \text{ kg}^{-1}$ )

DS = densidade do solo ( $g \text{ cm}^{-3}$ );

p = profundidade da camada do solo (cm).

## **2.4 Análises Estatísticas**

Foram calculadas as médias e o desvio padrão dos atributos químicos do solo que, posteriormente, foram submetidos à análise de variância utilizando o programa SISVAR (Ferreira, 2008). A significância dos resultados foi testada pelo teste F, a 5 % de probabilidade. Para explorar tendências gerais entre as variáveis e os usos do solo nas diferentes altitudes e profundidades foi realizada a análise de componentes principais.

Foi realizada ainda a análise de agrupamento por método hierárquico, segundo o método proposto por Sneath e Sokal (1973) com os atributos químicos, EC e EN. Para viabilizar a comparação entre os sistemas frente ao conjunto de variáveis envolvidas, foi feita uma análise multivariada, por meio da técnica de análise de conglomerados, pela distância mínima (método de Ward). A medida de similaridade usada para diferenciar as formas de manejo foi a distância euclidiana por meio do programa GENES (Cruz, 1998).

## **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **3.1. Atributos químicos do solo**

Considerando os valores de pH (Tabelas 1 e 2), o SAF apresentou acidez fraca em ambas as altitudes e profundidades, ao passo que os demais sistemas de uso (FS, PAS e EUC) apresentaram acidez média e elevada segundo Álvarez et al. (1999).

No SAF, sistema que recebe aporte contínuo de MOS (Breman e Kessler, 1997), esta pode ter contribuído para essa classificação. Elevações do pH em resposta à adição de MOS ao solo são comumente verificadas em decorrência da complexação dos  $H^+$  e  $Al^{+3}$  livres com compostos orgânicos aniônicos dos resíduos (Pavinato, 2008). A MOS promove alterações nas cargas do solo em função de fatores diretos e indiretos, dentre os quais pode-se citar a adsorção de ácidos orgânicos pelos colóides minerais aumentando as cargas negativas do solo (Benites e Mendonça 1998).

Iwata et al. (2012) quantificando valores de pH em diferentes usos do solo, verificaram valores de pH 6,10 em áreas sob SAF, de 5,02 em áreas sob vegetação natural e de 4,80 sob monocultivo, discutindo que esses resultados podem estar relacionados com a maior disponibilidade de MOS nesses sistemas

Os resultados de saturação por bases (V %) foram classificados como baixo e muito baixo na FS, PAS e EUC e médios para o SAF, em ambas altitudes e profundidades (Tabelas 1 e 2), de acordo com Alvarez et al. (1999). No SAF, o manejo de poda pode ter favorecido o aporte de MOS e, conseqüentemente, a ciclagem de nutrientes, justificando os resultados encontrados. Campanha et al. (2007) apontam que SAF com a cultura do café apresenta aporte de nutrientes da serapilheira suficientes para sustentar uma lavoura em produção.

Maia et al. (2006) verificaram teores de bases trocáveis similares em SAF e o tratamento controle (vegetação nativa), enquanto os menores teores foram verificados em monocultivo. Segundo os mesmos autores esses resultados podem ser atribuídos ao contínuo aporte de resíduos orgânicos no SAF, contribuindo para maior eficiência na ciclagem de nutrientes. Trabalhos como os de Nair et al. (1999) e Franzel et al. (2001) evidenciam o potencial dos SAF na ciclagem de nutrientes

Jakelaitis et al. (2008) verificaram que para o K disponível, os maiores valores foram encontrados em ambiente natural ( $227,25 \text{ mg dm}^{-3}$ ), seguido das áreas com cultivos anuais ( $117,25$  e  $90,50 \text{ mg dm}^{-3}$ ), e os menores níveis observados nas pastagens ( $64,25$  e  $54,50 \text{ mg dm}^{-3}$ ); inferindo que mudanças no uso do solo promovem alterações na dinâmica desse nutriente. Comportamento análogo ao K foram verificados para o Ca e Mg.



Tabela 1- Atributos químicos do solo coletado nas profundidades de 0,00-0,10 m nas duas altitudes para cada sistema de uso em estudo (SAF, FS, PAS e EUC) na região sul do estado do Espírito Santo

Atributos <sup>1</sup>	SAF	FS	PAS	EUC	SAF	FS	PAS	EUC	Media geral	D.P. <sup>12</sup>	F <sup>13</sup>
	Altitude 1				Altitude 2						
Areia (%) <sup>1</sup>	36,95	52,92	44,53	48,39	71,18	59,62	48,48	54,98	-	-	-
Silte (%) <sup>1</sup>	33,00	23,61	27,43	3,25	8,08	10,95	5,20	5,20	-	-	-
Argila (%) <sup>1</sup>	30,05	23,47	28,04	48,36	20,74	29,43	39,82	39,82	-	-	-
Ds (kg dm <sup>-3</sup> ) <sup>2</sup>	1,07	1,27	1,21	1,03	1,21	1,03	1,25	1,31	-	-	-
pH (H <sub>2</sub> O) <sup>3</sup>	6,66	4,73	5,44	5,50	6,88	4,75	4,83	4,95	5,47	0,86	ns
P (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>4</sup>	2,20	1,68	0,57	0,67	1,63	1,04	0,76	0,79	1,17	0,59	ns
K (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>5</sup>	157,37	52,75	39,26	65,91	244,86	57,69	29,06	25,12	84,00	77,22	**
Ca <sup>+2</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>3</sup> ) <sup>6</sup>	1,11	1,27	1,17	2,03	3,45	1,70	0,70	0,34	1,47	0,96	**
Mg <sup>+2</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>3</sup> ) <sup>6</sup>	0,77	0,67	0,52	1,27	0,93	0,61	0,10	0,27	0,64	0,37	**
Al <sup>+3</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>3</sup> ) <sup>6</sup>	0	0,26	0,10	0,03	0	1,02	0,89	0,99	0,41	0,47	**
H+Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>3</sup> ) <sup>7</sup>	3,04	7,06	4,67	4,73	3,72	8,91	7,50	7,66	5,91	2,13	ns
COT (dag kg <sup>-1</sup> ) <sup>8</sup>	2,01	2,68	0,59	0,98	1,53	2,36	1,18	1,43	-	-	-
NT (dag kg <sup>-1</sup> ) <sup>9</sup>	0,18	0,20	0,11	0,16	0,11	0,20	0,14	0,11	-	-	-
t <sup>10</sup>	2,29	2,34	1,89	3,5	5,01	3,48	1,77	1,66	-	-	**
V (%) <sup>11</sup>	42,92	22,72	27,70	42,34	57,36	21,64	10,49	8,08	-	-	**

<sup>1</sup>Método da pipeta (Agitação lenta) (Almeida et al., 2012). <sup>2</sup>Método Anel Volumétrico (Embrapa, 1997). <sup>3</sup>pH em água (relação 1:2,5); <sup>4</sup>extrator Mehlich-1 e determinação por colorimetria. <sup>5</sup>extração Mehlich-1 e determinação por fotometria de chama; <sup>6</sup>extração com cloreto de potássio 1 mol L<sup>-1</sup> e titulação; <sup>7</sup>extração com acetato de cálcio 0,5 mol L<sup>-1</sup>, pH 7,0 e titulação;(EMBRAPA, 1997); <sup>8</sup>oxidação via úmida com dicromato de potássio em meio sulfúrico (Yeomans e Bremner, 1988); <sup>9</sup>determinado pela digestão do solo com ácido sulfúrico e água oxigenada, seguida de destilação a vapor (Kjeldahl) (Tedesco et al., 2005); <sup>10</sup>CTC efetiva; <sup>11</sup>satuação de bases, <sup>12</sup>Desvio padrão da média, <sup>13</sup>teste F.

Tabela 2- Atributos químicos do solo coletado nas profundidades de 0,10-0,20 m nas duas altitudes para cada sistema de uso em estudo (SAF, FS, PAS e EUC) na região sul do estado do Espírito Santo

Atributos <sup>1</sup>	SAF	FS	PAS	EUC	SAF	FS	PAS	EUC	Media geral	D.P. <sup>12</sup>	F <sup>13</sup>
	<b>Altitude 1</b>				<b>Altitude 2</b>						
Areia (%) <sup>1</sup>	32,74	46,53	38,72	42,36	72,54	56,32	51,71	56,90	-	-	-
Silte (%) <sup>1</sup>	30,60	23,97	28,27	3,22	7,18	9,84	5,56	4,42	-	-	-
Argila (%) <sup>1</sup>	36,67	29,50	33,01	54,41	20,28	33,85	42,73	38,68	-	-	-
Ds (kg dm <sup>-3</sup> ) <sup>2</sup>	1,02	1,22	1,10	1,19	1,10	1,19	1,60	1,08	-	-	-
pH (H <sub>2</sub> O) <sup>3</sup>	6,30	4,66	5,12	4,95	6,28	4,66	4,87	5,09	5,24	0,67	ns
P (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>4</sup>	2,20	1,44	0,44	0,83	2,47	0,85	0,50	0,54	1,16	0,79	ns
K (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>5</sup>	156,06	44,86	32,68	57,36	285,03	60,32	23,80	20,51	85,08	91,56	**
Ca <sup>+2</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>3</sup> ) <sup>6</sup>	1,34	0,66	0,67	0,98	3,36	1,62	0,66	0,32	1,20	0,97	**
Mg <sup>+2</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>6</sup>	0,62	0,59	0,34	0,62	1,59	0,48	0,08	0,09	0,55	0,47	**
Al <sup>+3</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>6</sup>	0	0,46	0,16	0	0	1,25	0,96	1,02	0,48	0,52	**
H+Al(cmol <sub>c</sub> dm <sup>3</sup> ) <sup>7</sup>	2,50	6,74	4,73	4,02	4,27	8,91	7,61	7,20	5,75	2,18	ns
COT (dag kg <sup>-1</sup> ) <sup>8</sup>	1,67	1,70	1,02	1,00	1,44	1,63	1,64	1,30	-	-	-
NT (dag kg <sup>-1</sup> ) <sup>9</sup>	0,17	0,17	0,10	0,14	0,10	0,16	0,14	0,11	-	-	-
t <sup>10</sup>	2,36	1,82	1,26	1,74	5,68	3,51	1,75	1,49			**
V (%) <sup>11</sup>	48,58	16,81	18,75	30,25	57,10	20,20	9,51	6,10			**

<sup>1</sup>Método da pipeta (Agitação lenta) (Almeida et al., 2012). <sup>2</sup>Método Anel Volumétrico (Embrapa, 1997). <sup>3</sup>pH em água (relação 1:2,5); <sup>4</sup>extrator Mehlich-1 e determinação por colorimetria, <sup>5</sup>extração Mehlich-1 e determinação por fotometria de chama; <sup>6</sup>extração com cloreto de potássio 1 mol L<sup>-1</sup> e titulação; <sup>7</sup>extração com acetato de cálcio 0,5 mol L<sup>-1</sup>, pH 7,0 e titulação;(EMBRAPA, 1997); <sup>8</sup>oxidação via úmida com dicromato de potássio em meio sulfúrico (Yeomans e Bremner, 1988); <sup>9</sup>determinado pela digestão do solo com ácido sulfúrico e água oxigenada, seguida de destilação a vapor (Kjeldahl) (Tedesco et al., 2005); <sup>10</sup>CTC efetiva; <sup>11</sup>saturação de bases, <sup>12</sup>Desvio padrão da média, <sup>13</sup>teste F.

De maneira geral, os teores de  $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{Mg}^{+2}$  no solo variaram entre médio e baixo para os sistemas SAF, FS, PAS e EUC, com exceção do SAF na altitude 2 que foi classificado como bom (Tabelas 1 e 2) (Alvarez et al., 1999). Este resultado pode ser justificado pelas práticas agrícolas (calagem) realizada pelo agricultor. Além disso, o aumento da altitude em conjunto com a maior deposição de MOS pelo sistema podem favorecer a ciclagem de nutrientes.

Corroborando aos resultados encontrados para o SAF da altitude 2, Lima et al. (2008) discutem que são comuns maiores níveis de bases trocáveis em SAF ( $> 4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  para o  $\text{Ca}^{+2}$  e  $> 1,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  para o  $\text{Mg}^{+2}$ ) em relação aos demais sistemas de uso do solo, resultante da maior atividade decompositora realizada pela biomassa microbiana (BM) que este ambiente propicia. Além disso, o maior aporte de serapilheira condicionado pelo componente arbóreo e a ausência de revolvimento do solo no SAF pode ter contribuído para melhores condições para os microrganismos responsáveis pela decomposição dos resíduos e ciclagem de nutrientes (Cunha et al. 2012).

Em relação aos valores de acidez potencial ( $\text{H}+\text{Al}$ ) na altitude 1, todos os sistemas foram classificados com acidez média, com exceção para a FS que foi classificada como alta (Tabelas 1 e 2). Já na altitude 2 todos os sistemas foram classificados com acidez alta, exceto o SAF, apresentando acidez media (Alvarez et al. 1999). Observa-se um padrão de maiores teores de  $\text{Al}^{+3}$  com o aumento da acidez potencial e diminuição do pH.

Considerando os valores de COT (Tabela 1), os teores médios e bons ( $2,68$  a  $1,44 \text{ dag kg}^{-1}$ ) foram verificados nos sistemas conservacionistas (SAF e FS) e teores baixos nos monocultivos ( $1,54$  a  $0,59 \text{ dag kg}^{-1}$ ), de acordo com Alvarez et al. (1999). Silva et al. (2007), estudando os atributos químicos e físicos de solos sob diferentes coberturas florestais, verificaram maiores teores de COT em sistema conservacionista (mata;  $59 \text{ g dm}^{-3}$ ) em relação aos monocultivos ( $31,25$  e  $14,25 \text{ g dm}^{-3}$ ). Resultados semelhantes foram encontrados por, Rangel e Silva (2007), Salton et al. (2011) e Stevenson et al. (2016).

Os teores de P nos sistemas de uso do solo, variaram de  $2,47 \text{ mg dm}^{-3}$  no SAF a  $0,50 \text{ mg dm}^{-3}$  na PAS (Tabelas 1 e 2). Teores mais elevados de P em sistemas conservacionistas possivelmente estão relacionados com os maiores teores de COT encontrados nos mesmos. Dentre os fatores que condicionam a disponibilidade de P em decorrência do aporte de MOS ao solo, destaca-se a liberação de ácidos orgânicos oriundos de sua mineralização, que são adsorvidos com alta energia à fase mineral do solo (adsorção específica). Esses compostos competem com os sítios de adsorção de P, principalmente nos óxidos de Fe e Al (Pavinato e Rosolem, 2008); ou promovem a

complexação de elementos como Fe, Al e Ca, reduzindo a ligação deles com P, evitando a formação de compostos insolúveis (Sample et al., 1980).

Esses resultados são corroborados por Frazão et al. (2008) que verificaram maiores teores de P ( $20 \text{ mg dm}^{-3}$ ) em sistema conservacionista em relação à vegetação nativa ( $11,2 \text{ mg dm}^{-3}$ ), que pode estar relacionado ao não revolvimento do solo e favorecimento das formas orgânicas deste elemento. Lima et al. (2011) verificaram teores de P sob solo do SAF seis e sete vezes maiores que solos sob vegetação nativa e monocultivo, respectivamente, indicando a eficiência do manejo com SAF na ciclagem do P, considerando a baixa disponibilidade desse elemento nos solos da região.

### 3.1.2. Análise multivariada

Na análise multivariada de componentes principais para os atributos químicos do solo, os componentes PC1, PC2 e PC3 explicaram até 89 % na profundidade 0,0-0,10 m e 95 % na profundidade 0,10-0,20 m das funções discriminantes geradas respectivamente. Com exceção da variável P, na profundidade de 0,0-0,10 m e das variáveis Al e H+Al na profundidade 0,10-0,20 m, todos os demais atributos do solo estudados em as ambas profundidades apresentaram correlação com os componentes principais com valores acima de 0,7 (Tabela 3). Este resultado demonstra que os atributos e profundidades escolhidos explicam em grande parte a variabilidade das diferentes áreas estudadas.

Na profundidade 0,00-0,10 m houve alta correlação negativa entre o CP1 e as variáveis V %, t e K. O mesmo comportamento foi observado para a profundidade 0,10-0,20 m com a inclusão da variável P. O segundo componente principal (CP2) teve maior correlação com a H+Al na profundidade de 0,10-0,20.

Tabela 3. Análise de componentes principais dos atributos químicos de um Latossolo Vermelho Amarelo em quatro sistemas de manejo (mata, SAF's, pastagem e eucalipto), duas altitudes (100m e 700 m) em duas profundidades (0,00-0,10 e 0,10-0,20 cm)

	PC <sub>1</sub>	PC <sub>2</sub>	PC <sub>3</sub>	PC <sub>4</sub>	PC <sub>5</sub>
	<b>0,00- 0,10 m</b>				
<b>Componentes da variância</b>					

Autovalores	8.62	1.94	1.05	0.94	0.41
Variância total (%)	66.34	14.93	8.04	7.22	3.12
Variância acumulada %	66.34	81.27	89.31	96.53	99.64
<b>Variáveis</b>	<b>Correlação com os componentes principais</b>				
pH	-0.88	0.15	-0.41	-0.08	0.14
Ca <sup>+2</sup>	-0.84	-0.39	0.28	-0.22	0.12
Mg <sup>+2</sup>	-0.75	0.13	0.37	-0.33	-0.40
Al <sup>+3</sup>	0.81	-0.55	-0.19	-0.03	-0.04
H+Al	0.80	-0.54	0.20	0.11	-0.13
P	-0.62	-0.05	-0.34	0.61	-0.35
K	-0.93	-0.22	-0.29	0.05	0.09
t	-0.92	-0.37	-0.09	-0.09	0.05
V %	-0.98	0.11	-0.10	-0.08	-0.07
<b>0,10- 0,20 m</b>					
<b>Componentes da variância</b>					
Autovalores	8.83	2.43	1.12	0.36	0.18
Variância total (%)	67.92	18.70	8.61	2.75	1.35
Variância acumulada %	67.92	86.62	95.23	97.98	99.32
<b>Variáveis</b>	<b>Correlação com os componentes principais</b>				
pH	-0.86	0.15	-0.34	-0.32	-0.17
Ca <sup>+2</sup>	-0.89	-0.39	0.11	0.12	-0.12
Mg <sup>+2</sup>	-0.94	-0.15	0.17	0.23	0.09
Al <sup>+3</sup>	0.68	-0.70	-0.07	-0.15	0.01
H+Al	0.66	-0.73	0.19	0.02	0.07
P	-0.91	-0.02	0.00	-0.26	0.32
K	-0.98	-0.16	-0.04	-0.06	-0.05
t	-0.94	-0.35	0.02	0.00	-0.05
V %	-0.96	0.18	-0.06	-0.06	0.05

De acordo com Regazzi (2000), é desejável que a variância cumulativa nos dois primeiros componentes principais exceda 70-80 %, o que foi verificado no presente estudo.

A análise multivariada do conjunto de dados de análise química (pH, P, K, Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup>, Al<sup>+3</sup>, H<sup>+</sup> Al, t e V %) gerou o dendrograma (Figura 3), o qual indica a divisão em grupos de amostras, com maior ou menor distância euclidiana, indicando maior ou menor similaridade.

