

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

ALINE ALVES RODRIGUES

**QUALIDADE DE SOLOS EM DIFERENTES COBERTURAS VEGETAIS NO
BIOMA MATA ATLÂNTICA – ES**

ALEGRE – ES
FEVEREIRO – 2019

ALINE ALVES RODRIGUES

**QUALIDADE DE SOLOS EM DIFERENTES COBERTURAS VEGETAIS NO
BIOMA MATA ATLÂNTICA – ES**

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

Orientador: Prof. PhD Eduardo de Sá Mendonça

Co-orientador: Prof. DSc Diego Lang Burak

ALEGRE – ES
FEVEREIRO – 2019

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor.

R696q Rodrigues, Aline Alves, 1993-
Qualidade de solos em diferentes coberturas vegetais no Bioma Mata Atlântica – ES / Aline Alves Rodrigues. - 2019. 130 f. : il.

Orientador: Eduardo de Sá Mendonça.

Coorientador: Diego Lang Burak.

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

1. Agroecossistemas. 2. Mata Atlântica. 3. Análise discriminante canônica. 4. Fauna edáfica. 5. Qualidade do solo. I. Mendonça, Eduardo de Sá. II. Burak, Diego Lang. III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias e Engenharias. IV. Título.

CDU: 63

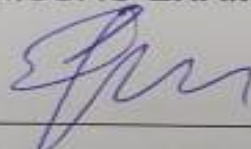
ALINE ALVES RODRIGUES

**QUALIDADE DE SOLOS EM DIFERENTES COBERTURAS VEGETAIS NO
BIOMA MATA ATLÂNTICA – ES**

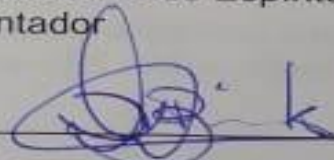
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em produção Vegetal do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestra em Produção Vegetal, na área de concentração de Solos e Nutrição de Plantas.

Aprovada em 28 de fevereiro de 2019.

COMISSÃO EXAMINADORA



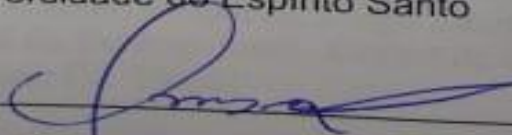
Prof. PhD. Eduardo de Sá Mendonça
Universidade do Espírito Santo
Orientador



Prof. DSc. Diego Lang Burak
Universidade do Espírito Santo
Co-orientador



Prof. DSc. Renato Ribeiro Passos
Universidade do Espírito Santo



Prof. DSc. Otacílio José Passos Rangel
Instituto Federal do Espírito Santo - *Campus Alegre*

Aos meus pais, Saulo (*in memoriam*) e Sônia, que me deram a vida e me guiaram com sabedoria ao caminho do bem.

Aos meus irmãos, Bruno, Sara e Adriana e ao meu sobrinho, Solano, pelo apoio, amor e fonte de energia diária.

Ao meu namorado, Ramon Canceglieri, pelo incentivo e amor diário.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A DEUS, toda minha gratidão pela vida, pela saúde, força e proteção diária e por permitir a concretização de mais esta etapa em minha vida.

À minha mãe e irmãos, Sônia, Bruno, Sara e Adriana, ao meu sobrinho, Solano, e ao meu namorado, Ramon, pelo apoio e incentivo.

Ao professor Eduardo de Sá Mendonça, pela orientação, amizade, conselhos, paciência e pelos ensinamentos a mim dedicados durante a realização deste estudo.

Ao professor Diego Lang Burak, pela orientação e paciência, pelo auxílio na estatística e ensinamentos a mim dedicados durante a realização deste estudo.

Ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, pela oportunidade de concluir o Mestrado.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001

Aos colegas, Diego Mathias, Aildson de Oliveira, Yuri Machado, pela ajuda durante as coletas de solo e análises laboratoriais de solo.

As minhas estagiárias, Amanda Faé Sartori e Francielle Santana, pela prontidão e relevante colaboração durante a realização das análises laboratoriais de solo.

Aos auxiliares de laboratório, Lenita Bolzan e Danilo Andrade, pela prontidão, auxílio, colaboração e boas risadas durante a realização das análises laboratoriais de solo.

Às amigas e amigos, Michele Melo, Elson Mendes, Wesley Batista, Dyana Spezzia, Amábile Menezes, Pâmella Andolfi e Lenita Bolzan pela amizade, risadas e bons momentos.

Aos professores Otacílio José Passos e Renato Ribeiro Passos pela gentileza em participar da comissão examinadora de defesa da dissertação e suas colaborações para o aperfeiçoamento deste estudo.

Por fim, agradeço a oportunidade de fazer parte do Programa de Pós-graduação de Produção Vegetal e pelos conhecimentos e experiências adquiridas ao longo destes dois anos.

A persistência é o caminho do êxito.

Charles Chaplin

Completem a minha alegria, tendo o mesmo modo de pensar, o mesmo amor, um só espírito e uma só atitude.

Filipenses 2:2

RESUMO GERAL

RODRIGUES, Aline Alves. **Qualidade de solos em diferentes coberturas vegetais no Bioma Mata Atlântica – ES**. 2019. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre – ES. Orientador: Eduardo de Sá Mendonça. Co-orientador: Diego Lang Burak

A dissertação foi dividida em três capítulos e analisou como os atributos físicos, químicos e biológicos são influenciados pelo uso do solo e como eles influenciam a vegetação existente em local de Bioma Mata Atlântica no Espírito Santo – ES. O primeiro capítulo avaliou as alterações nos atributos físicos e químicos de solos sob sistemas de cultivo de café (CF), banana (BN) e eucalipto (EU), tendo como referência o solo sob condições naturais (MT) em fragmento da Mata Atlântica. O estudo foi realizado em Santa Teresa – ES. As coletas de solo foram realizadas em três propriedades agrícolas e em um fragmento de Mata Atlântica nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm no período do verão, a fim de avaliar os atributos físicos e químicos do solo. Os resultados foram submetidos à análise de estatística descritiva e multivariada. Os resultados indicaram que o solo de BN e MT apresentaram melhores valores quanto às características químicas e físicas, como maiores teores de bases trocáveis (Ca, Mg), porosidade e menor densidade. Em contrapartida, os solos de EU e CF apresentaram maior acidez potencial (H+Al) e menos nutrientes disponíveis. A utilização da análise discriminante canônica para os atributos físicos e químicos demonstrou que houve separação entre as áreas. Os atributos DMP, T, COT, Ds, PT, Ca+Mg e MOL foram os que mais discriminaram os usos do solo. Esses atributos permitiram determinar o índice de qualidade dos sistemas estudados (IQS), comprovando que o cultivo de BN proporcionou a manutenção da qualidade do solo em condições semelhantes e/ou melhores que a condição de MT, IQS de 0,8 e 0,72, respectivamente. Esse resultado está relacionado a maior fertilidade de solo na área de BN, devido ao uso de adubação química e calagem e manutenção da matéria orgânica. No segundo capítulo, o objetivo foi quantificar os diferentes compartimentos da matéria orgânica, medir a emissão de CO₂ e avaliar a fauna edáfica dos usos em estudo. As coletas de solo foram feitas em duas profundidades (0-10 e 10-20 cm) e duas épocas (verão e inverno). Os resultados foram submetidos à análise de estatística descritiva e multivariada. A MT e BN se destacaram, com maiores valores de COT, CBM e C e N das substâncias húmicas. As emissões de CO₂ sob MT foram superiores às áreas agrícolas. Os atributos biológicos e compartimentos da matéria orgânica: Nmin, COT, CBM, Coxi3, C-HU, N-HU, C-FAH, N-FAH, N-FAF, MOL e qMIC, juntamente com os grupos de fauna edáfica, especialmente Haplotaxida, Isopoda, Coleoptera e Hymenoptera, contribuíram efetivamente para a separação entre as áreas estudadas. Os resultados indicam que as áreas com maior aporte de matéria orgânica foram as que destacaram quanto aos atributos biológicos, reforçando a importância do manejo adequado das culturas e de um sistema sustentável para garantir a produtividade das culturas e a qualidade dos solos. No terceiro capítulo o objetivo foi avaliar a influência dos atributos físicos, químicos e biológicos na ocorrência de vegetação de candeia dentro de um fragmento de Mata Atlântica - ES. As coletas de solo foram realizadas na Reserva Biológica Augusto Ruschi, em áreas de vegetação típica da floresta ombrófila densa e em áreas com predomínio de candeia e samambaia. Realizou-se a caracterização química e física do solo nas profundidades 0-10 e 10-20 cm. A caracterização dos atributos biológicos foi realizada

na profundidade de 0-10 cm e 10-20 cm em duas épocas do ano, verão (fevereiro/2018) e inverno (agosto/2018). Os resultados indicaram que os solos com melhor fertilidade natural se correlacionaram com a candeia (CN), apresentando maior teor de Ca^{2+} e menor teor de Al^{3+} . Quanto à caracterização biológica, a MT destacou-se nos teores de CBM, NBM e C das frações oxidáveis. As áreas não apresentaram diferenças significativas quanto à emissão de CO_2 . Quanto à fauna edáfica, a CN apresentou o maior número de indivíduos, no verão e no inverno. As áreas apresentaram pequenas diferenças nos atributos estudados, não sendo suficientes para explicar o surgimento de áreas de candeia dentro da Reserva Augusto Ruschi em Santa Teresa – ES.

Palavras-chave: Agroecossistemas, Mata Atlântica, análise discriminante canônica, fauna edáfica, qualidade do solo.