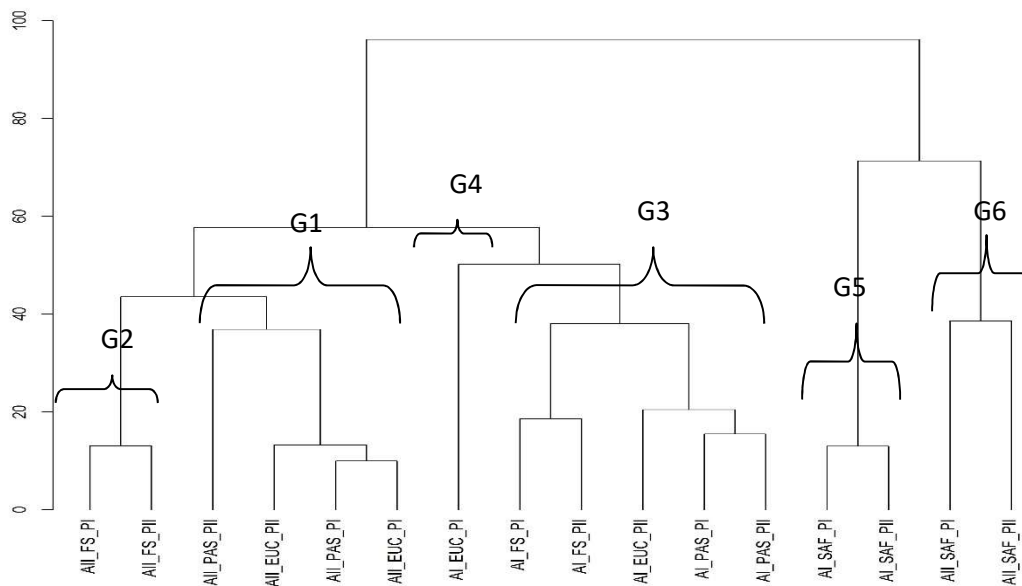


Figura 3- Agrupamento pela variância mínima e distância euclidiana utilizando a análise multivariada para o conjunto de dados da análise química (pH, P, K,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Al}^{+3}$ ,  $\text{H}^+$  Al, t e V %) das amostras estudadas, nas camadas de 0-0,1 e 0,1-0,2 m, duas altitudes e diferentes sistemas de uso em estudo (SAF, FS, PAS e EUC). AI e AII: altitude 1 e 2, respectivamente, PI e PII profundidade 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m, respectivamente.

As análises de agrupamentos aplicada aos atributos químicos do solo indicam a separação pelo fator altitude e sistema de uso, evidenciando a separação de dois grupos para o sistema SAF (G5 e G6), um grupo para a FS (G2) e dois grupos para a PAS e EUC (G1 e G3), indicando melhoria dos atributos químicos do solo nos sistemas conservacionistas. Iawata et al. (2012) verificaram maiores valores de CTC em SAF em relação a vegetação nativa e monocultivo (22,19; 7,88 e 9,25  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ , respectivamente) e discutem que esses resultados possivelmente estão relacionados com o maior aporte de MOS por esses sistemas, favorecendo a complexação dos cátions  $\text{H}^+$  e  $\text{Al}^{+3}$  livres.

Na Figura 3 é apresentado o agrupamento dos monocultivos (G1 e G3) em ambas as altitudes e profundidades, não havendo diferenças dentro dos grupos. Devido ao baixo aporte de MOS em monocultivos, estes tendem a apresentar ciclagem de nutrientes menos eficientes e menor disponibilização dos mesmos às culturas. Alvarenga et al. (1999) corroborando os resultados encontrados neste estudo, observaram que ecossistemas que não receberam adubação e/ou constante aporte MOS apresentaram propriedades químicas desfavoráveis em relação à vegetação nativa, sendo esses efeitos mais evidentes para o C,  $\text{Ca}^{+2}$ , K disponível, V %,  $\text{Al}^{+3}$  e saturação por  $\text{Al}^{+3}$ .

### 3.2 Estoques de Carbono e Nitrogênio

Visualiza-se nas Figuras 4 e 5 os resultados dos EC e EN dos diferentes sistemas de uso do solo, nas duas altitudes e profundidades. A análise multivariada do conjunto de dados dos estoques e dos teores de COT e NT gerou o dendrograma (Figura 6).

Nessa divisão, nota-se o agrupamento dos monocultivos (G2), em ambas as altitudes e profundidades, e agrupamento dos sistemas conservacionistas (G1, G3 e G4), havendo diferenças entre eles (Figura 6). Dentre os sistemas avaliados, o SAF foi o que apresentou maiores índices de similaridade se comparado à FS (Tabelas 1 e 2), resultado que sugere que o maior aporte e conservação da MOS nesses sistemas favoreceu os EC e EN.

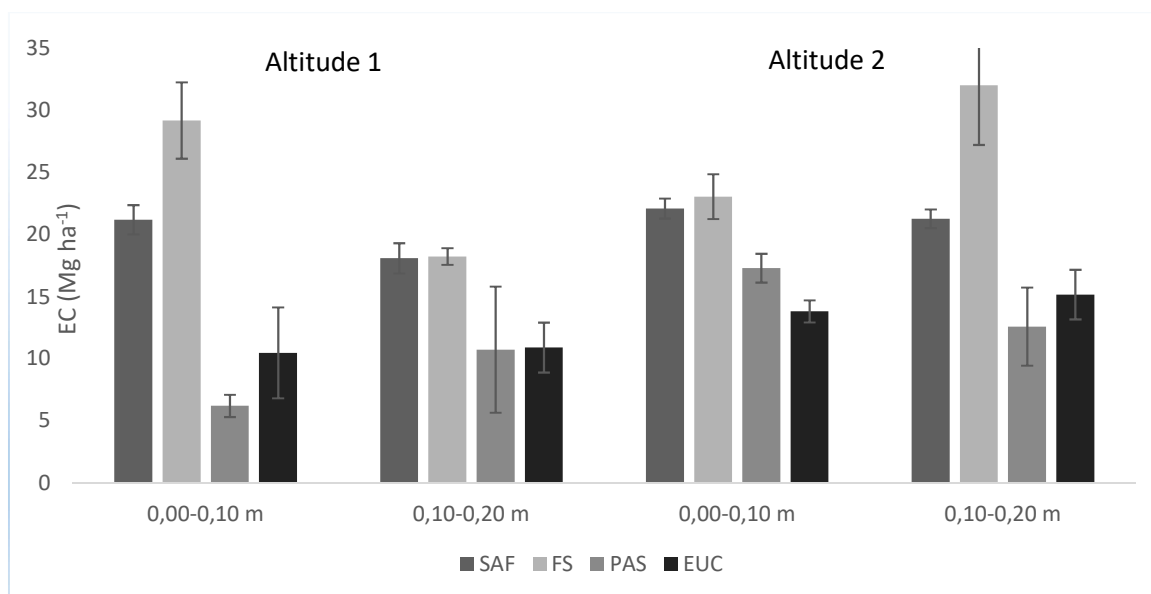


Figura 4- Estoques de C nas profundidades de 0,00-0,10; 0,10-0,20 m nas duas altitudes para cada sistema de uso em estudo (SAF, FS, PAS e EUC) na região sul do estado do Espírito Santo.

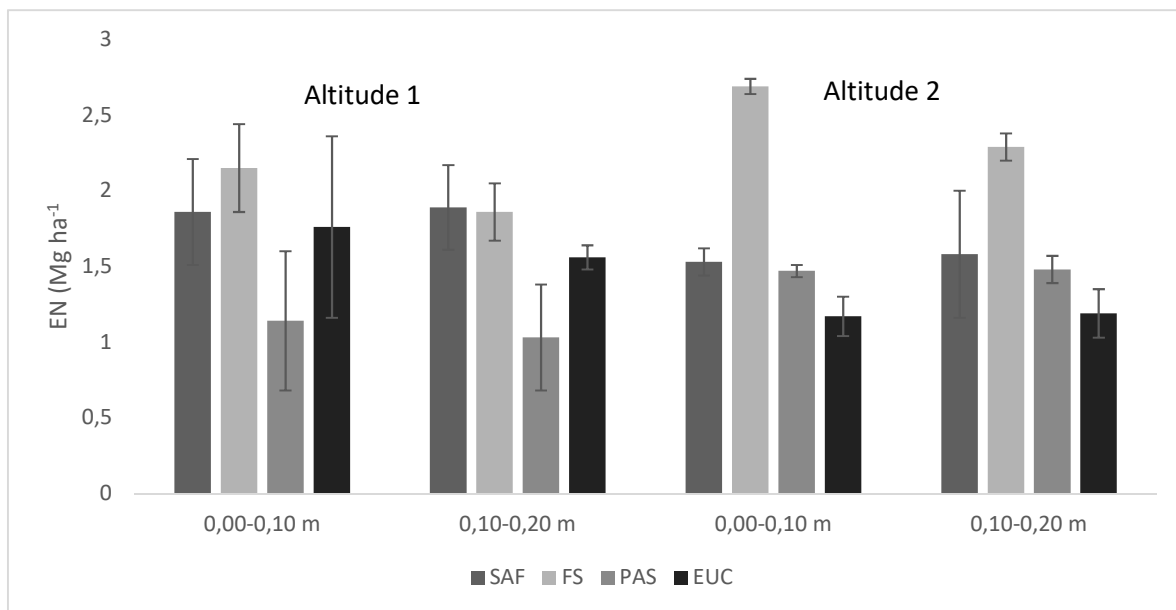


Figura 5- Estoques de N nas profundidades de 0,00-0,10; 0,10-0,20 m nas duas altitudes para cada sistema de uso em estudo (SAF, FS, PAS e EUC) na região sul do estado do Espírito Santo.

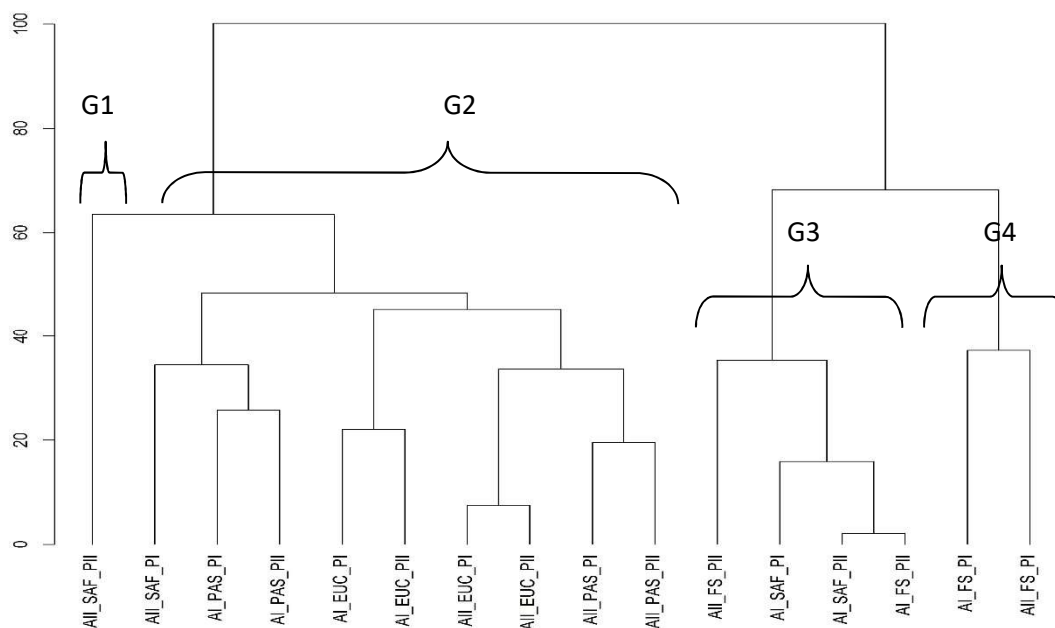


Figura 6- Agrupamento pela variância mínima e distância euclidiana utilizando a análise multivariada para o conjunto de dados dos EC, EN, COT e NT das amostras estudadas, nas camadas de 0-0,1 e 0,1-0,2 m, duas altitudes e diferentes sistemas de uso em estudo (SAF, FS, PAS e EUC). AI e AII: altitude 1 e 2, respectivamente, PI e PII profundidade 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m, respectivamente.



Sabe-se que no processo de decomposição da MOS, o COT resultante é incorporado ao solo, seguindo uma tendência de aumento de seus teores conforme incrementos de MOS nos sistemas. Resultados semelhantes foram verificados por Pazarico et al. (2013).

Em monocultivos, quando o solo é submetido ao cultivo, ocorre a quebra de agregados e exposição da fração lábil da MOS, promovendo sua oxidação e perdas de C para a atmosfera (Teixeira et al., 2010), além das perdas por erosão e lixiviação.

Estudando a dinâmica de C em diferentes usos do solo, Jakelaitis et al. (2008) verificaram diminuição dos teores de COT conforme o uso do solo, onde os valores mais elevados foram observados em vegetação nativa (3,92 dag kg<sup>-1</sup>), seguidos da área de pastagem (2,57 dag kg<sup>-1</sup>), e área de cultivo de milho (1,93 dag kg<sup>-1</sup>). Ainda segundo os mesmos autores, menores valores de COT em pastagem estão associadas ao manejo inadequado desse sistema, principalmente pela ausência de adubações e prolongado pastejo, resultando em maior degradação.

Wang et al. (2016) encontraram EC e EN 32,9 % e 46,2 % maiores em florestas nativas e plantadas em relação às terras cultivadas nos primeiros 20 cm de solo, tendo encontrado correlações positivas entre os estoques e os teores de MOS ( $r= 0,964$  e  $r= 0,877$ , respectivamente). Como no presente estudo, resultados semelhantes foram encontrados por Jafarian e Kavian (2013); Zhang et al. (2013); Gelaw et al. (2014). Segundo Bárcena et al. (2014) esse fenômeno pode ser causado pelos maiores teores de COT e NT resultante das maiores entradas de serapilheira no sistema, associados a diferentes taxas de decomposição da MOS resultante dos diferentes usos do solo, afetando os estoques de C e N.

Sistemas conservacionistas como as vegetações naturais e os SAF, onde são priorizadas, dentre outros fatores, a conservação de MOS, mostram-se viáveis no âmbito de estocagem de C pelos solos, como evidenciado pelos resultados de COT (Tabelas 1 e 2) e de EC (figura 4) no presente estudo. Lima et al. (2011) estudando os teores e estoques de C em diferentes usos, detectaram maiores teores de COT em SAF (4,10 dag kg<sup>-1</sup>) em relação à vegetação nativa (3,02 dag kg<sup>-1</sup>) e monocultivo (1,74 dag kg<sup>-1</sup>) e, conseqüentemente, maiores EC (48,54; 34,16 e 22,50 Mg ha<sup>-1</sup>) e EN (4,43; 2,49 e 2,24 Mg ha<sup>-1</sup>), respectivamente. A biomassa vegetal em cobertura ou incorporada ao solo nos

SAF, além de atuar como fonte de C e de nutrientes, atenua as oscilações de temperatura e de umidade, intensificando a atividade biológica (Ricci, 2005).

Percebe-se pelas Figuras 4 e 5 que os maiores teores de NT acompanharam os maiores teores de COT nos sistemas de uso. A dinâmica do C é fortemente correlacionada com a do N, onde as adições de resíduos orgânicos promovem alterações no solo, como maior agregação e proteção da MOS, promovendo menores perdas de C e, principalmente, de N. Souza et al. (2008) observaram correlações positivas no aumento dos teores de NT em função do aumento no COT.

A maior parte do N do solo se encontra na forma orgânica (mais de 95 %), sendo a MOS um importante reservatório de formas potencialmente disponíveis de N para os vegetais (Rangel e Silva, 2007). Os mesmos autores verificaram maiores EN na vegetação nativa (2,79 Mg ha<sup>-1</sup>), em relação a pastagem (2,56 Mg ha<sup>-1</sup>) e o monocultivo de eucalipto (2,51 Mg ha<sup>-1</sup>).

Maiores EC e EN em SAF são atribuídos à melhoria da qualidade do solo, proporcionada pelo manejo agroflorestral, por meio das interações entre os componentes florestal e agrícola que resultam no maior aporte de fitomassa ao solo. Além disso, a ausência de revolvimento do solo nos sistemas proporciona melhores condições para os organismos responsáveis pela fragmentação do material vegetal e ciclagem dos nutrientes.

Dentro dos grupos apresentados no dendrograma (Figura 3), observa-se a formação de subgrupos em função do fator altitude. Nota-se, que os sistemas pertencentes à altitude 2 possuem maior distância euclidiana em relação aos da altitude 1. Esse fato pode estar relacionado às condições climáticas intrínsecas a essa altitude, como maior pluviosidade. Willaarts et al. (2016) discutem que condições climáticas tem influência direta sobre os EC e, conseqüentemente, EN e que, de maneira geral, áreas úmidas e com maior deposição de serapilheira tendem a apresentar maiores estoques que áreas secas e quentes, onde as taxas de mineralização da MOS são maiores.

#### **4. CONCLUSÃO**

Os SAF promoveram a melhoria dos indicadores químicos do solo refletida no aumento do pH, na redução da saturação por alumínio, no aumento dos teores de nutrientes e na maior estabilidade da qualidade química do solo sob efeito da altitude.

Sistemas conservacionistas, que visam a conservação da MOS (SAF e FS), apresentaram de EC e EN em relação aos monocultivos (PAS e EUC), mostrando-se viáveis no âmbito de estocagem de C pelos solos, constituindo importante estratégia de uso do solo a ser considerada para a conservação e melhoria da qualidade do solo no bioma Mata Atlântica.

## 5. REFERÊNCIAS

- Almeida B, Donagemma GK, Ruiz HÁ. Comunicado técnico da embrapa. 11p. 2012.
- Alvarenga MIN, Siqueira JO, Davide AC. Teor de carbono, biomassa microbiana, agregação e micorriza em solos de Cerrado com diferentes usos. *Cienc Agrotec.* 1999;23:617-25.
- Alvarez VVH, Novais RD, Barros ND, Cantarutti RB, Lopes AS, Ribeiro AC. (1999). Interpretação dos resultados das análises de solos. Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais, 5, 25-32.
- Araújo R, Goedert WJ, Lacerda MPC. (2007). Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. *Rev Bras Cienc Solo.* 2007; 31:1099-108.
- Bárcena TG, Kiær, LP, Vesterdal L. Soil carbon stock change following afforestation in Northern Europe: a meta-analysis. *Glob Chang Biol.* 2014; 20:2393-405.
- Benites VM, Mendonça ES. Propriedades eletroquímicas de um solo eletropositivo influenciadas pela adição de diferentes fontes de matéria orgânica. *Rev Bras Cienc Solo.* 1998; 22; 215-221
- Bernardes MS, Lima SFF, Teramoto ER, Righi CA, Bernardes AS. Recuperação de solo degradado com sistema agroflorestal no extremo Sul da Bahia. In: Resumos Expandidos da XII Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água [CD-ROM]; 2000; Ilhéus. Ilhéus: CEPLAC/CEPEC; 2000.
- Brandão FJC. Caracterização de um latossolo em sistemas agroflorestais e mata com o uso de análise estatística multivariada [tese]. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias; 2013.
- Breman H, Kessler JJ. The potential benefits of agroforestry in the Sahel and other semi-arid regions. *Euro. J. of Agronomy;* 1997; 7(1), 25-33.

- Campanha MM, Santos RHS, Freitas GBD, Martinez HEP, Jaramillo-Botero C, Garcia SL. Análise comparativa das características da serrapilheira e do solo em cafezais (*Coffea arabica* L.) cultivados em sistema agroflorestal e em monocultura, na Zona da Mata, MG. Rev Árv. 2007; 31:805-12.
- Carvalho JLN, Avanzi JC, Silva MLN, Mello CRD, Cerri CEP. Potential of soil carbon sequestration in different biomes of Brazil. Rev Bras Cienc Solo. 2010; 34, 277-90.
- Corazza EJ, Silva JED, Resck DVS, Gomes AC. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de Cerrado. Rev Bras Cienc Solo. 1999;23:425-32.
- Cruz, C. D. (1998). Programa GENES: Aplicativo computacional em estatística aplicada à genética (GENES-Software for Experimental Statistics in Genetics). Genetics and Molecular Biology, 21(1).
- Davidson EA, Janssens IA. Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change. Nature. 2006;440, 165-73. doi: 10.1038/nature04514
- Ferreira RLC, Lira Jr MA, Rocha MD, Santos MD, Lira MDA, Barreto LP. Deposição e acúmulo de matéria seca e nutrientes em serapilheira em um bosque de sabiá (*Mimosa caesalpinifolia* Benth.). Rev Árvore. 2007; 31:7-12.
- Franzel, S. et al. Assessing the adoption potential of agroforestry practices in sub-Saharan Africa. Agricultural Systems. 2001; 69:37-62.
- Fração LA, Píccolo MC, Feigl BJ, Cerri CC, Cerri CEP. Propriedades químicas de um Neossolo Quartzarênico sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado mato-grossense. Pesqui Agropecu Bras. 2008; 43:641-48.
- Gelaw AM, Singh BR, Lal R. Soil organic carbon and total nitrogen stocks under different land uses in a semi-arid watershed in Tigray, Northern Ethiopia. Agric Ecosyst Environ. 2014;188:256-63.
- Iwata BDF, Leite LF, Araújo AS, Nunes LAPL, Gehring C, Campos LP. Sistemas agroflorestais e seus efeitos sobre os atributos químicos em Argissolo Vermelho-Amarelo do Cerrado piauiense. Rev Bras Eng Agric Ambient. 2012;16:730-38.
- Jafarian Z, Kaviani A. Effects of land-use change on soil organic carbon and nitrogen. Commun Soil Sci Plant Anal. 2013;44:339-46.

- Jakelaitis A, Silva AA, Santos JB, Vivian R. Qualidade da camada superficial de solo sob mata, pastagens e áreas cultivadas. *Pesqui Agropecu Trop*. 2008; 38:118-27.
- Kaiser HF. The application of electronic computers to factor analysis. *Educational and Psychological Measurement*. 1960; 20: 141–151.
- Leite LFC, Mendonça ES, Machado PLOA, Matos ES. Total C and N storage and organic C pools of a Red-Yellow Podzolic under conventional and no tillage at the Atlantic Forest Zone, South-eastern Brazil. *Aust J Soil Res*. 2003; 41:717-30.
- Lima AMN, Silva ID, Neves JCL, Novais RD, Barros ND, Mendonça ES, Demolinari MSM, Leite FP. Frações da matéria orgânica do solo após três décadas de cultivo de eucalipto no Vale do Rio Doce-MG. *Rev Bras Cienc Solo*. 2008;32:1053-63.
- Lima SS, Leite LFC, Oliveira FC, Costa DB. 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. *Rev Árv*. 2011;35:51-60.
- Loss A, Moraes AGL, Pereira MG, Silva EMR, Anjos LHC. Carbono, matéria orgânica leve e frações oxidáveis do carbono orgânico sob diferentes sistemas de produção orgânica. *Comunicata Scientiae*. 2010;1:57-64.
- Maia SMF, Xavier FDS, Oliveira TD, Mendonça ES, Araújo Filho, JD. Impactos de sistemas agroflorestais e convencional sobre a qualidade do solo no semi-árido cearense. *Rev Árv*. 2006;30:837-48.
- Marchiori Júnior M, Melo WJ. Alterações na matéria orgânica e na biomassa microbiana em solo de mata natural submetido a diferentes manejos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 2000; 35:1177-1182.
- Mesquita, L. F. (2011). Caracterização de solos sob diferentes coberturas vegetais da sub-bacia hidrográfica do Rio Alegre ES.
- Melloni R, Melloni EGP, Alvarenga MIN, Vieira FBM. Avaliação da qualidade de solos sob diferentes coberturas florestais e de pastagem no sul de Minas Gerais. *Rev Bras Cienc Solo*. 2008;32:2461-70.
- Nair, P.K.R. et al. Nutrient cycling in tropical agroforestry systems: myths na science. In: Buck LE, Lassoie JP, Fernandes ECM. *Agroforestry unsustainable agricultural systems*. Boca Raton: 1999, p. 1-31.

- Pavinato PS, Rosolem CA. Disponibilidade de nutrientes no solo - decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. *Rev Bras Cienc Solo*. 2008;32:911-20.
- Paz CP. Distribuição das frações do carbono orgânico nos solos de florestas maduras na bacia Amazônica: o papel das propriedades do solo, da qualidade da liteira e do clima [dissertação]. Manaus: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia; 2011.
- Pinto VS. Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos vegetais em sistemas agroflorestais, no sul do estado do Espírito Santo [dissertação]. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa; 2016.
- Projeto de Conservação e Utilização Sustentável na Diversidade Biológica Brasileira - PROBIO. Levantamento da cobertura vegetal nativa do Bioma Mata Atlântica. Rio de Janeiro: IESB - IGC; 2007.
- Rangel OJP, Silva CA. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. *Rev Bras Cienc Solo*. 2007;31: 1609-23.
- Regazzi AJ, 2000. Análise multivariada, notas de aula INF 766, second ed. Departamento de Informática da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- Ricci MSF. Inserção da adubação verde e da arborização no agroecossistema cafeeiro. In: Aquino AM, Assis RL, editores. *Agroecologia: princípios e técnicas para uma agricultura orgânica sustentável*. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. p.453-64.
- Salton JC. Matéria orgânica e agregação do solo na rotação lavoura-pastagem em ambiente tropical [tese]. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul; 2005.
- Salton, J, Mielniczuk J, Bayer C, Fabrício AC, Macedo MCM, Broch DL. (2012). Teor e dinâmica do carbono no solo em sistemas de integração lavoura-pecuária. *Pesq Agro Bras*, 46(10), 1349-1356.
- Sample EC, Soper RJ, Racz GJ. Reactions of phosphate in soils. In.: Khasawneh FE, Sample EC, Kamprath EJ. editors. *The role of phosphorus in agriculture*. Madison: Am Soc Agron, 1980. 263-310.

- Silva RC, Pereira JM, Araújo QR, Pires AJV, Del Rei AJ. Alterações nas propriedades químicas e físicas de um chernossolo com diferentes coberturas vegetais. *Rev Bras Cienc Solo*. 2007; 31:101-7.
- Sneath PH, Sokal RR. *Numerical taxonomy: The principles and practice of numerical classification*. San Francisco: WH Freeman; 1973.
- Souza EDD, Costa SEVGDA, Lima CVSD, Anghinoni I, Meurer EJ, Carvalho PCDF. Carbono orgânico e fósforo microbiano em sistema de integração agricultura-pecuária submetido a diferentes intensidades de pastejo em plantio direto. *Rev Bras Cienc Solo*. 2008; 32:1273-82.
- Uruhahy JCC, Collares JER, Santos MM, Barreto RAA. Vegetação: as regiões fitoecológicas, sua natureza e seus recursos econômicos estudo fitogeográfico. In: *Folhas São Paulo; Rio de Janeiro/Vitória. Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Projeto RADAMBRASIL, Rio de Janeiro, 1983. 780 p.*
- Wang T, Kang F, Cheng X, Han H, Ji W. Soil organic carbon and total nitrogen stocks under different land uses in a hilly ecological restoration area of North China. *Soil Tillage Res*. 2016; 163:176-84.
- Webster R, Oliver MA. *Statistical methods in soil and land resource survey*. Oxford: Oxford University Press. 1990. 316p.
- Willaarts BA, Oyonarte C, Muñoz-Rojas M, Ibáñez JJ, Aguilera PA. Environmental factors controlling soil organic carbon stocks in two contrasting Mediterranean climatic areas of southern Spain. *Land Degrad Dev*. 2016;27:603-11.
- Yeomans JC, Bremner JM. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Commun Soil Sci Plant Anal*. 1988;13:1467-76.
- YIMER, F.; LEDIN, S.; ABDELKADIR, A. Soil property variations in relation to topographic aspect and vegetation community in the south-eastern highlands of Ethiopia. *Forest Ecology and Management*. v. 232, n. 1-3, p. 90-99, 2006.
- Zhang C, Liu G, Xue S, Sun C. Soil organic carbon and total nitrogen storage as affected by land use in a small watershed of the Loess Plateau, China. *Eur J Soil Biol*. 2013;54:16-24.

## **APÊNDICE**



Tabela 1- Análise de variância entre os grupos gerados a partir da análise química dos sistemas de uso estudados (SAF, FS, PAS e EUC) nas diferentes altitudes e profundidades

Grupos	Número de Indivíduos		GL		Quadrado Médio	
			Entre	Dentro	Entre	Dentro
G1_G3	4	5	1	7	1,42**	0,26*
G1_G4	4	1	1	3	0,99°	0,23 <sup>ns</sup>
G1_G5	4	2	1	4	2,01**	0,20*
G1_G6	4	2	1	4	2,94**	0,26°
G2_G3	2	5	1	5	1,08*	0,25 <sup>ns</sup>
G2_G6	2	2	1	2	1,83°	0,24 <sup>ns</sup>
G3_G4	5	1	1	4	0,60°	0,28 <sup>ns</sup>
G3_G5	5	2	1	5	1,32*	0,25 <sup>ns</sup>
G3_G6	5	2	1	5	2,39*	0,30*

\*\*significativo em 1 % de probabilidade, \* em 5% de probabilidade, ° em 10% de probabilidade e ns não significativo pelo Teste F.

Tabela 2- Análise de variância entre os grupos gerados a partir da de COT, NT, EC e EN dos sistemas de uso estudados (SAF, FS, PAS e EUC) nas diferentes altitudes e profundidades

Grupos	Número de Indivíduos		GL		Quadrado Médio	
			Entre	Dentro	Entre	Dentro
G1_G2	1	9	1	8	0,68 <sup>ns</sup>	0,35 <sup>ns</sup>
G1_G3	1	4	1	3	0,88°	0,19 <sup>ns</sup>
G1_G4	1	2	1	1	1,24 <sup>ns</sup>	0,31 <sup>ns</sup>
G2_G3	9	4	1	11	2,51**	0,31**
G2_G4	9	2	1	9	3,18**	0,35**
G3_G4	4	2	1	4	1,13**	0,22 <sup>ns</sup>

\*\*significativo em 1 % de probabilidade, \* em 5% de probabilidade, ° em 10% de probabilidade e ns não significativo pelo Teste F.

## CAPÍTULO 2

### IMPACTO DO USO DO SOLO E ALTITUDE SOBRE A BIOMASSA E ATIVIDADE MICROBIANA

#### RESUMO

O estudo da quantidade e da atividade da biomassa microbiana pode fornecer subsídios importantes para o planejamento do uso correto da terra, considerando a natureza dinâmica dos microrganismos do solo. Objetivou-se com esse trabalho estudar o impacto de diferentes usos do solo em solos pertencentes a altitudes distintas na atividade da biomassa microbiana. Foram coletadas amostras na camada de 0,00- 0,10 m de profundidade em quatro sistemas de uso do solo, sendo um sistema agroflorestral (SAF), floresta secundária (FS), pastagem (PAS) e eucalipto (EUC), situados em dois distritos com altitudes distintas (100 e 700 m) pertencentes ao município de Alegres. As análises químicas, físicas foram realizadas a partir da terra fina seca ao ar (TFSA) e a densidade de solo (Ds) por meio de amostras indeformadas coletadas com auxílio de anel volumétrico. Amostras de solo acondicionadas em BOD ( $\pm 4^{\circ}$  C) foram utilizadas para a determinação dos teores de carbono (C-BM), nitrogênio (N-BM) e fósforo (P-BM) da BM. Para a quantificação da atividade microbiana foi montado um experimento de respirometria em que metade das unidades experimentais contaram com a adição de 5g de serapilheira de cada sistema de uso. As análises estatísticas se deram através de análise de variância e estatística multivariada por meio da análise de agrupamentos por distância euclidiana dos sistemas de uso do solo em função das variáveis estudadas. A adição de serapilheira aos tratamentos aumentou cerca de cinco vezes as taxas de CO<sub>2</sub> mineralizado em relação aos tratamentos sem adição do material. O SAF apresentou maior atividade da BM em relação ao EUC e a PAS, confirmando que o aporte contínuo de MOS nesse sistema favorece a atividade dos organismos edáficos.

**Palavras-chave:** CO<sub>2</sub> mineralizado, sistemas agroflorestrais, fósforo microbiano.

## CHAPTER 2

### IMPACT OF SOIL USE AND ALTITUDE ON BIOMASS AND MICROBIAL ACTIVITY

#### ABSTRACT

The study of the quantity and the activity of the microbial biomass can provide important subsidies for the planning of the correct use of the earth, considering the dynamic nature of the microorganisms of the soil. The objective of this work was to study the impact of different soil uses on soils belonging to distinct altitudes in the activity of microbial biomass. Samples were collected in the 0- 0.10 m depth layer in four soil use systems, being an agroforestry system (SAF), secondary forest (FS), pasture (PAS) and eucalyptus (EUC) located in Two districts with distinct altitudes (100 and 700 m) belonging to the municipality of Alegre-ES. The physical and chemical analyzes were carried out from the thin air dry soil (TFSA) and the soil density (Ds) by means of undisturbed samples collected with the aid of a volumetric ring. BOD ( $\pm 4^{\circ} \text{C}$ ) soil samples were used for the determination of carbon (C-BM), nitrogen (N-BM) and phosphorus (P-BM) of BM. For the quantification of the microbial activity a respirometry experiment was set up in which half of the experimental units counted on the addition of 5g of litter from each system of use. Statistical analyzes were performed through analysis of variance and multivariate statistics by means of cluster analysis by Euclidean distance of the soil use systems as a function of the variables studied. The addition of litter to the treatments increased about five times the rates of mineralized CO<sub>2</sub> in relation to the treatments without addition of the material. SAF showed higher BM activity in relation to EUC and PAS, confirming that the continuous supply of MOS in this system favors the activity of edaphic organisms.

**Key- words:** mineralized CO<sub>2</sub>, agroforestry systems, microbial phosphorus.

## 1. INTRODUÇÃO

A dinâmica de carbono (C) no solo depende da relação entre adições (aporte de resíduos orgânicos pela fauna e flora) e perdas para a atmosfera (oxidação microbiana do C orgânico e difusão do CO<sub>2</sub> para a atmosfera). Atividades capazes de alterar a dinâmica de C nos ecossistemas decorrentes de mudanças do uso do solo, onde se destaca a substituição de áreas naturais por áreas de cultivo agrícola, podem promover aumento na concentração de gases na atmosfera, resultando em problemas ambientais como o agravamento do efeito estufa (Lal, 2004), em função do tipo de manejo e uso do solo adotado.

Em monocultivos, além do reduzido aporte de material vegetal, estão associados ao preparo do solo, onde a quebra dos agregados em unidades menores promove a exposição da fração lábil da matéria orgânica do solo (MOS), facilitando sua oxidação e, conseqüentemente, o aumento da emissão de CO<sub>2</sub> (Gama-Rodrigues et al., 2010). Mudanças nas formas de uso e manejo do solo podem promover alterações na dinâmica da MOS, ocasionando maior emissão de CO<sub>2</sub> para a atmosfera (Thomazini et al., 2015). Esse fato foi verificado por Matsuoka et al. (2003) que, estudando a atividade da biomassa microbiana (BM) em diferentes usos do solo, verificaram menor taxa de liberação de CO<sub>2</sub> pela respiração microbiana em cultivos anuais (59,5 mg kg<sup>-1</sup>), sendo 38 % maiores que as taxas encontradas na vegetação nativa (96,0 mg kg<sup>-1</sup>).

Este cenário estimula a adoção de sistemas agropecuários mais sustentáveis, como os sistemas agroflorestais (SAF), onde é priorizada a otimização dos recursos naturais, em especial o solo (Ribeiro et al., 2003). Estudos a respeito das opções de manejo com práticas conservacionistas que priorizem o aporte de MOS como os SAF, comprovam que manejos menos intensivos do solo promovem acréscimos consideráveis no conteúdo de C no solo (Maia et al., 2008).

A parte viva da MOS responsável pelo processo de mineralização dos resíduos e ciclagem de nutrientes, é constituída pela biomassa microbiana (BM), sendo utilizada atualmente como indicador de alterações que ocorrem na dinâmica do C no solo (Ravindran e Yang, 2015).

De acordo com Assis Junior (2003) a quantidade de CO<sub>2</sub> liberada pela respiração dos microrganismos heterotróficos aeróbicos durante a oxidação de

compostos orgânicos, é um dos métodos mais utilizados para avaliar a atividade metabólica da população microbiana no solo, pois é capaz de refletir sua atividade.

A atividade microbiana pode ser influenciada por diversos fatores edafoclimáticos, capazes de refletir as mudanças causadas pelas formas de uso do solo e alterações que ocorrem na estrutura de um ecossistema (Silva et al., 2012). De acordo com Silveira et al. (2007) a BM pode ser influenciada pelo tipo de solo, clima e vegetação e sua quantidade é diretamente relacionada ao aporte de material orgânico ao solo.

Nesse contexto, a biomassa microbiana bem como sua atividade são atributos muito sensíveis ao manejo do solo, sendo os primeiros a serem afetados quando mudanças que ocorrem no solo, quanto ao uso e manejo de uso e manejo. O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da altitude e dos sistemas de uso do solo sobre a biomassa e atividade microbiana.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Áreas de estudo**

O estudo foi realizado em amostras de Argissolos em duas regiões com altitudes distintas pertencentes ao município de Alegre, sul do estado do Espírito Santo (Figura 1). A região pertence à microrregião do Caparaó, com predominância de Latossolos e Argissolos Vermelho Amarelo (Mesquita, 2011) com área de abrangência do bioma Mata Atlântica. A região apresenta altitude variando de 119 e 1.227 metros e declividade do relevo variando de plano a escarpado, com predominância de relevo forte ondulado (Mesquita, 2011). As coletas foram realizadas em duas altitudes: 100m (altitude 1) localizada no distrito de Rive (20° 44' 01.4 "S; 41° 25' 52.6" W) e 700 m (altitude 2) distrito de Lagoa Seca (20° 51' 32.2" S; 41° 27' 34.4" W).

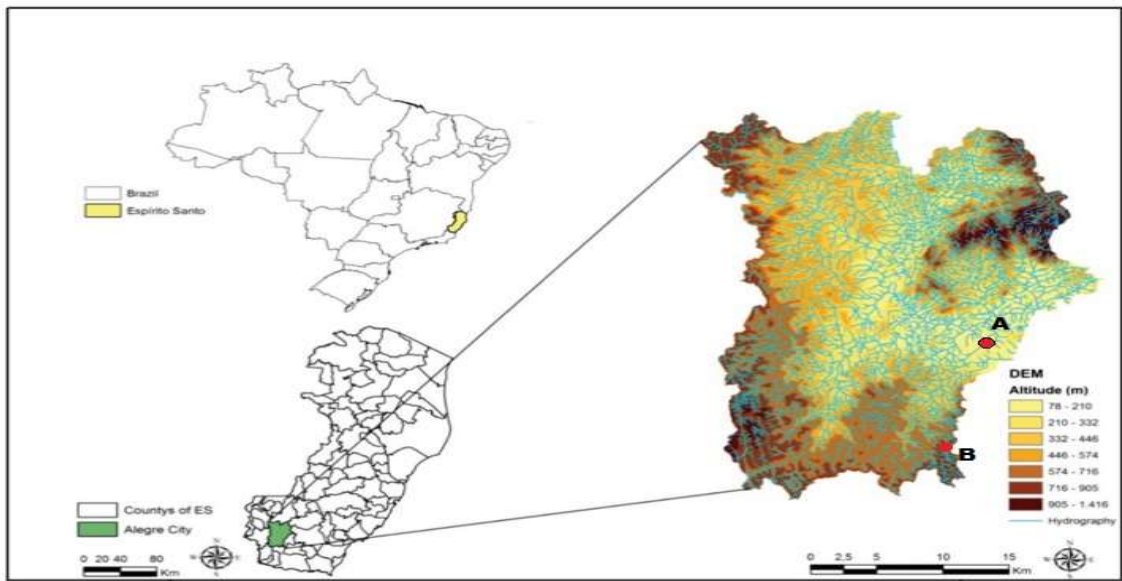


Figura 1- Localização do município de Alegre, Espírito Santo, onde A é a altitude 1 (Rive) e B a altitude 2 (Lagoa Seca) em Alegre, Espírito Santo.