GENERAL ABSTRACT

RODRIGUES, Aline Alves. **Soil quality in different vegetation cover in the Atlantic Forest Biome - ES**

The dissertation was divided into three chapters and analyzed how the physical, chemical and biological attributes are influenced by land use and how they influence the existing vegetation in the Atlantic Forest Biome site in Espírito Santo. The first chapter evaluated the changes in the physical and chemical attributes of soils under coffee, banana and eucalyptus systems, with reference to soil under natural conditions in a fragment of the Atlantic Forest. The study was carried out in Santa Teresa - ES. Soil samples were collected from three farms and one Atlantic Forest fragment at depths of 0-10 and 10-20 cm in the summer, in order to evaluate soil physical and chemical attributes. The results were submitted to descriptive and multivariate analysis. The results indicated that BN and MT soil showed better values for chemical and physical characteristics, such as higher exchangeable bases contents (Ca, Mg), porosity and lower density. On the other hand, the soils of the EU and CF showed higher potential acidity (H + Al) and less available nutrients. The use of canonical discriminant analysis for the physical and chemical attributes showed that there was separation between the areas. The attributes DMP, T, COT, Ds, PT, Ca + Mg and MOL were the ones that most discriminated land uses. These attributes allowed to determine the quality index of the studied systems (IQS), proving that the cultivation of BN provided the maintenance of the quality of the soil in conditions similar and/or better than the MT, IQS condition of 0.8 and 0.72, respectively. This result is related to higher soil fertility in the area of BN due to the use of chemical fertilization and liming and maintenance of organic matter. In the second chapter, the objective was to quantify the different compartments of the organic matter, to measure CO₂ emission and to evaluate the edaphic fauna of the studied uses. Soil samples were collected in two depths (0-10 and 10-20 cm) and two seasons (summer and winter). The results were submitted to descriptive and multivariate analysis. MT and BN stood out, with higher COT, CBM and C and N values of the humic substances. The CO₂ emissions under MT were higher than the agricultural areas. The biological attributes and compartments of organic matter: Nmin, COT, CBM, Coxi3, C-HU, N-HU, C-FAH, N-FAH, N-FAF, MOL and qMIC, together with groups of edaphic fauna, especially Haplotaxida, Isopoda, Coleoptera and Hymenoptera, contributed effectively to the separation between the studied areas. The results indicate that the areas with the highest organic matter input were those that emphasized the biological attributes, reinforcing the importance of adequate crop management and a sustainable system to guarantee crop productivity and soil quality. In the third chapter the objective was to evaluate the influence of the physical, chemical and biological attributes on the occurrence of candeia vegetation within a fragment of Atlantic Forest - ES. Soil collections were carried out in the Augusto Ruschi Biological Reserve, in typical vegetation areas of dense ombrophilous forest and in areas with predominance of candeia and fern. The chemical and physical characterization of the soil was performed at depths 0-10 and 10-20 cm. The characterization of the biological attributes was performed at depths of 0-10 cm and 10-20 cm in two seasons of the year, summer (February/2018) and winter (August/2018). The results indicated that the soils with the best natural fertility correlated with the candeia (CN), presenting higher Ca²⁺ content and lower Al³⁺ content. As for the biological characterization, MT was found in the CBM, NBM and C

contents of the oxidizable fractions. The areas did not present significant differences regarding the emission of CO₂. Regarding the edaphic fauna, the CN presented the largest number of individuals, in summer and in winter. The areas presented small differences in the attributes studied, not being enough to explain the appearance of areas of light within the Augusto Ruschi Reserve in Santa Teresa - ES.

Keywords: Agroecosystems, Atlantic Forest, canonical discriminant analysis, edaphic fauna, soil quality.

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Tabela 1 – Atributos físicos do solo em diferentes sistemas de uso do solo e remanescente Florestal nativo, nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm -----	37
Tabela 2 – Atributos químicos do solo em diferentes sistemas de uso do solo e remanescente Florestal nativo, nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm -----	40
Tabela 3 – Resultados da proporção explicada, autovalor e correlação canônica das funções discriminantes canônicas geradas e cargas discriminantes das variáveis utilizadas, na profundidade de 0-10 cm e 10-20 cm -----	42
Tabela 4 – Parâmetros das funções de pontuação dos indicadores de qualidade do solo -----	44
Tabela 5 – Pesos numéricos associados aos indicadores e aos atributos do solo para determinação do índice de qualidade do solo -----	45

CAPÍTULO 2

Tabela 1 – Características químicas e físicas, profundidade de 0-10 e 10-20 cm, em diferentes sistemas de uso de solo e remanescente florestal nativo de Mata Atlântica, Santa Teresa – ES -----	69
Tabela 2 – Frações da matéria orgânica e atributos biológicos do solo em diferentes sistemas de uso do solo e remanescente Florestal nativo, no período de verão, nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm -----	71
Tabela 3 – Frações da matéria orgânica e atributos biológicos do solo em diferentes sistemas de uso do solo e remanescente Florestal nativo, no período de inverno, nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm -----	75
Tabela 4 – Valores médios de temperatura, umidade, efluxo de CO ₂ do solo, efluxo de CO ₂ normalizado a 25° (R25), sensibilidade à variação de temperatura em 10°C (Q10) e quociente metabólico (qCO ₂), nos períodos de verão e inverno, em diferentes sistemas de uso e em fragmento de mata nativo -----	77
Tabela 5 – Fauna edáfica, densidade, riqueza, índice de Simpson, índice de Shannon e índice de pilou em diferentes sistemas de uso do solo e de fragmento de mata nativa, nos períodos de verão e inverno -----	79

Tabela 6 – Resultados da proporção explicada, autovalor e correlação canônica das funções discriminantes canônicas geradas e cargas discriminantes das variáveis utilizadas, no período verão e inverno, respectivamente ----- 80

Tabela 7 – Funções canônicas discriminantes 1 (FCD₁) e 2 (FCD₂), referentes aos grupos organismos da fauna edáfica, na região de Santa Teresa, ES, em dois períodos de coleta ----- 81

CAPÍTULO 3

Tabela 1 – Granulometria no fragmento de Mata Atlântica, com vegetação nativa (MT) e vegetação alterada (CN), profundidade de 0-10 e 10-20 cm ----- 109

Tabela 2 – Atributos físicos do solo no fragmento de Mata Atlântica, com vegetação nativa (MT) e vegetação alterada (CN), profundidade de 0-10 e 10-20 cm ----- 109

Tabela 3 – Atributos químicos do solo no fragmento de Mata Atlântica, com vegetação nativa (MT) e vegetação alterada (CN), na profundidade de 0-10 e 10-20 cm ----- 111

Tabela 4 – Atributos químicos e biológicos do solo no fragmento de Mata Atlântica, com vegetação nativa (MT) e vegetação alterada (CN), no período de verão e inverno, na profundidade de 0-10 e 10-20 cm ----- 112

Tabela 5 – Valores médios de temperatura, umidade, efluxo de CO₂ do solo, efluxo de CO₂ normalizado a 25° (R25), sensibilidade à variação de temperatura em 10°C (Q10) e quociente metabólico (qCO₂), nos períodos de verão e inverno, no fragmento de Mata Atlântica, com vegetação nativa (MT) e vegetação alterada (CN) ----- 114

Tabela 6 – Fauna edáfica, densidade, riqueza, índice de Simpson, índice de Shannon e índice de pilou, no fragmento de Mata Atlântica, com vegetação nativa (MT) e vegetação alterada (CN), nos períodos de verão e inverno ----- 115

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

- Figura 1** – Climograma da região de Santa Teresa, Espírito Santo P – Precipitação; T_{máx} – Temperatura máxima; T_{mín} – Temperatura mínima; TEMP – Temperatura média para o ano de 2018 ----- 31
- Figura 2** – Croqui dos pontos de amostragem das áreas em estudo, Santa Teresa – ES ----- 32
- Figura 3** – Densidade, porosidade total, macroporosidade e microporosidade do solo em diferentes sistemas de uso do solo e remanescente Florestal nativo, nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm ----- 38
- Figura 4** – Soma de bases dos solos em diferentes usos agrícolas na profundidade de 0-10 e 10-20 cm ----- 41
- Figura 5** – Carbono Orgânico Total em diferentes usos agrícolas na profundidade 0-10 e 10-20 cm ----- 41
- Figura 6** – Análise Discriminante Canônica com base nas variáveis do solo nas diferentes áreas estudadas nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm ----- 43

CAPÍTULO 2

- Figura 1** – Carbono e Nitrogênio da biomassa microbiana em diferentes usos do solo, nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, no período de verão ----- 72
- Figura 2** – Matéria orgânica leve em água (MOL) e quociente microbiano (qMIC) em diferentes usos do solo, nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, no período do verão ----- 73
- Figura 3** – Nitrogênio mineralizável (N_{min}) em diferentes usos do solo, nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, no período do verão ----- 74
- Figura 4** – Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana em diferentes usos do solo, nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, no período de inverno ----- 74
- Figura 5** – Quociente microbiano (qMIC) em diferentes usos do solo, nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, no período de inverno ----- 76

CAPÍTULO 3

- Figura 1** – Mapa de vegetação da Reserva Biológica Augusto Ruschi – área 1: candeia, área 2: mata nativa em Santa Teresa – ES ----- 104

Figura 2 – Climograma da região de Santa Teresa, Espírito Santo. Precipitação; T _{máx} – Temperatura máxima; T _{mín} – Temperatura mínima; TEMP – Temperatura média para o ano de 2018 -----	105
Figura 3 – Valores médios da resistência a penetração no fragmento de Mata Atlântica, com vegetação nativa (MT) e vegetação alterada (CN). Valor médio obtido através de 96 medições no penetrólogo em cada área em estudo -----	110
Figura 4 – Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana nos solos de mata e candeia, nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, nos períodos de verão e inverno -----	113
Figura 5 – Nitrogênio mineralizável (N _{min}) nos solos de mata e candeia, nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, nos períodos de verão e inverno -----	114

SÚMARIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	18
2. OBJETIVOS	21
2.1. Geral.....	21
2.2. Específicos	21
3. REFERÊNCIAS	21
CAPÍTULO 1: IMPACTO DE SISTEMAS AGRÍCOLAS SOBRE A QUALIDADE DO SOLO NO BIOMA MATA ATLÂNTICA NO ESPÍRITO SANTO	25
Resumo.....	25
Abstract.....	26
1. INTRODUÇÃO	27
2. MATERIAIS E MÉTODOS	29
2.1. Caracterização dos sistemas de uso em estudo	29
2.2. Amostragem e preparo das amostras	31
2.3. Análises físicas do solo	32
2.4. Análises químicas do solo	33
2.5. Análise estatística dos dados	34
2.6. Determinação do Índice de Qualidade do Solo (IQS).....	35
3. RESULTADOS	36
3.1. Caracterização física do solo.....	36
3.2. Caracterização química dos solos.....	38
3.3. Efeito dos sistemas de uso sobre os atributos do solo.....	42
4. DISCUSSÃO	45
5. CONCLUSÕES	51
6. REFERÊNCIAS	52
CAPÍTULO 2: MATÉRIA ORGÂNICA E ATRIBUTOS BIOLÓGICOS DE QUALIDADE DO SOLO EM DIFERENTES SISTEMAS AGRÍCOLAS IMPLANTADOS NO BIOMA MATA ATLÂNTICA	60
Resumo.....	60
Abstract.....	61
1. INTRODUÇÃO	62
2. MATERIAIS E MÉTODOS	64
2.1. Descrição dos sistemas de uso em estudo	64
2.2. Amostragem e preparo das amostras	64

2.3.	Análises laboratoriais do solo	65
2.3.1.	Análises da matéria orgânica do solo (MOS)	65
2.3.2.	Respiração basal de CO ₂ (Emissão de CO ₂)	67
2.3.3.	Fauna Edáfica	68
2.4.	Características físicas e químicas dos solos em estudo	69
2.5.	Análise Estatística	69
3.	RESULTADOS	70
3.1.	Frações da matéria orgânica e atributos biológicos dos solos	70
3.2.	Análise de componentes principais	79
4.	DISCUSSÃO	81
6.	REFERÊNCIAS	90
CAPÍTULO 3: RELAÇÃO ENTRE OS ATRIBUTOS DO SOLO E VEGETAÇÃO NA FLORESTA ATLÂNTICA NA REGIÃO SERRANA DO ESPÍRITO SANTO		
	Resumo	99
	Abstract	100
1.	INTRODUÇÃO	101
2.	MATERIAIS E MÉTODOS	103
2.1.	Caracterização da área de estudo	103
2.2.	Amostragem e preparo das amostras de solo	105
2.3.1.	Análises físicas do solo	106
2.3.2.	Análises químicas do solo	106
2.3.3.	Análises da matéria orgânica do solo (MOS)	106
2.3.4.	Fauna Edáfica	107
2.4.	Análise Estatística	108
3.	RESULTADOS	108
4.	DISCUSSÃO	116
5.	CONCLUSÃO	121
6.	REFERÊNCIAS	121
	CONSIDERAÇÕES GERAIS	127
	ANEXOS	129

1. INTRODUÇÃO GERAL

Os ecossistemas naturais apresentam integração equilibrada entre a cobertura vegetal e os atributos físicos, químicos e biológicos do solo. A substituição desses ecossistemas por culturas agrícolas, geram mudanças nesse equilíbrio e nos atributos do solo (SOUZA; ALVES, 2003; PAULINO, 2013). O sistema de manejo empregado influencia os processos físicos, químicos e biológicos do solo, modificando seus atributos e, muitas vezes, podem propiciar sua degradação inviabilizando sua utilização ou aproveitamento agrícola (SANTOS, 2007).

Os efeitos das mudanças no uso da terra sobre os ecossistemas naturais, especialmente em Florestas Tropicais, têm recebido atenção no decorrer dos últimos anos, principalmente em relação à diminuição da biodiversidade de plantas, animais e alterações no armazenamento de carbono do solo (PARRON, 2004). Esse, processo vem acontecendo nas áreas sob floresta nativa da Mata Atlântica, que sofreram redução devido à expansão das áreas agrícolas cultiváveis, chegando a 7% da área original que perfazia 15% da extensão territorial do país (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA; INPE, 2016). Como consequência, há declínio do equilíbrio solo-planta e perda do potencial produtivo do solo.

No Brasil, grandes áreas de matas nativas foram desmatadas para o monocultivo de diversas espécies de interesse agrícola. Particularmente na região serrana de Santa Teresa-ES, as áreas antes ocupadas com Mata Atlântica foram substituídas, principalmente, pelo café, a banana e o eucalipto. Nessas áreas agrícolas, há necessidade de produzir com o uso mais intensivo do solo, tornando comum o uso de técnicas voltadas para o aumento da produção, afetando, muitas vezes negativamente, o solo e o meio ambiente. A utilização continuada de diferentes sistemas de manejo determina alterações em propriedades do solo, cuja intensidade depende do tempo de uso, tipo de manejo e das condições edafoclimáticas (PAULINO, 2013).

O uso inadequado dos solos e as alterações na dinâmica da matéria orgânica podem promover um desequilíbrio no ecossistema (COSTA et al., 2008). O manejo do solo pode diminuir os teores de matéria orgânica nas áreas agrícolas,

proporcionando a deterioração da qualidade biológica do solo com redução da atividade microbiana e da biodiversidade do solo (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007). Podem ainda perder a qualidade química caracterizada pela diminuição dos teores originais de matéria orgânica e de nutrientes, para valores abaixo dos considerados críticos para produtividade agrícola (QUEIROZ, 2013). Já a perda da qualidade física pode ser resultante de processos de desagregação, de compactação superficial e subsuperficial do solo (RICHART et al., 2005).

Estudos mostram que a lavoura de café, quando manejada de forma indevida, pode trazer consequências negativas ao solo, como compactação, perda de nutrientes via erosão, escoamento superficial e mineralização da matéria orgânica, gerando reflexos negativos na produtividade (ARAÚJO JÚNIOR et al., 2011). O aumento nas taxas de mineralização da matéria orgânica contribui para as emissões de C-CO₂ na atmosfera (THOMAZINI et al., 2015). Esses resultados também são encontrados para as lavouras de eucalipto (CHAER; TÓTOLA, 2007; GAMA-RODRIGUES; BARROS, 2002; PEREIRA; KER; ALMEIDA, 2012) e banana (LIMA; SILVA, 2013; ROSADO et al., 2012). Dessa forma, visando melhorar a qualidade do solo, deve-se empregar manejos adequados a fim de obter uma produção mais sustentável.

A agricultura causa mudanças no balanço e no fluxo dos ecossistemas preexistentes, limitando, dessa forma, as suas funções de auto-regulação. As formas de manejo e o uso inadequado dos solos degradam a qualidade química, física e biológica, reduzindo os serviços ambientais prestados (LAL et al., 2013), originando possíveis desequilíbrios que serão refletidos no desenvolvimento do ecossistema.

Os serviços ambientais provenientes do solo estão diretamente relacionados à qualidade do mesmo e são classificados como de provisão (ex. produção de alimentos), suporte (ex. ciclagem de nutrientes) e regulação (ex. sequestro de carbono, perda de solos por erosão) (PALM et al., 2013). De acordo com Doran (1997), a qualidade dos solos é definida como a capacidade de um solo funcionar dentro dos limites de um ecossistema natural ou manejado, para sustentar a produtividade de plantas e animais, manter ou aumentar a qualidade do ar e da água e promover a saúde das plantas, dos animais e dos homens, ou seja, uma

relação das funções que capacitam o solo a aceitar, estocar e reciclar água, nutrientes e energia.

A determinação da qualidade do solo é feita através de um conjunto de atributos físicos, químicos e biológicos que juntos representam as diferentes características do solo (CHERUBIN et al., 2015). Segundo Melo et al. (2017), esses atributos podem classificar a qualidade do solo e sua relação com o manejo, uma vez que os mesmos podem ter influência na produção e produtividade. Além disso, permitem o monitoramento do estado do solo a médio e longo prazo, entretanto, devem ser de fácil mensuração a campo e sensíveis às variações de manejo (PARRON et al., 2015).

Os atributos são classificados como alteráveis, pelo tipo de manejo, e permanentes, que são inerentes às características de cada solo (CAMARGO, 2016). Os atributos alteráveis são os mais utilizados como indicadores por estarem sujeitos às maiores alterações, em função dos sistemas de manejo (STEFANOSKI et al., 2013). Contudo, a distinção entre atributos permanentes e atributos alteráveis não são absolutos e também são dependentes do contexto em que são avaliados (SCHWILCH et al., 2016). Assim, a identificação de um conjunto de atributos sensíveis do solo, que refletem sua capacidade de funcionamento, pode ser utilizada como indicadores da qualidade do solo, uma vez que as variações dos atributos químicos, físicos e biológicos se manifestam no tempo e no espaço (PINTO, 2014).

O monitoramento da qualidade do solo fornecerá informações para um melhor manejo, visando combinar produção e sustentabilidade, promovendo a conservação do ecossistema como um todo. Dessa forma, torna-se importante fornecer subsídios para a manutenção da produção sustentável demonstrando a importância do monitoramento dos solos com relação à preservação de sua qualidade para uma produção continuada, tendo em vista a importância das avaliações da qualidade do solo relacionadas à segurança alimentar, conservação da água e à capacidade de manutenção produtiva do modelo apresentado ao longo do tempo.

2. OBJETIVOS

2.1. Geral

Compreender os impactos da implementação de diferentes usos do solo na sua qualidade e serviços ambientais em relação às áreas naturais protegidas de Mata Atlântica na Região Serrana do Espírito Santo.

2.2. Específicos

1. Avaliar a influência das práticas de uso agrícola nas características físicas e químicas do solo da área de reserva de Mata Atlântica e dos sistemas agrícolas.
2. Compreender os impactos do uso do solo na biodiversidade da fauna edáfica e nos compartimentos da matéria orgânica do solo em épocas do ano distintas (inverno e verão).
3. Avaliar a influência das práticas de uso agrícola sobre a emissão de CO₂, temperatura e umidade do solo.
4. Avaliar a influência das práticas de uso agrícola nos estoques de C e N do solo.
5. Avaliar a biodiversidade da fauna edáfica e as características físicas, químicas e biológicas sob os solos em remanescente florestais em áreas protegidas em épocas do ano distintas (inverno e verão).

3. REFERÊNCIAS

ARAÚJO JÚNIOR, C. F. et al. Capacidade de suporte de carga e umidade crítica de um Latossolo induzida por diferentes manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 115-131, 2011.