Devido às características do relevo, o município é dividido em dois climas principais (Pinto et al., 2016). Para as altitudes superiores a 600 m o clima é predominantemente Cwa, subtropical úmido, com temperatura do mês mais frio inferior a 18 °C, e do mês mais quente superior a 22 °C. Para as cotas inferiores, o clima é tropical de monções Am, com 23 °C de temperatura média, segundo Köppen-Geiger. A precipitação média está entre 1.300 e 1.500 mm, concentrada entre os meses de novembro e março (60 a 70 % do total), com verão quente e chuvoso e inverno seco (Figura 2).

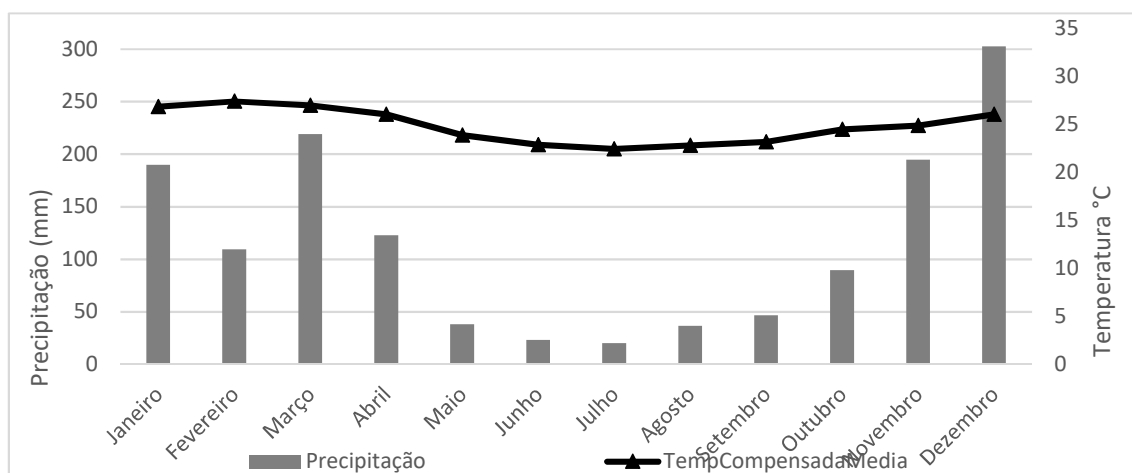


Figura 2- Precipitação média (mm) para o município de Alegre- ES para o ano de 2016. Fonte: Estação de superfície automática do município de Alegre – INMET.

Os sistemas de uso do solo utilizados, em ambas as altitudes, consistiram em floresta secundária (FS), sistema agroflorestal (SAF), pastagem (PAS) e eucalipto (EUC).

De maneira geral, a vegetação que compõe a FS é classificada como Floresta Estacional Semidecidual (Probio, 2004). Este ecossistema caracteriza-se por apresentar duas estações climáticas definidas, o período de chuvas e o período de seca, que condiciona uma estacionalidade foliar dos elementos arbóreos dominantes, em que 20 a 50 % dos indivíduos perdem as folhas em função da deficiência hídrica e baixas temperaturas (Ururahy et al., 1983; IBGE, 2012). É caracterizada pela ocorrência de indivíduos dominantes como *Piptadenia* sp. (angico), *Cariniana* sp. (jequitibá), *Ocotea* sp. e *Nectandra* sp (canelas) e *Lecythis* sp. (sapucaia) (Ururahy et al. 1983), tendo sofrido interferência antrópica há cerca de 20 anos, com extrações de madeira de lei para venda e uso local por produtores e moradores da região.

O SAF da altitude 1, é constituído por café (*Coffea canephora*) em consórcio com cedro (*Cedrella fissilis*), com 9 anos em espaçamento 2,5 x 1,0 m. Foram realizadas podas da espécie florestal nos primeiros anos e, posteriormente, implantado o café. Não foi realizada nenhum tipo de adubação mineral, correção de acidez do solo ou controle de pragas e doenças.

Já o SAF da altitude 2 é constituído pelo consórcio de café (*Coffea arabica* L.) e ingá (*Inga sessilis*) implantado há 11 anos em uma área de 1,5 ha anteriormente ocupada com pastagem. Após os dois primeiros anos, o agricultor realizou poda das espécies florestais. Nesse mesmo período, foi implantada a cultura do café no espaçamento de 2,5 x 1,2 m (entre linhas e plantas, respectivamente). Ao longo dos anos, o manejo de plantas espontâneas foi conduzido com capinas. O agricultor realizava calagem e adubação com formulados 20-05-20 (N-P-K) no início do período chuvoso, mediante análise de solo. Nos ingazeiros é feito o manejo de poda para permitir que parte da luz solar chegue aos cafeeiros. O controle de pragas e doenças não é feito na lavoura.

As PAS, em ambas as altitudes, com aproximadamente 9 anos, foram implantadas com Braquiária (*Brachiaria decumbens*) em um local de derrubada de mata nativa. Os sistemas nunca sofreram renovação, com baixa cobertura do solo durante a estação seca e que se renova durante o período chuvoso. O manejo de plantas espontâneas é feito por roçada manual e não são utilizados herbicida, calcário ou fertilizante nesse sistema nas duas altitudes.

O EUC da altitude 1 é caracterizado pelo plantio de *Eucalyptus grandis* em espaçamento 3 x 3 m implantado há aproximadamente 5 anos, ao passo que o EUC da altitude 2 é composto por *Corymbia citriodora* (Hook) K.D. & L.A.S Johnson) (Eucalipto), com 9 anos de idade em espaçamento 3 x 2 m implantado em área anteriormente ocupada por mata nativa. Em ambos os sistemas foi realizada apenas adubação de plantio com formulado N-P-K.

## **2.2 Delineamento experimental para coleta e caracterização dos solos**

O delineamento experimental adotado foi baseado em uma experiência comparativa-mensurativa, com coleta de replicatas ao acaso dentro de cada parcela. Este modelo experimental tem sido utilizado em estudos de campo, cujo controle local das variáveis é restrito à seleção de áreas com características semelhantes (Arevalo et al., 2009; Adewopo et al. 2014).

Foram coletadas amostras de solo, em triplicatas, nos quatro sistemas em estudo (FS, SAF, EUC e PAS) e em duas altitudes (altitude 1 – 100 m; altitude 2 – 700m), na profundidade de 0,00-0,10 no mês de fevereiro/2016. As amostras foram coletadas na mesma face de exposição solar para todos os sistemas estudados.

Para a caracterização dos solos estudados, parte das amostras foi seca ao ar e passada em peneira de 2,0 mm, obtendo a terra fina seca ao ar (TFSA) utilizada nas análises químicas (pH, P, K, Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup>, Al<sup>+3</sup>, H<sup>+</sup> Al, COT, NT, CTC efetiva e saturação por bases) e físicas (densidade do solo e análise granulométrica) realizadas de acordo com a EMBRAPA (2011), e a outra parte foi acondicionada em BOD a ± 4 °C sendo utilizadas para caracterização do C, P e N da biomassa microbiana e CO<sub>2</sub> mineralizado.

Para determinação da densidade do solo foram coletadas três amostras indeformadas de solo nas mesmas profundidades. A caracterização química e física dos solos das áreas em estudo são apresentados na Tabela 1.



Tabela 1 - Atributos químicos e físicos do solo coletado nas profundidade de 0,00- 0,10 m nas duas altitudes para cada sistema de uso em estudo (SAF, FS, PAS e EUC) na região sul do estado do Espírito Santo

Atributos	SAF	FS	PAS	EUC	SAF	FS	PAS	EUC
	----- Altitude 1 -----				----- Altitude 2 -----			
Areia (%) <sup>1</sup>	36,95	32,74	52,92	46,53	44,53	38,72	48,39	42,36
Silte (%) <sup>1</sup>	33,00	30,60	23,61	23,97	27,43	28,27	3,25	3,22
Argila (%) <sup>1</sup>	30,05	36,67	23,47	29,50	28,04	33,01	48,36	54,41
Ds (kg dm <sup>-3</sup> ) <sup>2</sup>	1,07	1,02	1,27	1,22	1,21	1,10	1,03	1,19
pH (H <sub>2</sub> O) <sup>3</sup>	6,66	4,73	5,44	5,50	6,88	4,75	4,83	4,95
P (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>4</sup>	2,20	1,68	0,57	0,67	1,63	1,04	0,76	0,79
K (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>5</sup>	157,3	52,7	39,2	65,9	244,5	57,6	29,0	25,1
Ca <sup>+2</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>6</sup>	1,11	1,27	1,17	2,03	3,45	1,70	0,66	0,32
Mg <sup>+2</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>6</sup>	0,77	0,67	0,52	1,27	0,93	0,61	0,10	0,27
Al <sup>+3</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>6</sup>	0,00	0,26	0,10	0,03	0,00	1,02	0,89	0,99
H+Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>7</sup>	3,04	7,06	4,67	4,73	4,73	3,72	8,91	7,61
COT (dag kg <sup>-1</sup> ) <sup>8</sup>	2,01	2,68	0,59	0,98	1,53	2,36	1,18	1,43
NT (dag kg <sup>-1</sup> ) <sup>9</sup>	0,18	0,20	0,11	0,16	0,11	0,20	0,14	0,11
t (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>10</sup>	2,29	2,08	1,79	3,47	5,01	2,46	0,88	0,67
V (%) <sup>11</sup>	42,92	22,72	27,70	42,34	57,36	21,64	10,49	8,08

<sup>1</sup>Método da pipeta (Almeida et al., 2012). <sup>2</sup>Método Anel Volumétrico (Embrapa, 2011). <sup>3</sup>pH em água (relação 1:2,5); <sup>4</sup>extrator Mehlich-1 e determinação por colorimetria, <sup>5</sup>extração Mehlich-1 e determinação por fotometria de chama; <sup>6</sup>extração com cloreto de potássio 1 mol L<sup>-1</sup> e titulação; <sup>7</sup>extração com acetato de cálcio 0,5 mol L<sup>-1</sup>, pH 7,0 e titulação;(EMBRAPA, 2011); <sup>8</sup>oxidação via úmida com dicromato de potássio em meio sulfúrico (Yeomans e Bremner, 1988); <sup>9</sup>determinado pela digestão do solo com ácido sulfúrico e água oxigenada, seguida de destilação a vapor (Kjeldahl) (Tedesco et al., 2005); <sup>10</sup>CTC efetiva; <sup>11</sup> saturação de bases.

### 2.3 Caracterização do C, P e N da Biomassa Microbiana

Para as análises de C, N e P da biomassa microbiana (CBM, NBM e PBM) foram utilizadas amostras de solo acondicionadas em BOD ( $\pm 4$  °C), que posteriormente foram passadas em peneira de 2,0 mm. Para tanto empregou-se o método de irradiação-extração conforme Brookes et al. (1992) adaptado por Mendonça e Matos (2005).

O método baseia-se na extração do C microbiano após a morte dos microrganismos e lise celular pelo uso de micro-ondas, com a liberação dos constituintes celulares e posterior quantificação. Logo após a extração, foram determinados o C, N e P nos extratos segundo o mesmo método.

Após a obtenção dos dados foi calculada a relação entre o teor de CBM e COT, definida pelo coeficiente microbiano (qMIC), onde  $qMIC = CBM/COT \times 100$  (Sparling, 1992).

## 2.4 CO<sub>2</sub> mineralizado

O experimento seguiu esquema fatorial 4 x 2 x 2, onde os fatores em estudos foram, respectivamente: quatro sistema de uso do solo; amostras de solo em duas altitudes; e presença/ausência de serapilheira. Os tratamentos foram dispostos em delineamento em inteiramente casualizado, com três repetições. Os tratamentos referentes à presença de serapilheira receberam a adição de 5 gramas (Grugiki, 2011) de material vegetal de cada sistema de uso das diferentes altitudes.

Foram utilizadas amostras de solo acondicionadas em BOD ( $\pm 4$  °C), que foram posteriormente passadas em peneira de 2,0 mm. A quantificação do CO<sub>2</sub> mineralizado foi realizada em amostras de solo (50 g) coletadas na profundidade de 0,00- 0,10 m, por meio da quantificação do CO<sub>2</sub> liberado durante 60 dias de incubação em sistema fechado conforme método adaptado por Mendonça e Matos (2005).

A curva de evolução de CO<sub>2</sub> (produção acumulada de CO<sub>2</sub>) com o tempo de incubação foi ajustada na equação logística  $Y = a/1+e^{-(b+cx)}$  (Passos, 2000; Andrade et al., 2013), em que o coeficiente **a** é a saturação da curva, associada à máxima evolução de CO<sub>2</sub> e indica a quantidade de C mais facilmente mineralizável; o **b** indica o deslocamento da curva horizontalmente e quanto maior o seu valor, maior é o tempo para atingir a saturação; e o coeficiente **c** está relacionado com a taxa de crescimento da função, diretamente associado à labilidade do C na matéria orgânica. Por intermédio desses coeficientes foi possível estimar o tempo necessário para atingir a metade da produção máxima de CO<sub>2</sub> ( $t_{1/2}$ ); seu valor permite que se faça inferência sobre a velocidade de mineralização da MOS e, conseqüentemente, sobre sua labilidade.

## 2.5 Análises Estatísticas

Os dados de CO<sub>2</sub> mineralizado foram submetidos à análise de variância utilizando o programa SISVAR (Ferreira, 2008). A significância dos contrastes de interesse, com um grau de liberdade, foi testada pelo teste F, em 1 e a 10 % de probabilidade, tendo-se considerado o quadrado médio do resíduo obtido pela análise de variância. Os dados de C, N e P da BM foram submetidos à análise multivariada por meio do teste de agrupamentos utilizando a distância euclidiana, obtendo-se uma medida de similaridade entre as amostras. Para tal análise, foi utilizado o programa GENES (Cruz, 1998) em 10 % de probabilidade.

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

De maneira geral, as médias de CO<sub>2</sub> evoluído dos tratamentos com serapilheira foram maiores que as dos tratamentos sem serapilheira (Figura 1), em ambas as altitudes e para todos os sistemas de uso do solo, conforme demonstrado pelos contrastes C1 e C2 (Tabela 2). Esses resultados indicam a interação positiva entre a adição de MOS e atividade da BM, onde maiores incrementos de C aos sistemas resultam em maiores taxas de CO<sub>2</sub> mineralizado.

Os tratamentos com a adição de serapilheira apresentam taxa de CO<sub>2</sub> evoluído em média cinco vezes maior que os tratamentos sem a adição das mesmas (Figura 1). Corroborando esses resultados, Della Bruna et al. (1991) mostraram que a adição de serapilheira pode aumentar cerca de cinco vezes a atividade biológica nos solos, o que indica que a adição de uma fonte de C pode ser uma alternativa eficaz para a estocagem do mesmo pelos solos.

Bittar et al. (2013) verificaram que a atividade microbiana foi dependente da quantidade de resíduos adicionados durante o ensaio de respirometria, discutindo que a serapilheira é um importante componente na camada superficial dos solos. Grugiki et al. (2017) discutem que os valores para a atividade microbiana são menores quando não se adiciona MOS ao solo, decorrente do declínio da biomassa e atividade da microbiota em resposta à ausência de uma fonte de C.

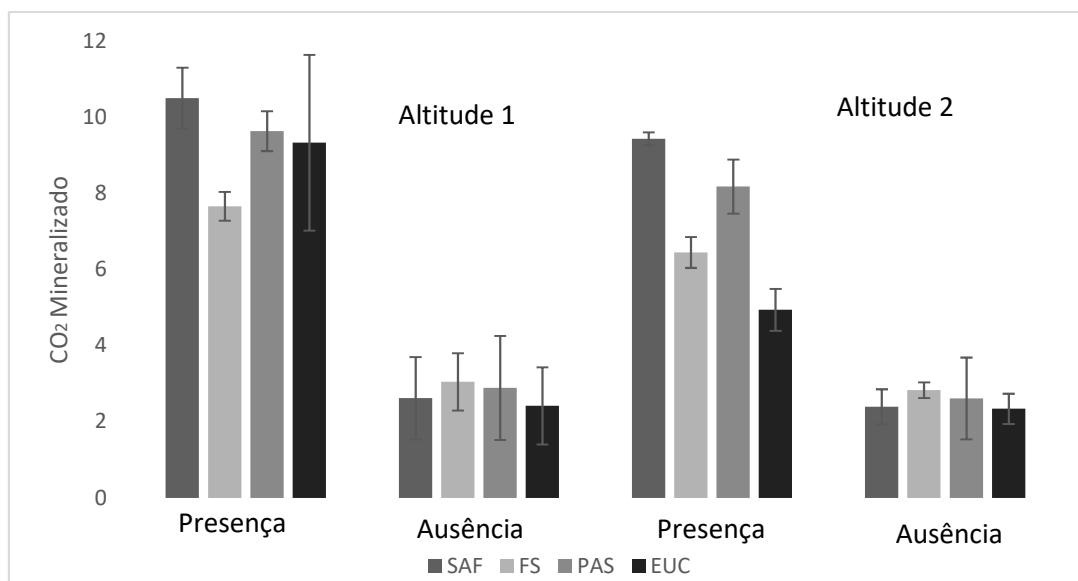


Figura 1- Valores médios de CO<sub>2</sub> acumulado (g de C/kg de solo) após 60 dias de incubação nos diferentes usos, altitudes e presença e ausência de serapilheira.

Tabela 2- Contrastes ortogonais (C) dos teores de CO<sub>2</sub> mineralizado, para os diferentes sistemas de uso em estudo (SAF, FS, PAS e EUC) nas diferentes altitudes, na presença e ausência de serapilheira

Sistema	Altitude 1	Altitude 2
	C1	C2
SAF	-7,84**	-7,04**
FS	-4,61**	-3,62**
PAS	-6,75**	-4,97**
EUC	-6,91**	-2,99**

C1: Sistema s/ serapilheira vs Sistema c/ serapilheira (+,-) na altitude 1, C2: Sistema s/ serapilheira vs sistema c/ serapilheira na altitude 2 (+,-), significativo em 1 % de probabilidade pelo Teste F.

Nas áreas sob vegetação nativa, dentre os fatores responsáveis por condições mais favoráveis à biomassa microbiana, destacam-se a ausência de preparo do solo e maior diversidade florística (Matsuoka et al., 2003). Segundo os mesmos autores, condições mais favoráveis em solos sob vegetação nativa podem ser atribuídas ao acúmulo de serapilheira, que condiciona menor variação e níveis mais adequados de temperatura e umidade do solo.

A altitude contribuiu para a diferença entre a FS e os demais sistemas (SAF, PAS e EUC), sugerindo que as condições climáticas são determinantes na atividade da BM. Os microrganismos são muito sensíveis e podem ser influenciados pelos fatores bióticos e abióticos, onde as condições ambientais podem estimular ou inibir o

desenvolvimento e a atividade de cada um dos grupos de microrganismos (Vargas e Scholles, 2000; Rosa et al., 2003). Ravindran e Yang (2015), discutem que a atividade da BM varia de acordo com padrões sazonais de temperatura do solo, umidade e disponibilidade de substrato.

Ao comparar o sistema conservacionista (SAF) em relação aos monocultivos (EUC e PAS) na altitude 2 (C4, Tabela 3) verifica-se que o SAF teve comportamento superior aos demais sistemas a respeito das taxas de CO<sub>2</sub> mineralizado. Esse fato pode ser atribuído ao maior aporte de MOS nesse sistema, onde é favorecida a atividade dos microrganismos e, conseqüentemente, promovido aumento na taxa de mineralização de CO<sub>2</sub>. Aumentos na respiração microbiana em sistemas conservacionistas podem ser resultantes do maior aporte de MOS rica em frações lábeis (D'Andréa et al., 2002).

O fator altitude também pode ter contribuído para a diferença entre os sistemas, onde o aporte de MOS pode ter sido afetado pelas condições climáticas (Tabela 3). O processo de respiração do solo é altamente sensível a variações de temperatura, onde, apenas alterações nesse fator na superfície do solo podem influenciar na magnitude do fluxo de CO<sub>2</sub> (Dias et al., 2006). Normalmente, quando a temperatura permanece abaixo de 15 °C, os microrganismos do solo apresentam menor atividade, o que ocasiona decréscimo nas emissões de CO<sub>2</sub> (Fang e Moncrieff, 2001).

Corroborando esses resultados Vargas e Scholes (2000) avaliando a atividade da BM em diferentes sistemas de uso e manejo (sistema conservacionista, preparo reduzido e monocultivo), verificaram maior liberação de C-CO<sub>2</sub> no sistema conservacionista, sistema com maior aporte de material orgânico (303 mg kg<sup>-1</sup> C-CO<sub>2</sub>), seguido do preparo reduzido (265 mg kg<sup>-1</sup> C-CO<sub>2</sub>) e pelo monocultivo com milho 176 mg kg<sup>-1</sup> C-CO<sub>2</sub>), indicando que a maior atividade da microbiota possivelmente é estimulada pelas adições contínuas de resíduos orgânicos e grande quantidade de raízes. O estímulo da atividade microbiana e, conseqüentemente, o aumento da mineralização de MO (aumento CO<sub>2</sub> mineralizado) é promovido pela adição de resíduos orgânicos e/ou maior disponibilização de matéria orgânica ao solo (Loss et al., 2013).

Tabela 3- Contrastes ortogonais (C) dos teores de CO<sub>2</sub> mineralizado, para os diferentes sistemas de uso em estudo (SAF, FS, PAS e EUC) nas diferentes altitudes.

Contraste		
	Altitude 1	Altitude 2

C3	-0,87 <sup>°</sup>	-0,44 <sup>ns</sup>
C4	0,48 <sup>ns</sup>	1,24 <sup>*</sup>
C5	0,38 <sup>ns</sup>	1,65 <sup>*</sup>

C3: FS vs SAF + PAS + EUC (3+,---); C4: SAF vs EUC + PAS (2+,--); C5: EUC vs PAS (+,-).<sup>°</sup> significativo em 10 % de probabilidade e em 1 % de probabilidade pelo Teste F.

Além disso, no SAF a qualidade do material aportado é heterogênea, por haver mistura de materiais com qualidade diferenciada em relação ao monocultivo (EUC, por exemplo), onde a composição química dos resíduos é homogênea (Ribeiro e Walter, 1998). Powlson et al. (1987) descrevem que a adição de MOS formada por compostos de maior labilidade promovem aumentos imediatos na atividade da BM mesmo se os níveis iniciais de COT no solo forem baixos.

Outro aspecto que deve ser considerado é a composição química da serapilheira aportada. Segundo Heim e Schmidt (2007) a serapilheira do eucalipto apresenta elevados teores de lignina, material altamente recalcitrante, composto por cadeia polimérica de anéis aromáticos condensados, com decomposição mais lenta em relação à serapilheira do SAF. Almeida et al. (2007) encontraram similaridade entre a atividade da BM no SAF e na vegetação nativa, indicando que os SAF tendem a apresentar um potencial de ciclagem de C e N microbiano superior se comparado a monocultivos.

Maiores valores de CO<sub>2</sub> mineralizado do EUC em relação a PAS na altitude 2 são observados (C5, Tabela 3). Embora o aporte de serapilheira nos diferentes sistemas não tenha sido quantificado, é possível afirmar o maior aporte proporcionado pelo EUC, principalmente se comparado à pastagem, o que pode justificar o comportamento desse sistema (Pulrolnik et al., 2009). Diniz et al. (2011) encontraram maiores valores de deposição de serapilheira na área com eucalipto (2,4 Mg ha<sup>-1</sup>) e menores na área com floresta secundária (1,4 Mg ha<sup>-1</sup>). Esse padrão de maior aporte de resíduos em eucalipto também foi verificado por Poggiani (1985) e Schumacher (1992).

A produção acumulada de CO<sub>2</sub> ajustou-se adequadamente à função logística de crescimento, para todos os sistemas, em cada altitude (Tabela 4). Os maiores valores para saturação na evolução de CO<sub>2</sub> (parâmetro *a*) foram obtidos, em ambas as altitudes, para a FS e a PAS no tratamento sem serapilheira, indicando a presença de características que favorecem sua decomposição da MOS e, ou, maior proporção de C facilmente mineralizável.

Em contrapartida, nos tratamentos com a presença de serapilheira, onde houveram maiores variações entre os sistemas, a FS apresentou o menor valor de *a* nas duas altitudes, o que pode estar relacionado à variedade de composição química dos materiais constituintes da serapilheira, devido à maior diversidade de espécies presentes no sistema.

Tabela 4- Coeficientes da equação logística, coeficientes de determinação e tempo estimado para atingir a metade da produção máxima de CO<sub>2</sub> ( $t_{1/2} = -b/c$ ) para os diferentes sistemas de uso do solo e altitudes.

Sistema	sem serapilheira					com serapilheira				
	a	b	c	t <sub>1/2</sub>	r <sup>2</sup>	a	b	c	t <sub>1/2</sub>	r <sup>2</sup>
<b>Altitude 1</b>										
SAF	2,55	-2,67	-0,14	19,0	0,99	9,98	-1,81	-0,11	16,5	0,99
FS	2,89	-2,17	-0,13	16,7	0,99	7,19	-1,69	-0,10	16,9	0,99
PAS	2,77	-2,08	-0,14	14,9	0,99	9,12	-1,90	-0,10	19,0	0,99
EUC	2,28	-2,25	-0,17	13,2	0,99	9,00	-1,47	-0,10	14,7	0,99
<b>Altitude 2</b>										
SAF	2,25	-1,96	-0,15	13,0	0,99	9,02	-1,46	-0,20	7,3	0,99
FS	2,68	-2,00	-0,15	13,3	0,99	6,30	-1,52	-0,16	9,5	0,99
PAS	2,88	-2,36	-0,15	15,7	0,99	7,54	-1,57	-0,10	15,2	0,99
EUC	2,24	-2,25	-0,16	14,0	0,99	5,10	-2,37	-0,14	16,9	0,99

Além disso a serapilheira da FS era constituída por grande quantidade de galhos, material de difícil decomposição. De acordo com Grugiki et al. (2017) menores valores de *a* para essa cobertura não são esperados, pelo fato de a serapilheira da FS possuir diversificados substratos, apresentando características favoráveis à atividade microbiana e decomposição da MOS.

Em relação ao coeficiente *b*, também é observada grande variação entre os tratamentos, onde o maior valor foi encontrado para o SAF e o menor para a PAS, nos tratamentos sem serapilheira. Houve pequena variação entre a taxa de crescimento da função (coeficiente *c*) para os sistemas em estudo, em que os maiores resultados foram encontrados no EUC nas duas altitudes.

Nos sistemas de maneira geral, é possível observar grandes diferenças entre os tratamentos com e sem serapilheira. Esse fato está relacionado à maior atividade da

BM em resposta à adição de MOS ao solo. De acordo com Rezende et al. (2004), o acúmulo de materiais orgânicos ao solo é estimulador da atividade da BM.

Para ambos os tratamentos, na altitude 1, o menor valor de  $t_{1/2}$  foi encontrado para o EUC, indicando assim, a maior velocidade de mineralização da MOS nesse sistema. Esse resultado não era esperado, uma vez que a serapilheira do EUC é de maior recalcitrância resultante dos maiores teores de lignina. Os maiores resultados foram verificados para o SAF e a FS, o que pode estar relacionado com a maior estabilidade da BM nesses sistemas onde, ao invés de liberarem C na forma de  $CO_2$  podem estar imobilizando-o em sua biomassa, resultando em menor atividade da microbiota e maior tempo para a máxima produção de  $CO_2$ .

A obtenção e a interpretação destes resultados permitem avaliar a dinâmica da decomposição da MOS nesses sistemas, possibilitando estimar o tempo em que os nutrientes ali presentes estarão disponíveis novamente para o solo.

Visualiza-se na Tabela 5 os resultados de C-BM, N-BM, P-BM e qMic para os solos em ambas as profundidades e altitudes, nos diferentes sistemas de uso. A análise multivariada do conjunto de dados gerou o dendrograma da Figura 2, o qual indica a divisão em grupos de amostras, com maior ou menor distância euclidiana, ou seja, com maior ou menor similaridade.

Tabela 5- Carbono, Nitrogênio e Fósforo da BM e coeficiente microbiano (qMic) para diferentes sistemas de uso em estudo (SAF, FS, PAS e EUC), nas diferentes altitudes e profundidades.

Sistema	Altitude 1				Altitude 2			
	0,00 - 0,10 m							
	$\mu g\ kg^{-1}$	$mg\ kg^{-1}$	$mg\ kg^{-1}$		$\mu g\ kg^{-1}$	$mg\ kg^{-1}$	$mg\ kg^{-1}$	
	C-BM	N- BM	P- BM	qMic	C-BM	N- BM	P- BM	qMic
<b>SAF</b>	505,85	45,00	9,39	2,73	413,66	51,27	7,22	4,76
<b>FS</b>	464,86	55,70	23,44	1,95	580,00	56,08	7,96	2,59
<b>PAS</b>	434,37	45,06	9,13	6,70	475,20	49,13	2,30	3,57
<b>EUC</b>	576,13	41,08	15,87	5,75	420,72	41,80	1,67	3,27
0,10 - 0,20 m								
<b>SAF</b>	431,89	53,04	9,74	2,32	389,16	29,25	11,43	2,77
<b>FS</b>	445,37	33,88	19,26	2,51	487,14	53,17	3,48	2,95
<b>PAS</b>	360,30	48,91	11,83	4,12	406,34	53,03	1,29	2,81
<b>EUC</b>	593,55	58,20	15,39	7,06	554,82	34,99	1,88	4,20



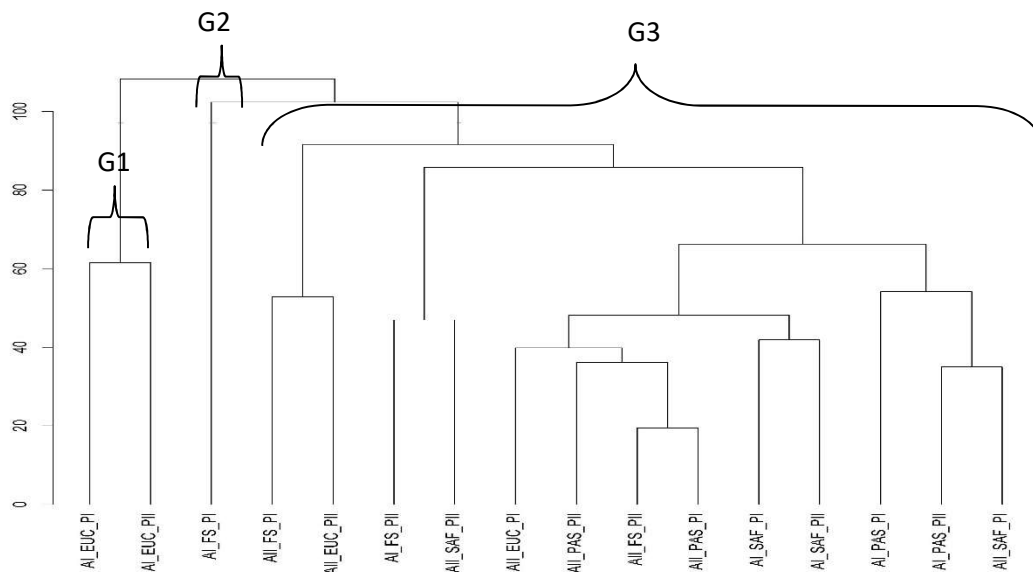


Figura 2- Agrupamento pela variância mínima e distância euclidiana utilizando a análise multivariada para o conjunto de dados das amostras estudadas, nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m, duas altitudes e diferentes sistemas de uso em estudo (SAF, FS, PAS e EUC), onde AI e AII são altitude 1 e 2, respectivamente e PI e PII profundidade 00-0,10 e 0,10-0,20 m, respectivamente.

Pela Tabela 5 é possível observar que a PAS na altitude 1 apresentou os menores valores de C-BM e maiores valores de qMic nas duas profundidades. Como demonstram estudos realizados por Xavier et al. (2006), pastagens comumente apresentam elevados teores de C- BM, relacionado com o efeito do sistema radicular das gramíneas em disponibilizar composto orgânicos de fácil degradação, utilizados como fonte de energia no crescimento microbiano (Freixo et al., 2002).

No presente estudo esse comportamento não foi verificado, o que pode estar relacionado às condições de degradação e manejo desse sistema. Valores de C-BM mais baixos no sistema pastagem em relação à vegetação nativa corroboram os resultados obtidos por Fernandes (1999). O autor verificou que após a retirada da vegetação nativa e estabelecimento da pastagem, houve aumento nos teores de C-BM durante os primeiros anos e reduções nos anos seguintes, decorrentes das condições de degradação da pastagem.

De maneira geral, em ambas as altitudes, os maiores valor de qMic foram verificados na PAS (Tabela 5). Sparling (1992) observou um qMic maior em pastagens (1,63) quando comparadas com florestas nativas (1,36) e exóticas (1,20), o que pode ser atribuído à maior participação do C-BM em relação ao COT. Ainda segundo o mesmo autor, apenas o valor de qMic não deve ser considerado isoladamente como

indicador da qualidade da MOS dos solos, pois é fortemente afetada por fatores como o grau de estabilização do COT e histórico de uso e manejo do solo. De maneira geral, maiores valores de  $q_{Mic}$  representam maior ciclagem de nutrientes e, conseqüentemente, menor acúmulo de C, ao passo que menores  $q_{Mic}$  representam menor ciclagem de nutrientes e maior acúmulo de carbono (Anderson e Domsch, 1989).

Verifica-se, ainda na Tabela 5, que a FS em ambas as altitudes, apresentou os maiores valores de P-BM. De acordo com Conte et al. (2002) maiores valores de P-BM estão concomitantemente relacionados a teores mais elevados de COT, o que está de acordo com os resultados encontrados no presente estudo. O mesmo autor verificou  $15,2 \text{ mg kg}^{-1}$  de P-BM na mata nativa e  $9,4 \text{ mg kg}^{-1}$  no solo cultivado sem adição de P. Trabalhos como os de Tiessen et al. (1983), Fernandes et al. (1998) e Zhang et al. (1999) demonstram a diminuição dos teores de P-BM e Po em decorrência do cultivo intenso do solo e diminuição dos teores de MOS.

Entre os fatores responsáveis por condições mais favoráveis ao desenvolvimento microbiano nas áreas sob vegetação natural, merecem destaque a ausência de operações de plantio, resultando em maior presença de raízes, as quais aumentam a entrada de substratos no sistema, favorecendo as populações microbianas (Matsuoka et al., 2003).

D'andrea et al. (2002) verificaram maiores teores de C-BM, até 0,2 m de profundidade, em área de vegetação nativa ( $1310 \text{ } \mu\text{g g}^{-1}$ ) em relação a pastagem ( $666,2 \text{ } \mu\text{g g}^{-1}$ ) e monocultivo ( $213,4 \text{ } \mu\text{g g}^{-1}$ ), observando uma redução na ordem de 49 % para a pastagem e 73 % para os sistemas agrícolas tomando a vegetação nativa como referência. Gama-Rodrigues et al. (1997) discutem que dentre os atributos do solo avaliados por meio da estatística multivariada, o C-BM (27,73 %) foi o que mais contribuiu para a diferenciação das coberturas florestais em estudo, ao passo que o COT contribuiu com apenas 6 %.

O fator altitude contribuiu para a segregação dos grupos no dendograma (Figura 2), em que o EUC e a FS na altitude 1 diferenciaram-se nos demais. Esse resultado pode estar relacionado às condições climáticas inerentes a cada altitude e o efeito das mesmas sob os atributos do solo. De acordo com Gama-Rodrigues et al. (2005) as condições climáticas influenciam diretamente na atividade da BM e, conseqüentemente, no C-BM e N-BM, que aumentam proporcionalmente com o aumento da precipitação pluviométrica e da umidade do solo. Ainda segundo os

mesmos autores a umidade do solo explicou 48 e 55 % da variação do C-BM e N-BM, respectivamente.

Os demais sistemas de uso (PAS e SAF) nas diferentes altitudes e profundidades, juntamente com o EUC e FS na altitude 2 aparecem em um mesmo grupo no dendrograma (Figura 2), sendo semelhantes entre si. Dentro deste grupo, observam-se dois subgrupos formados em função da variável altitude resultantes, possivelmente, do efeito das condições de clima sob o solo.

#### **4 CONCLUSÃO**

A adição de serapilheira ao solo promoveu aumento da atividade da BM em todos os sistemas de uso em estudo.

O SAF apresentou maiores teores de CO<sub>2</sub> mineralizado em relação ao EUC e a PAS, indicando maior atividade da BM, fato que possivelmente está associado ao aporte contínuo de MOS nesse sistema.

#### **REFERÊNCIAS**

- Adewopo JB, Silveira ML, Xu S, Gerber S, Sollenberger LE, Martin TA. Management intensification impacts on soil and ecosystem carbon stocks in subtropical grasslands. *Soil Science Society of America Journal*. 2014; 78(3), 977-986.
- Almeida B, Donagemma GK, Ruiz HÁ. Comunicado técnico da embrapa. 11p. 2012.
- Alves TS, Campos LL, Neto NE, Matsuoka M, Loureiro MF. Biomassa e atividade microbiana de solo sob vegetação nativa e diferentes sistemas de manejos. *Acta Scientiarum Agronomy*. 2011;33:341-47.
- Anderson TH, Domsch KH. Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils. *Soil biology and biochemistry*. 1989; 21(4), 471-479.
- Assis Júnior SL, Zanuncio JC, Kasuya MCM, Couto L, Melido RC. Atividade microbiana do solo em sistemas agroflorestais, monoculturas, mata natural e área desmatada. *R Árvore*. 2003;27:35-41.
- Arevalo, C.B.M., J.S. Bhatti, S.X. Chang, and D. Sidders. 2009. Ecosystem carbon stocks and distribution under different land-uses in north central Alberta, Canada. *For. Ecol. Manage.* 257:1776–1785.