ARAÚJO, A.S.F.; MONTEIRO, R.T.R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal**, v.23, p. 66-75, 2007.

CAMARGO, F.F. **Indicadores físicos, químicos e biológicos da qualidade do solo em sistemas agroflorestais agroecológicos na área de preservação ambiental serra da Mantiqueira, MG**. 2016. 242f. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Lavras: UFLA, Lavras.

CHAER, G.M.; TÓTOLA, M.R. Impacto do manejo de resíduos orgânicos durante a reforma de plantios de eucalipto sobre indicadores de qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1381-1396, 2007.

CHERUBIN, M.R. et al. Qualidade física, química e biológica de um Latossolo com diferentes manejos e fertilizantes. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.39, p.615-625, 2015.

COSTA, F.S. et al. Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32. p. 323-332, 2008.

DORAN, J.W. Soil quality and sustainability. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 26., Rio de Janeiro, 1997. **Anais**. Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA & INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica no período 2014-2015**. São Paulo, 130 p. 2016.

GAMA-RODRIGUES, A.C.; BARROS, N.F. Ciclagem de nutrientes em floresta natural e em plantios de eucalipto e de dandá no sudeste da Bahia, Brasil. **Revista Árvore**, v. 26, p.193-207, 2002.

LAL, R. Enhancing ecosystem services with no-till. **Renewable Agriculture and Food Systems**, v. 28, p. 102–114, 2013.

LIMA, C.C.; SILVA, R.B. Qualidade Física e Estrutural de Cambissolos sob Cultivo de Banana em APP da sub-bacia Ribeira de Iguape. In: XXXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2013, Florianópolis. **Anais**. Florianópolis, 2013.

MELO, V.F. et al. Chemical and biological quality of the soil in different systems of use in the savana environment. **Revista Agro@ambiente on-line**, v.11, p.101-110, 2017.

PALM, C. et al. Conservation agriculture and ecosystem services: an overview. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Amsterdam, v. 187, p. 87-105, 2013.

PARRON, L. M. **Aspectos da ciclagem de nutrientes em função do gradiente topográfico em uma Floresta de galeria no Distrito Federal**. 2004. 202 f. Tese (Doutorado em Ecologia) – Instituto de Ciências Biológicas, Universidade de Brasília, UnB, Brasília.

PARRON, L. M. et al. **Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica**. Brasília: Embrapa, 2015. 370 p.

PEREIRA, T.T.C., KER, J.C., ALMEIDA, C.C. Qualidade de solos cultivados com eucalipto na região central de Minas Gerais: atributos físicos, químicos e mineralógicos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. v.7, p.706-713, 2012

PINTO, C. R. O. **Efeito do uso do solo sobre seus atributos na microrregião de Chapadinha-MA**. 2014. 85 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal.

QUEIROZ, A.F. **Caracterização e classificação de solos do município de Casa Nova-BA para fins de uso, manejo e conservação**. 2013. 75p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA), Mossoró-RN.

RICHART, A. et al. Compactação do solo: causas e efeitos. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 26, p.321-344, 2005.

ROSADO, T.L. et al. Efeito da cobertura vegetal nos atributos físicos de um Latossolo amarelo cultivado com banana. **Enciclopédia Biosfera**, v.8; p. 721, 2012.

SANTOS, J.D. **Influência de diferentes sistemas agrícolas nas propriedades físicas e químicas das camadas superficiais do solo**. 2007. 78p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Geografia, São José Da Lapa, MG.

SCHWILCH, G. et al. Operationalizing ecosystem services for the mitigation of soils threats: a proposed framework. **Ecological Indicators**, v.67, p 586-597, 2016.

SOUZA, Z. M.; ALVES, M. C.; Propriedades químicas de um Latossolo Vermelho Distrófico de Cerrado sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p.133-139, 2003.

STEFANOSKI, D. C. et al. Soil use and management and its impact on physical quality. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 17, p. 1301-1309, 2013.

THOMAZINI, A. et al. SOC dynamics and soil quality index of agroforestry systems in the Atlantic rainforest of Brazil. **Geoderma Regional**, Amsterdam, v. 5, p. 15-24, 2015.

CAPÍTULO 1

IMPACTO DE SISTEMAS AGRÍCOLAS SOBRE A QUALIDADE DO SOLO NO BIOMA MATA ATLÂNTICA NO ESPÍRITO SANTO

Resumo

O manejo dos sistemas agrícolas gera alterações nas propriedades físicas e químicas do solo, podendo reduzir a qualidade dos solos. Nesse contexto, objetivou-se avaliar as alterações nos atributos físicos e químicos de solos sob sistemas de cultivo de café (CF), banana (BN) e eucalipto (EU), tendo como referência o solo sob condições naturais (MT) em fragmento da Mata Atlântica. O estudo foi realizado em Santa Teresa – ES. As coletas de solo foram realizadas em três propriedades agrícolas e em um fragmento de Mata Atlântica nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm no período do verão, a fim de avaliar os atributos físicos e químicos do solo. Os resultados foram submetidos à análise de estatística descritiva e multivariada. O solo da área de BN apresentou maiores teores de bases trocáveis ($\text{Ca} = 5,30 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e $\text{Mg} = 1,26 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e pH (6,09). As demais áreas agricultáveis apresentaram baixos teores de bases trocáveis e altos teores de acidez potencial ($\text{H} + \text{Al} = 11,55 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e Al^{3+} ($1,04 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), e conseqüentemente apresentaram elevada acidez ativa ($\text{pH} = 4,77$). A área de MT apresentou teores baixos de nutrientes no solo ($\text{Ca} = 0,32 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{Mg} = 0,21 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{P} = 1,53 \text{ mg dm}^{-3}$ e $\text{K} = 32,5 \text{ mg dm}^{-3}$), entretanto, apresentou menor Ds ($0,95 \text{ kg m}^{-3}$), maior PT ($0,65 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) e DMP ($2,94 \text{ mm}$). As áreas agrícolas apresentaram valores maiores de Ds ($1,23 \text{ kg m}^{-3}$) e menor PT ($0,53 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) devido ao manejo empregado. A análise discriminante canônica explicou 91% da variância dos dados na profundidade de 0-10 cm e 86% na profundidade de 10-20 cm. Os atributos DMP, T, COT, Ds, PT, Ca+Mg e MOL foram os que mais discriminaram os grupos na profundidade de 0-10 cm e os atributos AGR, Ca+Mg, Al, Ds, PT, MACP e GF foram os que mais discriminaram os grupos na profundidade de 10-20 cm. Estes atributos permitiram construir o modelo de índice de qualidade dos sistemas estudados (IQS) ($\text{IQS} = 0,25 S_{\text{DMP}} + 0,125 S_{\text{DS}} + 0,125 S_{\text{PT}} + 0,25 S_{\text{COT}} + 0,125 S_{\text{T}} + 0,125 S_{\text{Ca+Mg}}$) para a região. O cultivo de BN proporcionou a manutenção da qualidade do solo em condições semelhantes e/ou melhores que a condição de MT, com IQS de 0,8 e 0,72, respectivamente. Esse resultado está relacionado a maior contribuição da qualidade química na área de BN, devido ao uso de adubação e calagem e manutenção dos resíduos orgânicos na área. Os sistemas CF e EU apresentaram menor IQS, em torno de 0,62. Os resultados indicam que o manejo adequado das culturas e a busca por sistemas sustentáveis proporcionam qualidade satisfatória dos solos.

Palavras-chave: Mata Atlântica, agroecossistemas, índice de qualidade do solo.

CHAPTER 1

IMPACT OF AGRICULTURAL SYSTEMS ON SOIL QUALITY IN THE ATLANTIC MATA BIOMA IN THE ESPÍRITO SANTO

Abstract

The management of the agricultural systems generates alterations in the physical and chemical properties of the soil, being able to reduce the quality of the soils. In this context, the objective was to evaluate the changes in the physical and chemical attributes of soils under coffee (CF), banana (BN) and eucalyptus (EU) systems, with reference to soil under natural conditions (MT) in a fragment of Atlantic forest. The study was carried out in Santa Teresa - ES. Soil samples were collected from three farms and one Atlantic Forest fragment at depths of 0-10 and 10-20 cm in the summer, in order to evaluate soil physical and chemical attributes. The results were submitted to descriptive and multivariate analysis. The soil of the BN area presented higher levels of exchangeable bases ($\text{Ca} = 5,30 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ and $\text{Mg} = 1,26 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) and pH (6,09). The other agricultural areas had low levels of exchangeable bases and high levels of potential acidity ($\text{H} + \text{Al} = 11,55 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) and Al^{3+} ($1,04 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), and consequently showed high active acidity (pH = 4,77). The area of MT presented low levels of nutrients in the soil ($\text{Ca} = 0,32 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, $\text{Mg} = 0,21 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, $\text{P} = 1,53 \text{ mg dm}^{-3}$ and $\text{K} = 32,5 \text{ mg dm}^{-3}$), however, presented lower Ds ($0,95 \text{ kg m}^{-3}$), higher PT ($0,65 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) and DMP (2,94 mm). The agricultural areas presented higher values of Ds ($1,23 \text{ kg m}^{-3}$) and lower PT ($0,53 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) due to the management used. The canonical discriminant analysis explained 91% of the data variance in the depth of 0-10 cm and 86% in the depth of 10-20 cm. The attributes DMP, CTC, COT, Ds, PT, Ca + Mg and MOL were the ones that more discriminated the groups in depth of 0-10 cm and attributes AGR, Ca + Mg, Al, Ds, PT, MACP and GF were the ones that discriminated the groups in the depth of 10-20 cm. These attributes allowed to construct the quality index model of the systems studied ($\text{IQS} = 0.25 \text{ S}_{\text{DMP}} + 0.125 \text{ S}_{\text{DS}} + 0.125 \text{ S}_{\text{PT}} + 0.25 \text{ S}_{\text{COT}} + 0.125 \text{ S}_{\text{CTC}} + 0.125 \text{ S}_{\text{Ca + Mg}}$) for the region. The cultivation of BN provided the maintenance of soil quality under similar and / or better conditions than the MT condition, with QSI of 0,8 and 0,72, respectively. This result is related to higher contribution of chemical quality in the area of BN, due to the use of fertilization and liming and maintenance of organic waste in the area. The CF and US systems presented lower IQS, around 0,62. The results indicate that proper crop management and the search for sustainable systems provide satisfactory soil quality.

Keywords: Atlantic forest, agroecosystems, soil quality index.

1. INTRODUÇÃO

A Mata Atlântica é considerada uma das áreas mais ricas em biodiversidade e mais ameaçada do planeta. O Bioma cobria cerca de 90% da extensão territorial do Estado do Espírito Santo, sendo o restante coberto por brejos, restingas, manguezais, campos rupestres e campos de altitude, considerados ecossistemas a ela associados. A partir dos anos 60, houve aumento da intensificação do desmatamento da Mata Atlântica, e atualmente sua cobertura florestal é próxima de 10%, distribuídos na região serrana, norte e sul do Estado (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA; INPE, 2018).

A região serrana do Estado destaca-se por apresentar fragmentos de Mata Atlântica na maioria dos municípios que a compõem, destacando Santa Leopoldina (27%), Santa Maria de Jetibá (25 %) e Santa Teresa (21%) (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA; INPE, 2009). No município de Santa Teresa, o bioma foi submetido a alterações ao longo de sucessivos ciclos econômicos, o que reduziu a sua grande extensão a fragmentos florestais (OLIVEIRA et al., 2013) e aumentou as áreas para cultivos de culturas comerciais, como pastagens, cafeicultura, fruticultura e olericultura, que representam 50% da área do município (INSTITUTO CAPIXABA DE PESQUISA, ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL – INCAPER, 2011).

A utilização de diferentes sistemas de manejo gera alterações nos atributos do solo, cuja intensidade depende do tempo de uso e das condições edafoclimáticas. Segundo Niero et al. (2010), as alterações nos atributos químicos, físicos e biológicos dos solos provocadas pelo manejo podem significar perda de qualidade e de sustentabilidade ambiental e econômica da atividade agrícola.

Essas alterações nos atributos têm sido investigadas nas diferentes condições de uso e manejo e são fundamentais para entender os processos de degradação dos solos e o potencial de contaminação das águas (RAMOS et al., 2014). Normalmente são feitas de forma comparativa, utilizando-se como padrão a vegetação nativa e comparando-a com explorações agrícolas (BLAINSKI et al., 2008; FREITAS et al., 2014).

Segundo Carneiro et al. (2009), qualquer alteração no solo pode alterar diretamente sua estrutura e atividade biológica e, conseqüentemente, sua fertilidade, com reflexos nos agroecossistemas, podendo promover prejuízos à sua qualidade e à produtividade das culturas. Sendo assim, a compreensão e a quantificação do impacto do uso e manejo do solo na sua qualidade são fundamentais no desenvolvimento de sistemas agrícolas sustentáveis (BAVOSO et al., 2010).

Modificações antrópicas do solo podem acelerar sua degradação, dependendo principalmente da natureza do solo, da espécie vegetal, do sistema de manejo e do tempo de exploração agrícola (SALTON et al., 2008; COSTA et al., 2008). Guimarães et al. (2013), relatam que o cultivo de café não é sustentável quando comparado a um fragmento de mata nativa, mesmo com a obtenção do aumento da fertilidade do solo. Ainda Lopes et al. (2014), afirmam que a ausência de práticas conservacionistas de solo em cafeeiros possibilita o seu empobrecimento e contribui com a má nutrição das plantas, o que aumenta a sua susceptibilidade às pragas e doenças, promovendo desequilíbrios ecológicos. Em estudos com o eucalipto, Bertol et al. (2012) encontraram que as fases que apresentam problemas relacionados à conservação dos solos e da água, são principalmente no plantio e na colheita. Ocorrências da redução da qualidade física do solo (PEREIRA, 2018) e biológica (SILVA et al., 2010) também são relatadas, apesar da ausência de manejo após o plantio. Em áreas de banana foram relatados resultados positivos quanto à qualidade do solo. Morais et al. (2014) observaram que em solos com cultivo de bananeira, houve melhoria da qualidade química em relação à mata nativa, assim como a qualidade física e biológica (BARBOSA, 2016), desde que os solos, sejam manejados de forma correta.

Os trabalhos realizados apontam modificações ocorridas nas propriedades físicas e químicas do solo ligadas ao uso e manejo do mesmo, seja pelo tipo de cultivo ou pela técnica empregada. Avaliações de alterações nas propriedades do solo, decorrentes de impactos da intervenção antrópica em ecossistemas naturais, permitem caracterizar a situação atual, alertar para situações de risco e, por vezes, prever situações futuras (CARDOSO et al., 2011), podendo

constituir importante instrumento para auxiliar no monitoramento da conservação ambiental.

Entretanto, são escassos os estudos na região serrana do Espírito Santo que retratam a interferência do uso na qualidade dos solos. Diante do exposto, objetivou-se com este trabalho avaliar as alterações nos atributos físicos e químicos de solos sob sistemas de cultivo de café, banana e eucalipto, tendo como referência um fragmento da Mata Atlântica.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Caracterização dos sistemas de uso em estudo

A pesquisa foi realizada em três diferentes propriedades rurais particulares exploradas comercialmente e em um fragmento de Mata Atlântica, na Reserva Augusto Ruschi. Foram estudados cinco diferentes sistemas de uso e manejo do solo denominados mata nativa (MT), café entrelinha (CFE), café linha (CFL); banana (BN) e eucalipto (EU). As áreas de cultivo comercial estão localizadas em três propriedades vizinhas e ficam aproximadamente 15 m de distância da mata nativa.

A unidade de mapeamento é composta por Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico de acordo com observações de campo e mapa de solos do ES (CUNHA et al., 2016). Segundo a Classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Aw, clima tropical, caracterizado pelo inverno seco e verão chuvoso. A altitude média é de 675 m e pluviosidade média anual de 1413 mm. O relevo é montanhoso e fortemente ondulado, com cerca de 50% da área com declividade entre 45 a 75%.

A área florestal encontra-se na Reserva Biológica Augusto Ruschi, localizada no sudoeste do município de Santa Teresa, nas coordenadas 40°31'58" W; 19°54'45" S, com altitude de 830 m. A Reserva é típica do bioma Mata Atlântica, sendo classificada como Floresta Ombrófila densa. Possui uma área de 3600 ha, com solos de textura média e relevo ondulado a montanhoso. Essa área foi utilizada como referência, por se tratar de um sistema em equilíbrio e sem histórico de intervenção humana, denominada assim de mata nativa.

As demais áreas de estudo localizam próximas à Reserva, com cultivos de café, banana e eucalipto. O cultivo de café arábica (*Coffea arabica*), cultivar Catuaí Amarelo, localiza-se nas coordenadas 40°31'59" W; 19°54'37" S e altitude de 819 m. Esse foi implantado há cerca de 40 anos, em uma área de 7 ha, anteriormente ocupada com plantios de feijão e mandioca. O manejo das plantas invasoras é realizado por meio de roçadeira mecânica e aplicação de herbicidas, quando o produtor julga necessário.

A lavoura de café arábica é conduzida no espaçamento de 3 m entre linha e 1 m entre plantas (3,0 x 1,0 m). A recepa é feita a cada 10 anos, para a renovação total da parte aérea da lavoura. O manejo das plantas invasoras é realizado por meio de aplicação de herbicidas, sempre que necessário. A adubação é realizada manualmente, utilizando o formulado N, P₂O₅ e K₂O (25-05-20), sem análise de solo, e as dosagens são baseadas na experiência do produtor em aplicações anteriores. A produtividade média do café na propriedade está em torno de 30 sacas/ha.

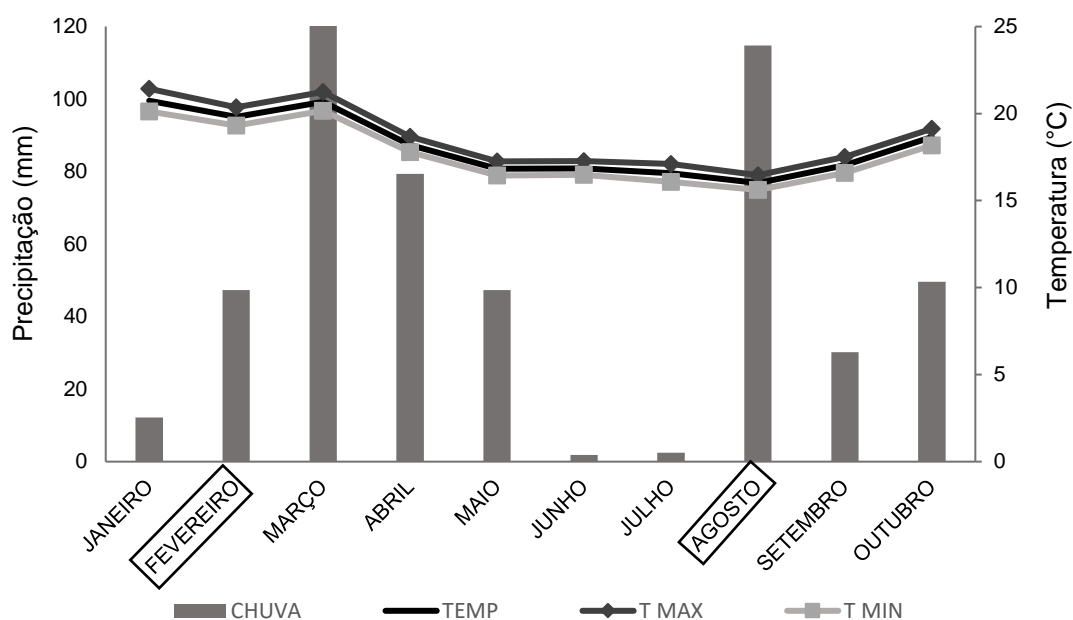
O cultivo de banana (*Musa spp.*), variedade da terra (*Platanum*), localiza-se nas coordenadas 40°31'59" W; 19°54'31" S e altitude de 804 m. Esse foi implantado há cerca de três anos, em uma área de 2 ha, anteriormente ocupada com plantios de feijão e café. O manejo das plantas invasoras é realizado por meio de aplicação de herbicidas, sempre que necessário. A lavoura é conduzida no espaçamento de 4 m entre linhas e 2 m entre plantas (4,0 x 2,0 m). A adubação é realizada manualmente, a cada três meses, utilizando o formulado N, P₂O₅ e K₂O (25-05-20). A adubação e calagem são realizadas sem análise de solo, de acordo com a experiência do produtor em aplicações anteriores. A condução da plantação é feita por touceira, deixando mãe, filha e neta, e o restante dos brotos é desbastado. Após a abertura das flores, o coração é eliminado. Ainda são retiradas as folhas velhas, sendo todos os resíduos culturais depositados na linha de plantio. A colheita é feita periodicamente e a comercialização é feita na região.