- Balota EL, Colozzi-Filho A, Andrade DS, Hungria M. Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. *Rev Bras Cienc Solo*. 1998;22:641-49.
- Bayer C, Martin-Neto L, Mielniczuk J, Pavinato A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 2004;39:677-83.
- Bittar IMB, Ferreira AS, Corrêa GF. Influência da textura do solo na atividade microbiana, decomposição e mineralização do carbono de serapilheira de sítios do bioma cerrado sob condições de incubação. *Bioscience Journal*. 2013;29:1952-60.
- Brookes PC, Powlson DS, Jendinson DS. Measurement of microbial biomass phosphorus in soil. *Soil Biol. Biochem.*, 14:319-326, 1982.
- Cruz CD. (1998). Programa GENES: Aplicativo computacional em estatística aplicada à genética (GENES-Software for Experimental Statistics in Genetics). *Genetics and Molecular Biology*, 21(1).
- D'Andréa AF, Silva MLN, Curi N, Siqueira JO, Carneiro MAC. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região do cerrado no sul do estado de Goiás. *Rev Bras Cienc Solo*. 2002;26:913-24.
- Dalmolin RSD. Matéria orgânica e características físicas, químicas, mineralógicas e espectrais de Latossolos de diferentes ambientes [tese]. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul; 2002.
- de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa;
- Della Bruna E, Borges AC, Fernandes B, Barros NF, Muchovej RMC. Atividade da microbiota de solos adicionados de serapilheira de eucalipto e de nutrientes. *Rev Bras Cienc Solo*. 1991;15:15-20.
- Dias J. Fluxo de CO<sub>2</sub> proveniente da respiração do solo em áreas de florestas nativa da Amazônia [dissertação]. Piracicaba: Escola Superior Luiz de Queiroz; 2006.
- Diniz AR, Pereira MG, Loss A. Aporte de material decíduo e fertilidade do solo em plantio de eucalipto e floresta secundária. *Pesquisa Florestal Brasileira*. 2011;31:19-26.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2ª ed. Rio de Janeiro: Embrapa; 1997.
- Fang C, Moncrieff JB. The dependence of soil CO<sub>2</sub> efflux on temperature. *Soil Biol. Biochem*. 2001;33:155-65.

- Fernandes SAP. Propriedades do solo na conversão de floresta em pastagem fertilizada e não fertilizada com fósforo na Amazônia (Rondônia) [tese]. Piracicaba: Universidade de São Paulo; 1999.
- Ferreira DF. SISVAR: Um programa para análises e ensino de estatística. R Symp. 2008;6:36-41.
- Freixo AA, Machado PLOA, Guimarães CM, Silva CA, Fadigas FS. Estoques de carbono e nitrogênio e distribuição de frações orgânicas de Latossolo do cerrado sob diferentes sistemas de cultivo. Rev Bras Cienc Solo. 2002;26:425-34.
- Gama-Rodrigues EF, Barros NF, Gama-Rodrigues AC, Santos GA. Nitrogênio, carbono e atividade da biomassa microbiana do solo em plantações de eucalipto. Rev Bras Cienc Solo. 2005;29:893-901.
- Gama-Rodrigues EF, Gama-Rodrigues AC, Barros NF. Biomassa microbiana de carbono e de nitrogênio de solos sob diferentes coberturas florestais. Rev Bras Cienc Solo. 1997;21:361-65.
- Gama-Rodrigues EF, Nair PR, Nair VD, Gama-Rodrigues AC, Baligar VC, Machado RC. Carbon storage in soil size fractions under two cacao agroforestry systems in Bahia, Brazil. Environmental management. 2010; 45: 274-283.
- Grugiki MA, Andrade FV, Passos RR, Ferreira ACF. Deposição e acúmulo de matéria seca e nutrientes em serapilheira em coberturas florestais no sul do Espírito Santo. Floresta e Ambiente. 2017 24: 1-12.
- Heim A, Schmidt MWI. Lignin turnover in arable soil and grassland analysed with two different labelling approaches. European Journal of Soil Science. 2007;58:599-608.
- Islam KR, Weil RR. Soil quality indicator properties in mid-Atlantic soils as influenced by conservation management. J. Soil Water Conserv. 2000;55:69-79.
- Lal R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. Science. 2004;304:1623-27.
- Loss A, Pereira MG, Beutler SJ, Perin A, Anjos LHC. 2013. Carbono mineralizável, carbono orgânico e nitrogênio em macroagregados de Latossolo sob diferentes sistemas de uso do solo no Cerrado Goiano. Semina: Ciências Agrárias. 2013;34:2153-68.
- Maia SMF, Xavier FADS, Oliveira TS, Mendonça ED S, Araújo Filho J.A. (2008). Frações de nitrogênio em Luvisolo sob sistemas agroflorestais e convencional no semi-árido cearense. Revista Brasileira de Ciência do Solo. 2008; 32(1), 381-392.

- Matsuoka M.; Mendes IC, Loureiro MF. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de Primavera do Leste (MT). *Rev Bras Cienc Solo*. 2003;27:425-33.
- Mendonça ES, Matos ES. *Matéria Orgânica do Solo: Métodos de Análises*. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa; 2005.
- Mesquita, L. F. Caracterização de solos sob diferentes coberturas vegetais da sub-bacia hidrográfica do Rio Alegre ES. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Espírito Santo, 2011.
- Pinto VS. Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos vegetais em sistemas agroflorestais, no sul do estado do Espírito Santo. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa, 2016.
- Powlson DS, Brookes PC, Christensen BT. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation. *Soil Biology and Biochemistry*. 1987;19:159-64.
- Projeto de Conservação e Utilização Sustentável na Diversidade Biológica Brasileira - PROBIO. Levantamento da cobertura vegetal nativa do Bioma Mata Atlântica. Rio de Janeiro: IESB - IGC; 2007.
- Pulrolnik, K., BARROS, N. D., Silva, I. R., Novais, R. F., & Brandani, C. B. (2009). Estoques de carbono e nitrogênio em frações lábeis e estáveis da matéria orgânica de solos sob eucalipto, pastagem e cerrado no vale do Jequitinhonha-MG. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33(5), 1125-1136.
- Ravindran A, Yang SS. Effects of vegetation type on microbial biomass carbon and nitrogen in subalpine mountain forest soils. *Journal of Microbiology, Immunology and Infection*. 2015;48:362-69.
- Rezende LA, Assis LC, Nahas E. Carbon, nitrogen and phosphorus mineralization in two soils amended with distillery yeast. *Biores Technol*. 2004;94:159-67.
- Rosa MEC, Olszewski N, Mendonça ES, Costa LM, Correia JR. Formas de carbono em latossolo vermelho eutrófico sob plantio direto no sistema biogeográfico do cerrado. *Rev Bras Cienc Solo*. 2003;27:911-23.
- Silva EAS, Silva CA, Silva IR, Marques JJGSM, Araujo EF, Carvalho AS, Silva SHG, Curi N. Frações de C em toposequência de solos sob eucalipto com diferentes históricos de uso. *Rev Bras Cienc Solo*. 2012;36:1167-78.
- Souza, E. D. D., Costa, S. E. V. G. A., Anghinoni, I., Lima, C. V. S. D., Carvalho, P. C. D. F., & Martins, A. P. (2010). Biomassa microbiana do solo em sistema de

- integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34(1), 79-88.
- Sparling GP. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter. *Aust. J. Soil Res.* 1992;30:195-207.
- Thomazini A, Mendonça ES, Souza JL, Cardoso IM, Garbin ML. Impact of organic no-till vegetables systems on soil organic matter in the Atlantic Forest biome. *Scientia Horticulturae*. 2015;182:145-55.
- Tiessen H, Stewart WB, Moir JO. Changes in organic and inorganic phosphorus composition of two grassland soils and their particle size fractions during 60-90 years of cultivation. *J. Soil Sci.* 1983;34:815-23.
- Uruhahy JCC, Collares JER, Santos MM, Barreto RAA. Vegetação: as regiões fitoecológicas, sua natureza e seus recursos econômicos estudo fitogeográfico. In: Folhas São Paulo; Rio de Janeiro/Vitória. Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Projeto RADAMBRASIL, Rio de Janeiro, 1983. 780 p.
- Vargas LK, Scholles D. Biomassa microbiana e produção de C-CO<sub>2</sub> e N mineral de um Podzólico Vermelho Escuro submetido a diferentes sistemas de manejo. *Rev Bras Cienc Solo*. 2000;24:35-42.
- Xavier FAS, Maia SMF, Oliveira TS, Mendonça ES. Biomassa microbiana e matéria orgânica leve em solos sob sistemas agrícolas orgânico e convencional na Chapada da Ibiapaba-CE. *Rev Bras Cienc Solo*. 2006;30:247-58.
- Yeomans JC, Bremner JM. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 1988;19:1467-76.
- Zhang TQ, Mackenzie AF, Sauriol F. Nature of soil organic phosphorus as affected by long-term fertilization under continuous corn (*Zea mays* L.): a <sup>31</sup>P NMR study. *Soil Sci.* 1999;164:662-70.

## **APÊNDICE**



Tabela 1- Análise de variância entre os grupos gerados a partir da análise de CMB, NBM e PBM dos sistemas de uso estudados (SAF, FS, PAS e EUC) nas diferentes altitudes e profundidades

Grupos	Número de Indivíduos		GL		Quadrado Médio	
			Entre	Dentro	Entre	Dentro
G1_G2	2	1	1	1	1,05ns	0,49ns
G1_G3	2	13	1	13	1,63**	0,57ns
G2_G3	1	13	1	12	0,97ns	0,58ns

\*\*significativo em 1 % de probabilidade, e ns não significativo pelo Teste F.

## CAPÍTULO 3

### FRAÇÕES DE FÓSFORO EM CLASSES DE AGREGADOS INFLUENCIADAS POR DIFERENTES USOS DO SOLO E ALTITUDES NA FLORESTA ATLÂNTICA

#### RESUMO

Os sistemas de uso e manejo do solo modificam a dinâmica do fósforo alterando os diferentes compartimentos de P. Objetivou-se avaliar o efeito de sistemas de uso do solo, da altitude e nas diferentes classes de agregados do solo sobre as formas de P. Foram coletadas amostras de solo na camada de 0,00- 0,20 m de profundidade em quatro sistemas de uso do solo, sendo um sistema agroflorestal (SAF), floresta secundária (FS), pastagem (PAS) e eucalipto (EUC), situados em dois distritos com altitudes distintas (100 e 700 m) pertencentes ao município de Alegre- ES. O solo das duas regiões foi separado fisicamente por fracionamento via seca em classes de agregados com 4-2 mm (classe 1); 2-1 mm (classe 2); 1-0,105 mm (classe 3) e < 0,105 mm (classe 4) de diâmetro. A avaliação das diferentes frações de P foi realizada por meio do fracionamento sequencial e as mesmas foram separadas em três grandes grupos para melhor análise e interpretação dos dados. A PLR mostrou-se superior em todas os sistemas de uso e classes de agregados, com exceção da classe 4, onde a fração PL foi predominante. De maneira geral, houveram distinções entre os teores de P na fração PML das diferentes altitudes, onde a altitude 1 (100 m) apresentou comportamento superior que a altitude 2 (700 m), indicando a maior ciclagem da matéria orgânica do solo (MOS). As classes de agregados de menor diâmetro apresentaram maiores teores de P em todas as frações, resultado que pode estar relacionado aos maiores teores de MOS e menor área superficial específica nessas classes.

**Palavras-chave:** fracionamento sequencial, sistemas agroflorestais, pastagem.

## CHAPTER 3

### PHOSPHORUS FRACTIONS IN CLASSES OF AGGREGATES INFLUENCED BY DIFFERENT SOIL AND ALTITUDE USES IN THE ATLANTIC FOREST

#### ABSTRACT

The use and management systems of the soil modify the dynamics of phosphorus by changing the different compartments of P. The objective was to evaluate the effect of soil use systems, altitude and different classes of soil aggregates on the forms of P. Soil samples were collected at a layer of 0,00-0,20 m depth in four soil use systems, being an agroforestry system (SAF), secondary forest (FS), pasture (PAS) and eucalyptus. In two districts with distinct altitudes (100 and 700 m) belonging to the municipality of Alegres. The soil of the two regions was physically separated by dry fractionation in classes of aggregates with 4-2 mm (class 1); 2-1 mm (class 2); 1-0.105 mm (class 3) and <0.105 mm (class 4) diameter. The evaluation of the different fractions of P was performed by means of the sequential fractionation and they were separated into three large groups for better analysis and interpretation of the data. PLR showed to be superior in all systems of use and classes of aggregates, except for class 4, where the PL fraction was predominant. In general, there were differences between P levels in the PML fraction of the different altitudes, where altitude 1 (100 m) had a higher behavior than altitude 2 (700 m), indicating a greater cycling of organic matter of the soil (MOS). The classes of smaller diameter aggregates presented higher levels of P in all fractions, a result that may be related to the higher SOM contents and lower specific surface area in these classes.

**Keywords:** sequential fractionation, agroforestry systems, pasture.

## 1. INTRODUÇÃO

A degradação do solo, causada principalmente pela conversão de sistemas naturais em cultivos agrícolas, gera grande preocupação com a qualidade dos sistemas de produção agrícolas e florestais, por conduzir mudanças nas características das camadas superficiais de solo, onde há maior ciclagem de nutrientes (Rita et al., 2013).

A manutenção da MOS, por meio de sistemas de uso e manejo que favoreçam o aporte de resíduos vegetais, tem sido apontada como prática que proporciona melhorias nas propriedades físicas, como por exemplo, a formação dos agregados, unidades básicas da estrutura do solo (Meurer, 2000) e as propriedades químicas, isto é, o aproveitamento de fósforo (P) pelas plantas (Almeida et al., 2003). Sendo assim, há a necessidade de se considerar a MOS para o melhor entendimento da ciclagem de P (Chapius Lardy et al., 2002).

Substâncias orgânicas provenientes da mineralização da MOS competem com os sítios de adsorção de P, principalmente os óxidos de Fe e Al; ou promovem a complexação de elementos como Fe e Al, impedindo sua ligação com P (Pavinato e Rosolem, 2008). De maneira geral, o conteúdo total de P aumenta, quando o manejo favorece o incremento de carbono (C) e com a utilização de fertilizantes, e diminui em sistemas intensivos de cultivo com baixa reposição de P (Damodar Reddy et al., 2000).

A distribuição das formas de P no solo fornece uma indicação do potencial de ciclagem biogeoquímica desse nutriente, que pode ser diferente para vários sistemas de uso e manejo. Sistemas de uso que promovam o aporte de MOS (sistemas conservacionistas) contribuem para o aumento de formas mais lábeis de P, com diminuição da adsorção e conseqüente aumento da disponibilidade de P para as plantas (Andrade et al., 2003; Pereira et al., 2010).

Sistemas conservacionistas, como os sistemas agroflorestais (SAF) e vegetação nativa, devido ao aporte diferenciado de MOS em relação aos monocultivos, podem apresentar maiores teores de P nos diferentes compartimentos desse elemento. Embora a dinâmica de P no solo não seja semelhante à de outros nutrientes, estudar as diferentes formas de P, como a fração lábil, moderadamente lábil e de labilidade restrita, ajuda a entender o papel do uso e manejo do solo na ciclagem deste nutriente.

Rita (2012), estudando as frações de P em diferentes usos do solo, verificou maiores teores de P lábil em SAF (4,8 mg kg<sup>-1</sup>) em relação à vegetação nativa (3,3 mg

kg<sup>-1</sup>), evidenciando o potencial do SAF em acumular formas mais disponíveis de P. Cardoso et al. (2003) verificaram maiores teores de P<sub>t</sub> em sistema agroflorestal (319,1 mg kg<sup>-1</sup>) em relação ao monocultivo (259,9 mg kg<sup>-1</sup>). Zaia et al. (2008) constataram maiores teores de P em sistemas florestais com elevado aporte de MOS (119,0 mg kg<sup>-1</sup>) e menores em pastagem (85,2 mg kg<sup>-1</sup>).

Nesse contexto, o conhecimento das frações de P permite inferir qual compartimento melhor contribui com a manutenção do P em solução e, conseqüentemente, em sua disponibilidade para as plantas. O fracionamento sequencial descreve a importância relativa dos processos biológicos e geoquímicos das diferentes frações de P no seu ciclo, em solos com vários estádios de desenvolvimento (Cross e Schlesinger, 1995). Sendo assim, o objetivo deste estudo foi avaliar a influência da altitude, dos sistemas de uso do solo e das classes de agregados do solo na dinâmica das frações de P.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Áreas de estudo**

O estudo foi realizado em amostras de Argissolos em duas regiões com altitudes distintas pertencentes ao município de Alegre, sul do estado do Espírito Santo (Figura 1). A região pertence à microrregião do Caparaó, com predominância de Latossolos e Argissolos Vermelho Amarelo (Mesquita, 2011) com área de abrangência do bioma Mata Atlântica. A região apresenta altitude variando de 119 e 1.227 metros e declividade do relevo variando de plano a escarpado, com predominância de relevo forte ondulado (Mesquita, 2011). As coletas foram realizadas em duas altitudes: 100m (altitude 1) localizada no distrito de Rive (20° 44' 01.4 "S; 41° 25' 52.6" W) e 700 m (altitude 2) no distrito de Lagoa Seca (20° 51' 32.2" S; 41° 27' 34.4" W).

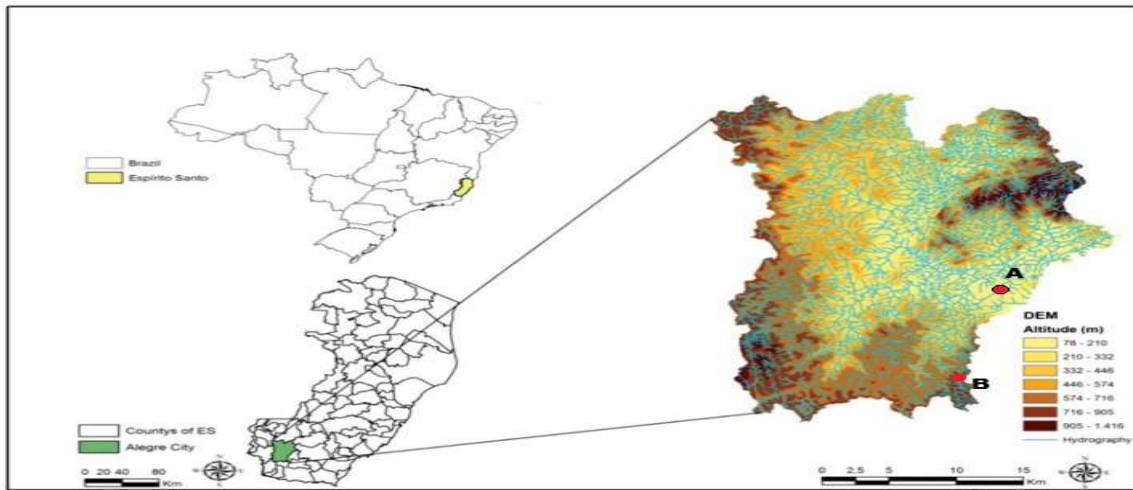


Figura 1- Localização das regiões em estudo, onde A é a altitude de 100 m (Rive) e B a altitude de 700 m (Lagoa Seca) em Alegre, Espírito Santo.

Segundo a classificação internacional de Köppen, o clima da região é do tipo “Cwa”, isto é, tropical quente úmido, com inverno frio e seco, temperatura anual média de 23,1 °C e precipitação total anual média de 1341 mm (Figura 2).