O cultivo de eucalipto (*Eucalyptus grandis*) localiza-se nas coordenadas 40°31'48" W; 19°54'23" S e altitude de 817 m. Esse foi implantado há cerca de cinco anos, em uma área de 1,5 ha, anteriormente ocupada com plantio de café.

A lavoura é conduzida no espaçamento de 3 m entre linhas e 2 m entre plantas (3,0 x 2,0 m). Não é realizado manejo de plantas invasoras e adubação na área.

Os dados climatológicos utilizados no estudo foram oriundos da Estação meteorológica automática – Inmet de Santa Teresa, localizada a 976 m de altitude. A precipitação acumulada registrada pela estação no período de janeiro/2018 a outubro/2018 foi de 525 mm, a média das temperaturas mínimas foi de 17,7°C e a média das temperaturas máximas foi de 18,6°C (Figura 1).

Figura 1 – Climograma da região de Santa Teresa, Espírito Santo P – Precipitação; T_{máx} – Temperatura máxima; T_{mín} – Temperatura mínima; TEMP – Temperatura média para o ano de 2018.



Fonte: Estação de superfície automática do município de Santa Teresa – INMET (2018).

2.2. Amostragem e preparo das amostras

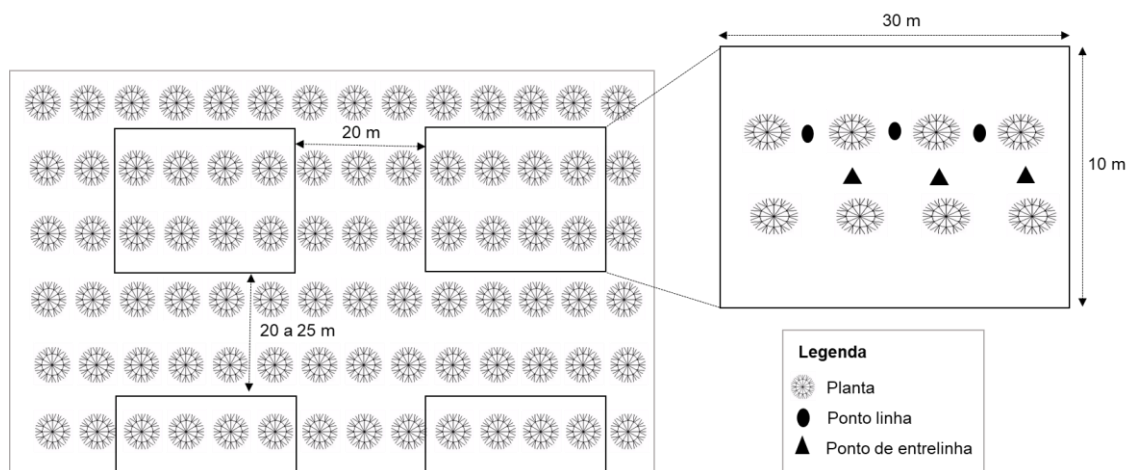
A coleta de solos para caracterização química e física foi realizada em fevereiro de 2018. Em cada uso do solo estudado foram amostradas aleatoriamente quatro parcelas de 30 x 10 m. As parcelas foram alocadas em um transecto no terço médio de cada área e foram dispostas em pares distantes 20 metros entre si e a distância entre os pares variando de 20 m a 25 m (Figura 2). Nas áreas de mata nativa (MT), banana (BN) e eucalipto (EU), a coleta de solo foi retirada na linha de plantio e na área de café foram retiradas na linha (CFL) e entrelinha (CFE) de plantio.

A coleta de solo foi realizada por meio da abertura de pequenas trincheiras de 0,30 m de profundidade em cada parcela. Foram coletadas três amostras indeformadas de solo por unidade amostral e por profundidade de 0-10 e 10-20 cm, utilizando-se cilindros metálicos de Koppec (anel volumétrico) de dimensões conhecidas com auxílio de amostrador de Uhland, para determinação da densidade do solo (D_s), porosidade total (PT), macroporosidade (MACRO) e microporosidade (MICRO).

Foram coletadas três sub-amostras de solo para compor uma amostra composta deformada, por unidade amostral e por profundidade de 0-10 e 10-20 cm. A amostra deformada foi utilizada para a determinação das análises físicas do solo de estabilidade de agregados (DMP), granulometria (areia grossa e fina, argila e silte), densidade de partículas do solo (D_p), capacidade de campo (CC), matéria orgânica leve em água (MOL) e para as análises químicas do solo.

As amostras deformadas de solo após a coleta foram secas ao ar e peneiradas para separar a fração menor que 2 mm, caracterizando a fração de Terra Fina Seca ao Ar (TFSA).

Figura 2 – Croqui dos pontos de amostragem das áreas em estudo, Santa Teresa – ES.



Fonte: O Autor

2.3. Análises físicas do solo

A análise granulométrica foi realizada por agitação lenta a 50 rpm por 16h, com agitador tipo Wagner e presença de dispersante químico NaOH $0,1 \text{ mol L}^{-1}$. A determinação da fração areia foi realizada por meio de peneiramento úmido,

sendo a fração argila mensurada pelo método da pipeta (ALMEIDA et al., 2012). A fração silte foi calculada por diferença. Para determinação da argila dispersa em água (ADA), utilizou-se também agitação lenta a 50 rpm, sem presença de dispersante químico ($\text{NaOH } 1,0 \text{ mol L}^{-1}$). A partir da ADA e argila total foi calculado o grau de flocculação (GF) (EMBRAPA, 2011). A densidade do solo (D_s) foi determinada pelo método do anel volumétrico, obtida pela razão entre massa de solo seco a 105°C e o volume de cada anel. A densidade de partículas do solo (D_p) foi avaliada pelo método do balão volumétrico. Para a avaliação da porosidade total (PT), macroporosidade (MACP) e microporosidade (MICP) foram determinadas com o uso da mesa de tensão, conforme descrito em EMBRAPA (2011). A capacidade de campo (CC) foi determinada pelo uso do extrator de Richards, com pressão de 0,1 e 15 Mpa, respectivamente, conforme descrito em Embrapa (2011). A estabilidade de agregados foi determinada em amostras destorroadas e tamisadas entre as peneiras, de acordo com a metodologia de Kemper e Chepil (1965), e agitadas verticalmente em água, sendo o aparelho composto por quatro peneiras de 2,00; 1,00; 0,50; 0,25 e 0,106 mm.

2.4. Análises químicas do solo

As análises químicas foram determinadas de acordo com Embrapa (2011). O pH do solo em água ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$) foi determinado utilizando a relação solo-solução de 1:2,5. Os teores de cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}) foram determinados por espectroscopia de absorção atômica após extração com $\text{KCl } 1,0 \text{ mol L}^{-1}$. O alumínio (Al^{3+}) foi extraído com $\text{KCl } 1,0 \text{ mol L}^{-1}$ e determinado por titulometria alcalina com $\text{NaOH } 0,025 \text{ mol L}^{-1}$. O potássio trocável (K^+) e sódio trocável (Na^+) foram extraídos com Mehlich⁻¹ e seus teores determinados por fotometria de chama. A acidez trocável ($\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$) foi extraída com solução de acetato de cálcio - $\text{Ca}(\text{OAc})_2 - 0,5 \text{ mol L}^{-1}$ a pH 7,0 e determinada por titulação com $\text{NaOH } 0,025 \text{ mol L}^{-1}$. O Al^{3+} trocável foi extraído com solução de $\text{KCl } 1,0 \text{ mol L}^{-1}$ e titulado com $\text{NaOH } 0,025 \text{ mol L}^{-1}$. O fósforo disponível (P) foi extraído com Mehlich⁻¹ e determinado por colorimetria.

Com os resultados das análises foram calculadas as somas de bases (SB), a saturação por bases (V%) e por alumínio (m). A capacidade de troca catiônica

(CTC a pH 7,0) foi calculada pela soma algébrica dos valores da soma de bases (SB) e acidez potencial ($H^+ + Al^{3+}$). A capacidade de troca catiônica efetiva (t) foi calculada pela soma de bases (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ mais o teor de Al^{3+}).

O carbono orgânico total (COT) foi quantificado por oxidação da matéria orgânica por via úmida com dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$ $0,167 \text{ mol L}^{-1}$) em meio sulfúrico, com aquecimento externo e determinado por titulometria com sulfato ferroso amoniacal, conforme descrito por Mendonça e Matos (2005). O nitrogênio total (NT) foi quantificado por meio da destilação em aparelho semimicro Kjeldahl das amostras digeridas, com o uso de solução de ácido bórico como indicador e de HCl $0,05 \text{ mol L}^{-1}$ como solução titulante (TEDESCO et al., 1995). Os teores de matéria orgânica leve em água (MOL), seguiu o procedimento de Anderson e Ingram (1989).

2.5. Análise estatística dos dados

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade (Shapiro-Wilk) e, quando não estavam dentro da normalidade, as variáveis foram transformadas (logarítmica e quadrática). Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e às médias comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas no software R (R CORE TEAM, 2015). Foram determinados os coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis físicas e químicas analisadas.

Os dados obtidos para as profundidades estudadas (0-10 cm e 10-20 cm) foram submetidos à análise discriminante canônica, utilizando as seguintes variáveis padronizadas: areia grossa (AG), argila (AGR), densidade do solo (Ds), porosidade total (PT), macroporosidade (MACP), grau de flocculação (GF), diâmetro médio ponderado (DMP), capacidade de campo (CC), fósforo (P), potássio (K), cálcio e magnésio (Ca+Mg), alumínio (Al), capacidade de troca catiônica (T), carbono orgânico total (COT) e matéria orgânica leve em água (MOL), totalizando 15 das 30 variáveis obtidas. A exclusão das demais variáveis foi decidida após se constatar a existência de multicolinearidade elevada na matriz de correlação. Isso indicou que existe alta correlação entre muitas das variáveis, gerando redundância de informação.

Para uso da análise discriminante (AD), os sistemas de uso foram estabelecidos como variáveis dependentes e os atributos físicos e químicos foram utilizados como variáveis independentes. Para ambos, os dados foram avaliados como linearidade, distribuição normal multivariada e homogeneidade das matrizes de covariância com o software R (R CORE TEAM, 2015). AD é comparável à análise de variância multivariada com a vantagem de melhor quantificação da relação de atributos dependente e independentes, e ainda permite o uso dos escores da AD para outras interpretações (HAIR et al., 2009).

A ADC é uma redução de dimensionalidade de dados técnica que visa obter um menor número de novas variáveis (variáveis canônicas), que podem ajudar com a máxima discriminação dos diferentes grupos (KHATTREE; NAIK, 2000). Nesse caminho, as contribuições das variáveis explicativas podem ser melhor interpretadas no processo de discriminação de grupo. Além disso, as pontuações atribuídas às funções discriminantes canônicas foram usadas para comparar as áreas de manejo estudadas e para selecionar as variáveis que vão compor o IQS.

2.6. Determinação do índice de Qualidade do Solo (IQS)

O modelo para determinação do índice de qualidade do solo (IQS), proposto por Karlen e Stott (1994), foi modificado neste estudo para quantificar o efeito de diferentes sistemas de uso e de um fragmento de mata sobre a qualidade do solo. Esse modelo foi recentemente usado por Fernandes et al. (2011), Armenise et al. (2013) e Lu et al. (2014) e Thomazini et al. (2015). O método envolveu três etapas: (i) seleção de um conjunto mínimo de dados de indicadores que são as variáveis mais significativas que melhor separam os tipos de manejo; (ii) transformação e ponderação de indicadores e; (iii) integração dos indicadores em um índice geral de qualidade do solo (LU et al., 2014).

Após a seleção do conjunto mínimo de dados, esses foram padronizados em valores individuais (escores) variando de 0 a 1, de acordo com pontuações proposta por Wymore (1993). As funções de pontuação são normalmente usadas para avaliação da qualidade do solo: (i) “Mais é melhor”; (ii) “Menos é melhor” e (iii) “Ótimo”. A função “Mais é melhor” foi utilizada para COT, Ca+Mg, T, Mol e DMP, devido à influência positiva na qualidade do solo (se aumentar o

nível do indicador, a qualidade do solo aumenta). A função “ótima” foi usada para classificar a PT, devido a sua associação cada vez mais positiva com a qualidade do solo até um nível ideal além do qual a qualidade do solo diminui (Lu et al., 2014). E a função “Menos é melhor” foi utilizada para DS, que indica má qualidade do solo em níveis altos (WYMORE, 1993). O tipo de curva adequada para cada fator, linha de base, valores de limiar, declive e os correspondentes limites foram atribuídos como sugerido por Lu et al. (2014).

As pontuações foram combinadas em um IQS geral, de acordo com a Equação de Equilíbrio (Eq. (1))

$$IQS = \sum_{i=1}^n W_i . S_i$$

onde, W_i é o fator de ponderação e S_i é a pontuação correspondente gerada de 0 a 1. Esse modelo aditivo proposto por Karlen e Stott (1994), sugere que quando o IQS é 1 (um) o solo apresenta a mais alta qualidade para a função avaliada. Em contraste, quando o IQS é 0 (zero), indica uma baixa qualidade do solo ou um solo muito degradado.

3. RESULTADOS

3.1. Caracterização física do solo

Os atributos físicos apresentados nos diferentes sistemas de uso do solo e remanescente florestal nativo estão na Tabela 1. Os solos apresentaram valores altos de areia grossa (AG) e areia fina (AF), que juntos representam de 60 a 80% da granulometria dos solos. Os solos apresentam classe textural variando de média a arenosa. Para a profundidade de 0-10 cm não houve diferença entre as áreas para as frações areia grossa (AG), areia fina (AF), argila (ARG) e silte (S). Já na profundidade de 10-20 cm, a área de BN apresentou maior teor de AG, seguido de MT e EU. A área de CF, tanto em linha quanto em entrelinha, apresentou os maiores teores de ARG e o menor teor obtido foi na área de BN.

A análise de estabilidade de agregados em água mostra que, em geral, os sistemas estudados apresentaram alta proporção de agregados estáveis, em todas as profundidades (Tabela 1). Essa análise mostra que há resistência dos agregados e, conseqüentemente, boa estruturação nesses solos, possivelmente influenciados pelo uso, pela penetração das raízes, considerando a capacidade

desses sistemas em resistir à erosão, fatores determinantes para o crescimento das plantas. Os resultados de diâmetro médio ponderado (DMP) variaram de 2,27 a 3,97 mm. As áreas BN e MT apresentaram os maiores valores para DMP, em ambas as profundidades. Os valores de DMP são confirmados pelos resultados de GF, que variaram em torno de 81 e 97%, destacando as áreas de BN, MT e EU (Tabela 1). Esses valores indicam maior estabilidade de agregados do solo.

Tabela 1 – Atributos físicos do solo em diferentes sistemas de uso do solo e remanescente Florestal nativo, nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm.

USO	AG	AF	ARG	S	GF	DMP
	----- dag kg ⁻¹ -----				%	mm
0 -10 cm						
MT	63,78 A	8,94 A	20,00 A	7,27 A	95 A	2,94 A
CFL	56,45 A	13,00 A	22,96 A	7,58 A	81 B	2,76 B
CFE	57,52 A	12,67 A	23,69 A	6,10 A	81 B	2,43 B
BN	57,06 A	17,60 A	18,55 A	6,77 A	97 A	2,96 A
EU	67,50 A	13,06 A	13,32 A	6,09 A	94 A	2,73 B
CV (%)	20,00	43,69	37,84	23,53	3,16	7,22
10-20 cm						
MT	54,42 B	9,97 A	26,83 A	8,77 A	96 A	3,28 A
CFL	43,57 C	12,52 A	32,71 A	11,18 A	79 B	2,73 B
CFE	52,30 B	13,00 A	26,86 A	8,46 A	86 B	2,78 B
BN	68,15 A	13,45 A	12,00 C	6,38 A	93 A	3,97 A
EU	57,49 B	18,70 A	16,84 B	7,64 A	94 A	2,70 B
CV (%)	19,87	37,10	38,34	26,92	2,82	7,63

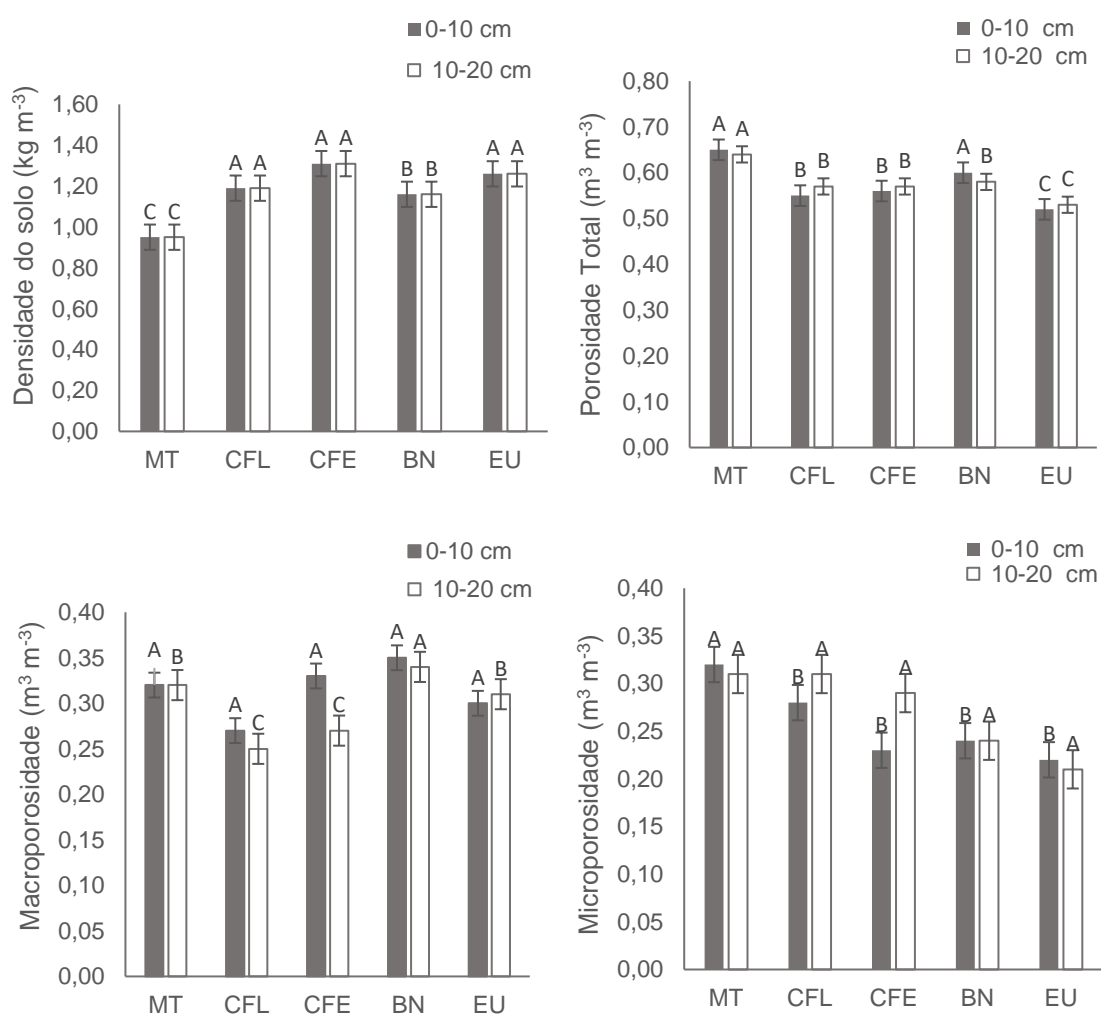
Médias seguidas por uma mesma letra, na coluna, para um atributo, não diferem significativamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. AG= areia grossa; AF= areia fina; ARG= argila; S= silte; GF= grau de floculação; DMP= diâmetro médio ponderado