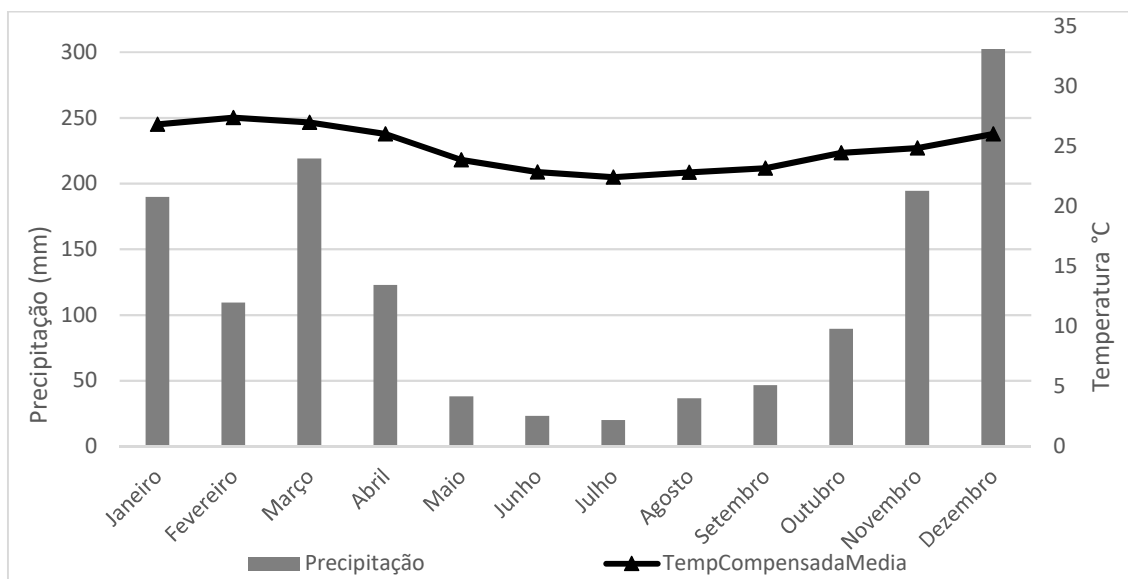


Figura 2- Precipitação média (mm) para o município de Alegre, Espírito Santo. Fonte: Estação de superfície automática do município de Alegre, Espírito Santo – INMET

Os sistemas de uso do solo utilizados, em ambas as altitudes, consistiram em uma floresta secundária (FS), sistema agroflorestal (SAF), pastagem (PAS) e eucalipto (EUC).

De maneira geral, a vegetação que compõe a FS é classificada como Floresta Estacional Semidecidual (Probio, 2004). Este ecossistema caracteriza-se por apresentar duas estações climáticas definidas, o período de chuvas e o período de seca a qual condiciona uma estacionalidade foliar dos elementos arbóreos dominantes, as quais 20 a

50 % dos indivíduos perdem as folhas em função da deficiência hídrica e baixas temperaturas (Ururahy et al., 1983; IBGE, 2012). É caracterizada pela ocorrência de indivíduos dominantes como *Piptadenia* sp. (angico), *Cariniana* sp. (jequitibá), *Ocotea* sp. e *Nectandra* sp (canelas) e *Lecythis* sp. (sapucaia) (Ururahy et al., 1983), tendo sofrido interferência antrópica há cerca de 20 anos, com extrações de madeira de lei para venda e uso local por produtores e moradores da região.

O SAF da altitude 1, é constituído por café (*Coffea canephora*) em consórcio com cedro (*Cedrella fissilis*), com 9 anos em espaçamento 2,5 x 1,0 m. Foram realizadas podas da espécie florestal nos primeiros anos e, posteriormente, implantado o café. Não foi realizada nenhum tipo de adubação mineral, correção de acidez do solo ou controle de pragas e doenças.

Já o SAF da altitude 2 é constituído pelo consórcio de café (*Coffea arabica* L.) e ingá (*Inga sessilis*) implantado há 11 anos em uma área de 1,5 ha anteriormente ocupada com pastagem. Após os dois primeiros anos, o agricultor realizou poda das espécies florestais. Nesse mesmo período, foi implantada a cultura do café no espaçamento de 2,5 x 1,2 m (entre linhas e plantas, respectivamente). Ao longo dos anos, o manejo de plantas espontâneas foi conduzido com capinas. O agricultor realizava calagem e adubação com formulados de 20-05-20 (N-P-K) no início do período chuvoso mediante análise de solo. Nos ingazeiros é feito o manejo de poda para permitir que parte da luz solar chegue aos cafeeiros. O controle de pragas e doenças não é feito na lavoura.

As PAS, em ambas as altitudes, com aproximadamente 9 anos, foram implantadas com Braquiária (*Brachiaria decumbens*) em um local de derrubada de mata nativa. Os sistemas nunca sofreram renovação, com baixa cobertura do solo durante a estação seca e que se renova durante o período chuvoso. O manejo de plantas espontâneas é feito por roçada manual e não são utilizados herbicida, calcário ou fertilizante nesse sistema nas duas altitudes.

O EUC da altitude 1 é caracterizado pelo plantio de *Eucalyptus grandis* em espaçamento 3 x 3 m implantado há aproximadamente 5 anos, ao passo que o EUC da altitude 2 é composto por *Corymbia citriodora* (Hook) K.D. & L.A.S Johnson) (Eucalipto), com 9 anos de idade em espaçamento 3 x 2 m implantado em área anteriormente ocupada por mata nativa. Em ambos os sistemas foi realizada apenas adubação de plantio com formulado N-P-K.

## 2.2 Coleta e Caracterização dos solos

Foram coletadas amostras de solo, em triplicatas, nos quatro sistemas em estudo (FS, SAF, EUC e PAS) e em duas altitudes (altitude 1 – 100 m; altitude 2 – 700m), na profundidade de 0,00-0,20 m no mês de fevereiro/2016. As amostras foram coletadas na mesma face de exposição solar para todos os sistemas estudados.

Parte das amostras foi seca ao ar e passada em peneira de 2,0 mm, obtendo a terra fina seca ao ar (TFSA) utilizada nas análises químicas e físicas realizadas de acordo com a EMBRAPA (2011). A outra parte depois de seca ao ar foi separada fisicamente por fracionamento via seca, por meio do agitador mecânico tipo Rotap vibratório durante 15 minutos, em classes de agregados com 4-2 (classe 1); 2-1 (classe 2); 1-0,5 + 0,25-0,105 (classe 3) e < 0,105 mm (classe 4) de diâmetro.

Para determinação da densidade do solo e porosidade total foram coletadas três amostras indeformadas de solo na mesma profundidade. Os resultados das análises químicas e físicas do solo podem ser visualizados na Tabela 1.

Tabela 1- Atributos químicos e físicos do solo coletado na profundidade de 0,00-0,20 m nas duas altitudes para cada sistema de uso em estudo (SAF, Floresta secundária, pastagem e eucalipto) na região sul do estado do Espírito Santo

Atributos	SAF	FS	PAS	EUC	SAF	FS	PAS	EUC
	----- 100 m -----				----- 700 m -----			
Areia (%) <sup>1</sup>	36,95	32,74	52,92	46,53	44,53	38,72	48,39	42,36
Silte (%) <sup>1</sup>	33,00	30,60	23,61	23,97	27,43	28,27	3,25	3,22
Argila (%) <sup>1</sup>	30,05	36,67	23,47	29,50	28,04	33,01	48,36	54,41
Ds (kg dm <sup>-3</sup> ) <sup>2</sup>	1,07	1,02	1,27	1,22	1,21	1,10	1,03	1,19
pH (H <sub>2</sub> O) <sup>3</sup>	6,48	4,69	5,28	5,23	6,58	4,70	4,85	5,02
P (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>4</sup>	2,20	1,56	0,50	0,75	2,05	0,94	0,63	0,66
K (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>5</sup>	156,72	48,80	35,97	61,64	264,79	59,00	26,43	22,81
Ca <sup>+2</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>6</sup>	1,23	0,97	0,92	1,50	3,41	1,66	0,68	0,33
Mg <sup>+2</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>6</sup>	0,70	0,63	0,43	0,95	1,26	0,55	0,09	0,18
Al <sup>+3</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>6</sup>	0,00	0,36	0,13	0,02	0,00	1,14	0,92	1,00
H+Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>7</sup>	2,77	6,90	4,70	4,37	3,99	8,91	7,55	7,43
COT (dag kg <sup>-1</sup> ) <sup>8</sup>	2,01	2,68	0,59	0,98	1,53	2,36	1,18	1,43
NT (dag kg <sup>-1</sup> ) <sup>9</sup>	0,18	0,20	0,11	0,16	0,11	0,20	0,14	0,11



t (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>10</sup>	2,33	2,08	1,57	2,62	5,34	2,36	0,84	0,57
V (%) <sup>11</sup>	45,75	19,76	23,23	36,29	57,23	20,92	10,00	7,09

<sup>1</sup>Método da pipeta (Agitação lenta) (Almeida et al., 2012). <sup>2</sup>Método Anel Volumétrico (Embrapa, 1997). <sup>3</sup>pH em água (relação 1:2,5); <sup>4</sup>extrator Mehlich-1 e determinação por colorimetria, <sup>5</sup>extração Mehlich-1 e determinação por fotometria de chama; <sup>6</sup>extração com cloreto de potássio 1 mol L<sup>-1</sup> e titulação; <sup>7</sup>extração com acetato de cálcio 0,5 mol L<sup>-1</sup>, pH 7,0 e titulação;(EMBRAPA, 1997); <sup>8</sup>oxidação via úmida com dicromato de potássio em meio sulfúrico (Yeomans e Bremner, 1988); <sup>9</sup>determinado pela digestão do solo com ácido sulfúrico e água oxigenada, seguida de destilação a vapor (Kjeldahl) (Tedesco et al., 2005); <sup>10</sup>CTC efetiva; <sup>11</sup> saturação de bases.

### 2.3 Fracionamento de fósforo

O fracionamento sequencial de P foi realizado de acordo com Hedley et al. (1982), com modificações (Camargo et al., 1999). Amostras de 1,5 g de solo de cada classe de agregado foram colocadas em tubo de centrífuga (50 mL), extraídos e filtrados, sequencialmente, com 30 mL de água deionizada; NaHCO<sub>3</sub> 0,5 mol L<sup>-1</sup> (pH = 8,5); NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup>; HCl 1 mol L<sup>-1</sup>; NaOH 0,5 mol L<sup>-1</sup> e H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1 mol L<sup>-1</sup>. Foi utilizada resina de troca aniônica (tipo base forte AMI-7001S) na extração com água e depois lavada com HCl 0,5 mol L<sup>-1</sup> para se obter a fração resina-Pi (res-Pi).

Após o final de cada extração, parte do extrato foi utilizado para determinação do P inorgânico (Pi) e do P total (Pt), este após digestão com HNO<sub>3</sub>/HClO<sub>4</sub> e P residual (P resid) por digestão com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. O teor de P nos extratos foi determinado colorimetricamente de acordo com Murphy e Riley (1962). O P orgânico (Po) foi representado pela diferença entre P total (Pt) e P inorgânico (Pi).

### 2.4 Análises estatísticas

Este estudo se baseou em um delineamento experimental comparativo-mensurativo, devido ao não agrupamento das áreas estudadas (Adewopo et al., 2014). Este delineamento parte do pressuposto de que as propriedades do solo dos sistemas de uso estudados (SAF, FS, PAS e EUC) eram semelhantes antes da conversão e interferência antrópica.

As diferentes frações de P nos solos, bem como os teores dessas frações nas diferentes classes de agregados, foram submetidos a análise de variância e contrastes ortogonais utilizando o programa SISVAR (Ferreira, 2008). A significância dos contrastes de interesse, com um grau de liberdade, foi testada pelo teste F, em 1 e em 5 % de probabilidade, tendo-se considerado o quadrado médio do resíduo obtido pela análise de variância.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A discussão do presente capítulo é direcionada às formas e à labilidade (frações) do P no solo. As formas foram separadas em inorgânica (Pi), orgânica (Po) e total (Pt), em que a forma inorgânica é composta pelo somatório dos teores de Pi extraído por resina, bicarbonato de sódio, hidróxido de sódio e ácido clorídrico; a orgânica, pelos teores de Po extraídos por bicarbonato de sódio e hidróxido de sódio; e a total pelo Pi e Po, além da fração residual. Esta fração não constitui parte de nenhuma das formas anteriores de P, por possuir tanto Pi como Po em sua composição.

O fracionamento sequencial mostrou que as frações P residual (P resid) e P NaOH 0,5 mol L<sup>-1</sup> (P NaOH 2) foram as mais representativas em todas as áreas analisadas. O P resid representou de 45,65 % no SAF e 37,42 % no EUC em relação ao total de P, ambos na altitude 1 (Tabela 2). Já o P NaOH 2 representou 27,73 % no EUC e 18,36 % na FS. Juntas, essas frações representam em média 70 % do total de P no SAF, seguido pelo EUC (66 %), PAS (65 %) e FS (57 %) (Tabela 2).

Esses compartimentos (P resid e P NaOH 2) representam as formas mais estáveis de P, resultado que está de acordo com o esperado para os tipos de solo predominantes na região, que são solos altamente intemperizados, onde há o predomínio das formas de labilidade restrita de P, principalmente aquelas ligadas ao Fe e Al. Smeck (1985), afirma que o compartimento de P resid representa o P ocluso retido por minerais estruturalmente livres, formas mais estáveis de P orgânico (Po) e formas insolúveis de P inorgânico (Pi). De acordo com Novais e Smith (1999 em solos muito intemperizados, essa fração é mais evidente do que em solos pouco intemperizados.

O extrator NaOH 2 é mais eficiente na extração de P em formas de baixa labilidade e com disponibilidade restrita para a absorção das plantas, por estarem associadas com fosfato ligado com alta energia aos óxidos de Fe e Al. Xavier et al. (2011), estudando as frações de P em diferentes usos do solo (vegetação nativa, SAF, e cafeeiro a pleno sol), também verificaram que a fração P NaOH 2 foi a segunda mais abundante no fracionamento sequencial.

Com relação à labilidade, foram consideradas como P lábil (PL), os teores de Pi extraído por resina e os teores de Po e Pi extraídos por bicarbonato de sódio; como P moderadamente lábil (PML), os teores de P total extraídos pelo NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup>; como P de labilidade restrita (PLR), os teores extraídos com NaOH 0,5 mol L<sup>-1</sup>.

Tabela 2- Frações de P nos sistemas de uso (SAF, FS, PAS e EUC), em quatro classes de agregados, sendo: 4-2 (classe 1); 2-1 (classe 2); 1-0,5 + 0,25-0,105 (classe 3) e < 0,105 mm (classe 4) de diâmetro, nas duas altitudes (100m e 700 m) na profundidade de 0,00- 0,20 m.

Sistema	Classe	Pi res.	Pt bic	Pi Bic	Po Bic	Pt NaOH 1	Pi NaOH 1	Po NaOH 1	Pt NaOH 2	Pi NaOH 2	Po NaOH 2	P residual	ΣP
SAF Altitude 1	1	2,06	44,16	7,72	36,44	37,02	26,92	10,11	57,17	25,66	31,56	274,07	414,55
	2	0,48	44,09	9,58	34,46	38,74	23,85	14,90	63,53	32,83	30,71	258,80	405,6
	3	1,89	48,69	12,60	36,10	85,40	27,04	58,36	382,68	23,57	359,11	231,65	750,3
	4	1,93	363,06	8,02	354,99	355,78	40,37	315,42	198,01	21,78	176,24	234,92	1153,7
SAF Altitude 2	1	0,95	43,53	5,02	38,51	43,66	23,30	20,36	55,64	30,65	35,58	209,69	353,5
	2	1,27	42,69	6,64	36,05	46,06	17,90	28,17	53,97	16,96	37,07	128,56	272,6
	3	1,54	41,50	15,52	25,99	78,38	22,76	55,62	77,05	17,14	59,91	128,96	327,4
	4	2,20	348,56	10,37	338,20	247,96	36,97	210,99	154,73	21,64	133,08	146,27	899,7
FS Altitude 1	1	1,82	41,37	6,58	34,84	42,48	22,80	19,68	45,41	15,86	29,55	202,21	333,3
	2	0,39	42,26	8,52	33,74	41,57	19,13	22,45	50,61	18,64	31,98	122,74	257,6
	3	2,32	53,91	13,77	40,15	89,86	23,86	66,06	70,84	15,13	55,71	127,13	344,1
	4	2,40	286,54	10,71	275,84	364,75	37,69	327,01	198,28	10,46	187,82	105,87	957,8
FS Altitude 2	1	0,38	40,03	8,21	31,82	46,41	21,13	25,28	52,16	15,33	36,83	246,05	385,0
	2	1,26	41,57	6,95	34,62	39,04	17,31	21,72	53,72	20,11	33,62	219,37	355,0
	3	1,81	48,84	8,03	40,81	59,90	16,79	43,11	340,59	13,41	327,13	85,09	536,2
	4	2,11	396,79	7,31	389,48	210,12	31,84	178,33	136,00	11,30	124,70	166,17	911,2
PAS Altitude 1	1	0,49	40,16	7,72	32,45	42,97	24,67	18,30	55,24	18,86	36,38	191,24	330,1
	2	0,53	43,12	7,61	35,51	43,16	22,09	21,12	55,84	22,95	32,94	139,58	282,2
	3	0,95	53,95	7,71	46,19	78,82	28,18	50,64	396,56	17,82	378,75	206,28	736,6
	4	0,65	313,40	7,02	306,39	270,99	40,92	230,08	170,50	15,30	155,16	149,85	905,4
PAS Altitude 2	1	0,68	39,86	9,86	30,01	35,88	26,40	9,48	56,49	23,93	32,50	246,92	379,8
	2	0,62	40,61	8,77	31,79	35,89	24,15	11,75	56,92	24,39	32,53	141,35	275,4
	3	1,47	43,97	8,30	35,67	64,25	24,24	40,01	395,32	17,92	377,41	183,34	688,4
	4	1,23	362,86	9,11	353,69	242,09	39,76	202,28	132,17	18,60	113,58	132,85	871,2
EUC Altitude 1	1	0,80	42,30	6,10	36,25	45,92	24,33	21,59	53,16	15,63	37,54	155,15	297,3
	2	0,80	43,99	7,14	36,86	45,63	19,10	26,53	51,10	17,30	33,81	129,86	271,4
	3	1,62	53,07	10,29	42,78	84,85	24,44	60,41	131,81	17,14	114,68	210,30	481,7
	4	1,59	341,37	7,33	334,10	296,06	37,24	258,82	169,36	16,91	152,46	120,81	929,2
EUC Altitude 2	1	0,46	39,11	5,60	33,51	35,38	28,24	7,09	56,85	22,21	34,64	229,74	361,5
	2	0,45	42,40	6,54	35,86	44,10	24,16	19,95	55,07	24,15	30,92	137,05	279,1
	3	0,82	43,43	9,02	34,36	71,89	25,62	46,27	330,08	18,64	311,45	150,47	596,7
	4	0,53	311,21	5,28	305,88	202,76	42,12	160,64	138,15	10,29	127,87	105,81	758,5

SAF: sistema agroflorestal, FS: floresta secundária, PAS: pastagem, EUC: eucalipto, Pi: P inorgânico, Po: P orgânico e Pt: P total.

Avaliando a influência da altitude nos sistemas de uso do solo, verifica-se efeito significativo somente para a fração PML, refletindo em valores superiores para a altitude 1 (C1 Tabela 3). Na altitude 1, as condições edafoclimáticas podem ter propiciado maior ciclagem de nutrientes nos sistemas, justificando o aumento dos teores de PML em relação a altitude 2. Segundo Luizão et al. (2007) a ciclagem de nutrientes nas regiões tropicais é favorecida pelas condições de umidade e temperatura de cada local e que, principalmente ao que diz respeito ao P, as chuvas e, conseqüentemente a deposição de MOS, representam o maior fluxo de entrada de P para os sistemas.

A ciclagem da MOS na altitude 1, uma vez que as frações de PML estão diretamente associadas a MOS. Esse fato é corroborado pelos elevados teores de COT nesses sistemas (Tabela 1). Na fração PML predominam formas orgânicas (Bowman e Cole, 1978) e P coordenado ao Fe e Al dos óxidos (Rheinheimer e Anghinoni, 2001).

A fração PML é um importante compartimento de P para os diferentes sistemas de uso do solo, especialmente no SAF e FS (Tabela 2). A PML pode suprir os componentes mais lábeis e também fornecer P para os compartimentos mais estáveis (Busato et al., 2005). Souza et al. (2008), estudando as diferentes frações de P em SAF, verificaram maiores teores de Pt na PML ( $567 \text{ mg dm}^{-3}$ ) em relação a PL ( $103 \text{ mg dm}^{-3}$ ) e PLR ( $306 \text{ mg dm}^{-3}$ ).

A característica oxidica de solos de região tropical, a baixa disponibilidade dos teores disponíveis de P e a não realização de adubação fosfatada podem ter contribuído para que não se encontrassem diferenças significativas entre as altitudes, para o compartimento PL (Tabela 3, C1). Nesses tipos de solo, a maior parte do P encontra-se adsorvida à superfície dos óxidos de Fe e Al, sendo necessárias práticas de calagem e adubação para a disponibilização das formas mais lábeis de P (Rheinheimer et al., 2008).

Tabela 3- Contrastes ortogonais (C) das frações de P (PL, PML, PLR), para os diferentes sistemas de uso em estudo (SAF, FS, PAS e EUC) nas diferentes altitudes, e classes de agregados.

Contraste	PL	PML	PLR
C1	-4,27 <sup>ns</sup>	28,76 <sup>**</sup>	0,32 <sup>ns</sup>

C1: Altitude 1 vs Altitude 2 (+,-), PL: P lábil, PML: P moderadamente lábil, PLR: P labilidade restrita, \*, \*\* e ns significativo em 5 % e a 1% de probabilidade e em 1 % de probabilidade e não significativo, respectivamente, pelo Teste F.

De maneira geral, no contraste C2 (Tabela 4) a superioridade do SAF e da FS com maiores teores de P nas frações PL e PML em relação aos demais sistemas (EUC e PAS). O padrão de decréscimo de P nas frações pouco lábeis e aumento nas frações lábeis foi verificado por Gatiboni et al. (2007) e por Souza et al. (2008) em estudo sobre a dinâmica de P em SAF.

Souza et al. (2008) afirmam que ao longo do tempo de adoção de um SAF, espera-se o acúmulo de P nas formas mais lábeis devido ao aumento do aporte e dos tipos de resíduos sobre o solo. Tokura et al. (2002) verificaram maior PML em áreas de cultivo conservacionista (26,6 e 13,3 mg kg<sup>-1</sup>) em relação às áreas não cultivadas (6,5 e 4,3 mg kg<sup>-1</sup>). Maranguit et al. (2017), estudando a dinâmica de P em monocultivos e SAF, verificaram que a diminuição da PML no monocultivo indica que as formas mais disponíveis de P estão associadas a MOS.

Costa et al. (2016), discutem que o conteúdo de P no solo, principalmente no que diz respeito às formas mais lábeis, está diretamente relacionado ao COT e que a sua labilidade está associada à mineralização da fração orgânica na qual o íon fosfato está adsorvido e que, em solos com baixa adição de P, sua disponibilidade está relacionada à ciclagem da MOS.

Tabela 4- Contrastes ortogonais (C) das frações de P (PL, PML, PLR), para os diferentes sistemas de uso em estudo (SAF, FS, PAS e EUC) nas diferentes altitudes e classes de agregados

Contraste	Altitude 1			Altitude 2		
	PL	PML	PLR	PL	PML	PLR
C2	-0,17 <sup>ns</sup>	18,40**	-2,13 <sup>ns</sup>	10,67*	4,92*	-37,15**
C3	9,22 <sup>ns</sup>	15,68**	39,90**	4,34 <sup>ns</sup>	12,50**	-67,28**
C4	-8,11 <sup>ns</sup>	-9,13**	68,17**	13,19*	5,99*	15,18*

C2: FS + SAF vs PAS + EUC (++,-); C3: SAF vs EUC + PAS (2+,-); C4: EUC vs PAS (+,-), PL: P lábil, PML: P moderadamente lábil, PLR: P labilidade restrita., \* e \*\* significativo em 5 % e em 1% de probabilidade e em 1 % de probabilidade, respectivamente, pelo Teste F.

A respeito das frações PML do C2 (Tabela 4), ambas foram superiores na altitude 1. Já para a fração PLR, as mesmas foram superiores na altitude 2. Efeitos do clima, como umidade e variações de temperatura têm favorecido o acúmulo de MOS em áreas de maior altitude, resultando em elevadas proporções de PML (Tiessen et al., 1994; Araújo et al.,2004).

De maneira geral, pelo contraste C3 (Tabela 4), o SAF mostrou-se superior ao EUC e PAS, para as frações PML e PLR. Xavier et al. (2011), estudando as frações de P

em diferentes sistemas de uso do solo no bioma Mata Atlântica verificaram maiores teores totais de P, em solos sob vegetação nativa (1361,3 mg kg<sup>-1</sup>), seguidos por SAF (988,1 mg kg<sup>-1</sup>) e monocultivo de café (954,7 mg kg<sup>-1</sup>). Os mesmos autores discutem que nos sistemas conservacionistas os maiores teores de Po podem ter contribuído para os maiores teores de Pt, conferindo ao compartimento orgânico um importante papel na disponibilidade desse nutriente nesses sistemas.

Nota-se pelo contraste C4 (Tabela 4), que o EUC apresentou comportamento superior a PAS em todas as frações, com exceção da fração PML na altitude 1. O maior aporte de MOS proporcionado pelo EUC, principalmente se comparado à pastagem (Pulrolnik et al., 2009), pode justificar esse resultado. Neufeldt et al. (2000) verificaram maiores teores de PL em monocultivo de eucalipto (50 mg kg<sup>-1</sup>) em relação à pastagem (38 mg kg<sup>-1</sup>) e discutem que os maiores níveis dessa fração estão relacionados à maior ciclagem da MOS resultante do maior aporte de serapilheira no sistema EUC. Ainda segundo os mesmos autores, na pastagem predominaram as formas mais recalcitrantes de P, indicando que essa fração não contribuiu para o tamponamento das formas mais lábeis.

Visualiza-se aumento nos teores de P em todas as frações (PL, PML, PLR) conforme diminuição do diâmetro das classes de agregados do solo, como demonstrado pelos contrastes C5, C6 e C7 (Tabela 5). Esse fato pode ser justificado pela maior área superficial específica das menores partículas de solo, proporcionando assim, maior superfície disponível para adsorver esse nutriente. Segundo Brantley e Mellott (2000), a área a área superficial específica de uma amostra de solo está diretamente relacionada com a mineralogia da fração argila, e ambas as propriedades em uma amostra influenciam a adsorção de P.

Wright (2009) verificou maiores teores de P total conforme diminuição do tamanho dos agregados do solo para os dois usos do solo estudados (pastagem e monocultivo de cana de açúcar), atribuindo esse resultado à maior área superficial específica proporcionada pelas menores partículas do solo. Ainda segundo Linqvist et al. (1997) a adsorção do P geralmente aumenta com a diminuição do tamanho do agregado devido ao aumento da área superficial específica.

Tabela 5- Contrastes ortogonais (C) das frações de P (PL, PML, PLR), para os diferentes sistemas de uso em estudo (SAF, FS, PAS e EUC) nas duas altitudes e classes de agregados

		ALTITUDE 1			ALTITUDE 2		
		C5	C6	C7	C5	C6	C7
SAF	PL	-162,4**	1,65 <sup>ns</sup>	-314,41**	-152,68**	0,52 <sup>ns</sup>	-307,72**
	PML	-182,7 <sup>ns</sup>	-1,75 <sup>ns</sup>	-270,38 <sup>ns</sup>	-118,29 <sup>ns</sup>	-2,41 <sup>ns</sup>	-169,58 <sup>ns</sup>
	PLR	-230,0**	-6,33 <sup>ns</sup>	184,70**	-61,09 <sup>ns</sup>	1,62 <sup>ns</sup>	-77,66**
FS	PL	-129,7**	0,6 <sup>ns</sup>	-232,7**	-183,2**	-2,4 <sup>ns</sup>	-348,3**
	PML	-185,2 <sup>ns</sup>	0,93 <sup>ns</sup>	-274,9**	-92,3 <sup>ns</sup>	7,36 <sup>ns</sup>	-150,2 <sup>ns</sup>
	PLR	-86,54 <sup>ns</sup>	-5,2 <sup>ns</sup>	-127,42 <sup>ns</sup>	-185,34**	-1,57 <sup>ns</sup>	204,6**
EUC	PL	-142,3**	-3,0 <sup>ns</sup>	-259,2**	-163,9**	-0,64 <sup>ns</sup>	-318,7**
	PML	-131,8 <sup>ns</sup>	-0,21 <sup>ns</sup>	-192,16 <sup>ns</sup>	-117,27 <sup>ns</sup>	-0,02 <sup>ns</sup>	-177,8 <sup>ns</sup>
	PLR	-227,9**	-0,59 <sup>ns</sup>	226,07**	-207,05**	-0,44 <sup>ns</sup>	263,12**
PAS	PL	-154,9**	-1,69 <sup>ns</sup>	-288,31**	-136,8**	-3,26 <sup>ns</sup>	-267,48**
	PML	-144,6 <sup>ns</sup>	0,27 <sup>ns</sup>	-211,21 <sup>ns</sup>	-97,58 <sup>ns</sup>	-8,75 <sup>ns</sup>	-130,90 <sup>ns</sup>
	PLR	-98,44**	2,03 <sup>ns</sup>	-37,58**	-178,16**	1,79 <sup>ns</sup>	-191,96**

C5: Classe 1 + Classe 2 vs Classe 3 + Classe 4 (2+,2-); C6: Classe 1 vs Classe 2 (+,-); C7: Classe 3 vs Classe 4 (+,-). PL: P lábil, PML: P moderadamente lábil, PLR: P labilidade restrita, \* e \*\* significativo a 5 % e a 1% de probabilidade e a 1 % de probabilidade, respectivamente, pelo Teste F.

Adesosum et al. (2007) verificaram maiores teores de P disponível com a diminuição do tamanho das classes de agregados (30 e 90 mg kg<sup>-1</sup>), tanto em solos cultivados quanto em solos não cultivados. O mesmo padrão também foi observado para os teores de COT e NT, indicando a relação entre a dinâmica desses elementos. Matos et al. (2008) encontraram os maiores valores de P total na classe de agregados 0,250- 0,105 mm, (941,6 mg kg<sup>-1</sup>) e os menores valores na classe 4-2 mm (830 mg kg<sup>-1</sup>), e discutem que a maior concentração de Pt em microagregados pode estar associada ao maior teor de MOS, possivelmente pelos maiores incrementos das formas orgânicas de P. Essa tendência de acúmulo de P em agregados menores contradizem os trabalhos de Bhatnagar et al. (1985), Mbagwu e Piccolo (1990) e Adesodun et al. (2005).

Rita et al. (2013) discutem que o tipo de cobertura vegetal e, conseqüentemente, o acúmulo de MOS e aporte de nutrientes ao solo afetam diretamente a estabilidade e formação de agregados e que, esses fatores em conjunto, tiveram efeitos significativos na PL e no teor total de P. Os mesmos autores verificaram maiores teores de P lábil na classe de agregado <0,25 mm (11,8 mg kg<sup>-1</sup>), seguidas da classe >2,0 mm (3,5 mg kg<sup>-1</sup>) e 2,0-0,25 mm (2,2 mg kg<sup>-1</sup>) em solos sob cobertura florestal.

#### **4. CONCLUSÃO**

Os sistemas conservacionistas (FS e SAF) apresentaram comportamento superior nos teores de P nas frações PL e PML em relação aos sistemas convencionais (EUC e PAS) em ambas as altitudes.

O fracionamento sequencial de P mostrou que, de maneira geral, as formas PLR predominaram em relação ao teor total de P em todos os usos do solo, nas duas altitudes.

As classes de agregados do solo com menor diâmetro apresentaram maiores teores de P em todas as frações.

#### **5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Adesodun JK, Adeyemi EF, Oyegoke CO. Distribution of nutrient elements within water-stable aggregates of two tropical agro-ecological soils under different land uses. *Soil and Tillage Research*. 2007;92:190-97.

Adeyemi EF, Silveira ML, Xu S, Gerber S, Sollenberger LE, Martin TA. Management intensification impacts on soil and ecosystem carbon stocks in subtropical grasslands. *Soil Science Society of America Journal*. 2013;78:977-86.

Almeida B, Donagemma GK, Ruiz HÁ. Comunicado técnico da Embrapa. 11p. 2012.

Almeida Já, Torrent J, Barrón V. Cor de solo, formas de fósforo e adsorção de fosfatos em Latossolos desenvolvidos de basalto do extremo sul do Brasil. *R. Bras. de Ci. Solo*. 2003;27:985-1002.

Andrade FV, Mendonça ES, Alvarez VVH, Novais RF. Adição de ácidos orgânicos e húmicos em Latossolos e adsorção de fosfato. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:1003-1011, 2003.

Araújo MSB, Schaefer, CEGR, Sampaio EVSB. (2004). Frações de fósforo após extrações sucessivas com resina e incubação, em Latossolos e Luvisolos do semi-árido de Pernambuco. *R. Bras. Ci. Solo*. 2014;28:259-68.

Bhatnagar VK, Miller MH, Ketcheson JW, 1985. Reason of fertilizer and liquid manure phosphorus with soil aggregates and sediment phosphorus enrichment. *J. Environ. Qual*. 1985;14:246-51.

Bowman R.A, Cole CV. Transformation of organic phosphorus substrates in soils as evaluated by NaHCO<sub>3</sub> extraction. *Soil Sci*. 1978;125:49-54.



- Busato JG, Canellas LP, Velloso ACX. Fósforo num Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar por longo tempo. I: Fracionamento seqüencial. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 2005. 29(6), 935-944.
- Cardoso IM, Van der Meer P, Oenema O, Janssen BH, Kuyper TW. Analysis of phosphorus by <sup>31</sup>P NMR in Oxisols under agroforestry and conventional coffee systems in Brazil. *Geoderma*, 2003;112:51-70.
- Chapius Lardy L, Brossard M, Lopes Assad ML, Laurent JY. Carbon and phosphorus stocks of clayey Ferralsols in Cerrado native and agroecosystems, Brazil. *Agric. Ecosyst. Environ.* 2002;92:147-58.
- Damodar Reddy, D.; Subba Rao, A. & Rupa, T.R. Effects of continuous use of cattle manure and fertilizer phosphorus on crop yields and soil organic phosphorus in a Vertisol. *Biores. Technol.* 2000;75:113-18.
- Gatiboni LC, Kaminski J, Rheinheimer DS, Flores JPC. Biodisponibilidade de formas de fósforo acumuladas em solo sob sistema plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo.* 2007;31:691-99.
- Linquist BA, Singleton PW, Yost RS, Cassman KG. Aggregate size effects on the sorption and release of phosphorus in an ultisol. *Soil Sci. Soc. Am.* 1997;61:160-166.
- Luizão FJ. Ciclos de nutrientes na Amazônia: respostas às mudanças ambientais e climáticas. *Ciência e Cultura.* 2007;59:31-36.
- Maranguit D, Guillaume T, Kuzyakov Y. Land-use change affects phosphorus fractions in highly weathered tropical soils. *Catena.* 2017;149:385-93.
- Matos ES, Mendonça ES, Leite LFC, Galvão JCC. Estabilidade de agregados e distribuição de carbono e nutrientes em Argissolo sob adubação orgânica e mineral. *Pesq. agropec. bras., Brasília.* 2008;43:1221-30.
- Mbagwu JSC, Piccolo A. Carbon, nitrogen and phosphorus concentration in aggregates of organic waste-amended soils. *Biol. Wastes* 1990;31:97-111.
- Meurer JE. Introdução à ciência do solo, In: Meurer, E.J. *Fundamentos de química do solo, gênese*, Porto Alegre. 2000;11-21.
- Neufeldt H, Silva JE, Ayarza MA, Zech W. Land-use effects on phosphorus fractions in Cerrado oxisols. *Biology and Fertility of Soils.* 2000;31:30-37.

- Novais RF, Smyth TJ. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. UFV, DPS, Viçosa-MG. 1999;399.
- Pavinato PS. Disponibilidade de nutrientes no solo - decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. R. Bras. Ci. Solo. 2008;32:911-920.
- Pereira MG, Loss A, Beutler SJ, Torres JLS. Matéria orgânica leve e P remanescente em diferentes sistemas de manejo do solo. Pesq. agropec. Bras. 2010; Brasília, v.45, n.5, p.508-514.
- Projeto de Conservação e Utilização Sustentável na Diversidade Biológica Brasileira - PROBIO. Levantamento da cobertura vegetal nativa do Bioma Mata Atlântica. Rio de Janeiro: IESB - IGC; 2007.
- Pulrolnik K., Barros ND, Silva IR, Novais RF, Brandani CB. Estoques de carbono e nitrogênio em frações lábeis e estáveis da matéria orgânica de solos sob eucalipto, pastagem e cerrado no vale do Jequitinhonha-MG. R. Bras. Ci. Solo. 2009;33:1125-36.
- Rheinheimer DS, Anghinoni I. Distribuição do fósforo inorgânico em sistemas de manejo de solo. Pesq. Agropec. Bras. 2001;36:151-60.
- Rheinheimer DS, Cassol PC, Kaminski J, Anghinoni I. Fósforo orgânico do solo. In: SANTOS, G. A; SILVA, L.S. Canellas, L.P. CamARGO, F.A.O. Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicais. 2008;2:101-09.
- Rita JCDO, Gama-Rodrigues AC, Gama-Rodrigues EF, Zaia FC, Nunes DAD. Mineralization of organic phosphorus in soil size fractions under different vegetation covers in the north of Rio de Janeiro. R. Bras. Ci. Solo. 2013;37:1207-15.
- Selle GL. Ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais. Bioscience Journal, 2008;23.
- Smeck NE. Phosphorus dynamics in soils and landscapes. Geoderma. 1985;36:185-199.
- Souza EDD. Evolução da matéria orgânica, do fósforo e da agregação do solo em sistema de integração agricultura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. 2008.

- Tiessen H, Chacon P, Cuevas E. Phosphorus and nitrogen status in soils and vegetation along a toposequence of dystrophic rainforests on the upper Rio Negro. *Oecologia* 1994;99:145-150.
- Tokura A.M, Furtini Neto AE, Curi N. Alovisei, A.A. Formas de fósforo em solo sob plantio direto em razão da profundidade e tempo de cultivo. *Pesq. Agropec. Bras.*, 2002;37:1467-76.
- Xavier FADS, Almeida EF, Cardoso IM, Mendonça ES. Soil phosphorus distribution in sequentially extracted fractions in tropical coffee-agroecosystems in the Atlantic Forest biome, Southeastern Brazil. *Nutrient cycling in agroecosystems*. 2011;89:31-44.
- Zaia FC, Gama-Rodrigues AC, Gama-Rodrigues EF. Formas de fósforo no solo sob leguminosas florestais, floresta secundária e pastagem 63 no Norte Fluminense. *R. Bras. Ci. Solo*. 2008;32:1191-97.

## APÊNDICE



Figura 1- Sistemas de uso do solo da altitude 2 pertencente ao distrito de Lagoa Seca, onde A: Sistema Agroflorestal, B: Floresta Secundária, C: Pastagem e D: Eucalipto.



Figura 2- Sistemas de uso do solo da altitude 2 pertencente ao distrito de Lagoa Seca, onde A: Sistema Agroflorestal e B: Floresta Secundária.