A densidade do solo (Ds) apresentou valores entre 0,95 e 1,33 kg m⁻³, cujos menores valores foram constatados na área de MT, em ambas as profundidades (Figura 3). A BN apresentou menor Ds na camada de 0-10 cm. As demais áreas, em ambas as profundidades, apresentaram valores de Ds superiores a 1,16 kg m⁻³. A porosidade total (PT) variou de 52 a 65%. As áreas que apresentaram maiores valores de PT foram a MT e BN, 0,65 e 0,60 m³ m⁻³, respectivamente, na profundidade de 0-10 cm. Na profundidade de 10-20 cm, a área de MT obteve resultado superior às áreas agrícolas.

Na camada superficial do solo, todas as áreas apresentaram MACP estatisticamente iguais. Já na profundidade de 10-20 cm a maior MACP foi observada para BN, o que condiciona melhor difusão de oxigênio e drenagem

do perfil que os outros sistemas apresentados. Quanto à MICP, na profundidade de 0-10 cm, a MT se destacou das demais áreas, mostrando que a PT é representada igualmente por ar e água. Já o CFL e CFE apresentaram menor MACP e maior MICP, em razão de ter apresentado maior teor de argila, o que favorece a retenção de água. Em termos gerais, as áreas com maior intensidade de uso do solo (CFL, CFE e EU) apresentam maiores valores de Ds e menores de PT.

Figura 3 – Densidade, porosidade total, macroporosidade e microporosidade do solo em diferentes sistemas de uso do solo e remanescente florestal nativo, nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm.



Médias seguidas por uma mesma letra, para cada uso, não diferem significativamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

3.2. Caracterização química dos solos

Os atributos químicos apresentados nos diferentes sistemas de uso e remanescente florestal nativo estão na Tabela 2. De modo geral, os valores de

pH variaram de 4,07 a 6,11. Os solos apresentaram acidez média a elevada, com exceção da área de BN que apresentou acidez fraca, com valores de pH entre 6 a 6,11. O menor valor encontrado foi para o solo de MT na profundidade de 0-10 cm ($\text{pH H}_2\text{O} = 4,07$).

Os teores de fósforo disponível (P) variaram de baixo a alto, de acordo com a classificação proposta por Prezotti et al. (2007). Na profundidade de 0-10 cm, os usos CFL e EU apresentaram maiores valores e a BN, o CFE e MT, valores baixos. Em profundidade, houve redução dos teores de P em função de sua menor mobilidade relativa relacionada a maiores teores de argila. Os teores de potássio disponível (K^+) para todos os usos e profundidades foram classificados como baixos (PREZOTTI et al., 2007).

Segundo Prezotti et al. (2007), os teores de magnésio (Mg^{2+}) e cálcio (Ca^{2+}) variaram de baixo a alto. Para Ca^{2+} , a área de BN apresentou os maiores valores, seguidos da área de EU. Os usos de MT, CFL e CFE apresentaram os menores valores. Já para o Mg^{2+} , a área de BN destacou-se das demais, apresentando os maiores valores, para ambas as profundidades.

Os níveis de acidez trocável (Al^{3+}), variaram de médio a alto, com exceção da BN que foi muito baixo, de acordo com a profundidade do solo. A acidez potencial (H+Al) foi alta para todos os usos, entretanto, a BN apresentou os menores valores, devido ao menor teor de Al^{3+} . Os atributos químicos mostram teores de Al^{3+} dominando o complexo de troca com exceção do solo sob BN, que apresentou maiores teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} . Estes resultados, influenciaram na soma de bases (SB), onde a BN apresentou os maiores valores, em ambas as profundidades.

Em relação à capacidade de troca catiônica a pH 7,0 (CTC), a MT destacou-se das áreas agrícolas, apresentando o maior valor. Esse resultado é consequência dessa área apresentar maior teor de H+Al, o que é contribuído pelo alto valor de Al^{3+} encontrado.

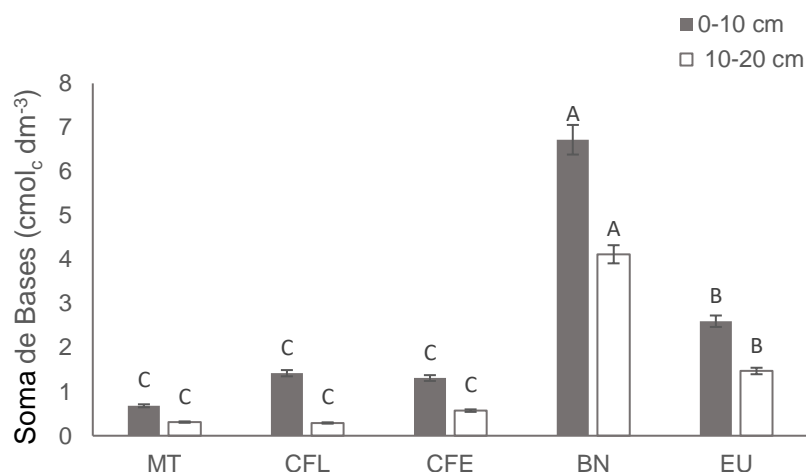
Tabela 2 – Atributos químicos do solo em diferentes sistemas de uso do solo e remanescente Florestal nativo, nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm

USO	pH	P	K	Ca	Mg	Al	H + Al	CTC
	H ₂ O	----- mg dm ⁻³ -----	-----	-----	-----	cmol _c dm ⁻³ -----	-----	-----
0 -10 cm								
MT	4,07 D	1,53 C	32,50 A	0,32 C	0,21 B	2,25 A	17,11 A	17,80 A
CFL	4,86 C	26,73 B	31,50 A	0,86 C	0,17 B	0,80 B	14,31 B	12,99 B
CFE	4,86 C	8,13 C	20,75 A	1,03 C	0,17 B	0,70 B	9,83 B	11,14 B
BN	6,09 A	11,79 C	39,50 A	5,30 A	1,26 A	0,00 C	5,86 C	12,58 B
EU	5,32 B	46,24 A	25,25 A	2,05 B	0,43 B	0,43 B	10,52 B	13,12 B
CV (%)	13,88	111,64	35,05	99,02	111,02	97,82	40,34	21,47
10-20 cm								
MT	4,31 D	1,69 B	17,0 A	0,12 C	0,09 B	1,57 A	15,01 A	15,32 A
CFL	4,65 C	7,12 B	17,0 A	0,15 C	0,05 B	0,95 B	10,90 B	11,20 B
CFE	4,86 C	2,73 B	14,25 A	0,41 C	0,08 B	0,80 B	10,18 B	10,76 B
BN	6,11 A	6,88 B	23,5 A	3,28 A	0,73 A	0,00 C	6,43 C	10,55 B
EU	5,24 B	35,23 A	16,0 A	1,20 B	0,18 B	0,67 B	11,32 B	12,80 B
CV (%)	12,65	158,77	36,34	122,83	129,53	67,34	28,05	17,75

Médias seguidas por uma mesma letra, na coluna, para um atributo, não diferem significativamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. P= fósforo; K= potássio; Ca= cálcio, Mg= magnésio; Al= alumínio; H+Al= acidez potencial; CTC= capacidade de troca catiônica a pH 7,0.

Os valores de soma de bases (SB) variaram de 0,29 a 6,32 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ (Figura 4). Os maiores valores foram encontrados na BN e os menores para MT, CFL e CFE. As SB mostraram-se mais elevadas na camada superficial, destacando a área de BN.

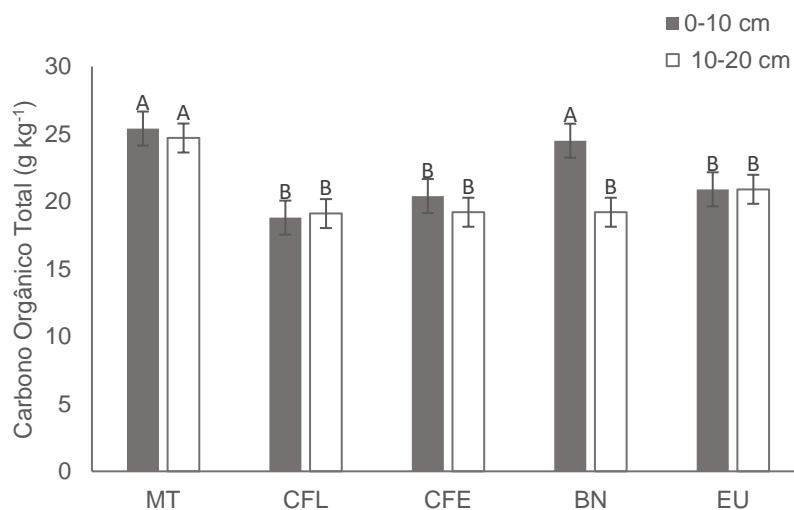
Figura 4 – Soma de bases dos solos em diferentes usos agrícolas na profundidade de 0-10 e 10-20 cm.



Médias seguidas por uma mesma letra, para cada uso, não diferem significativamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Os maiores valores de COT foram observados nas áreas de MT e BN na profundidade de 0-10 cm, 25,4 e 24,5 g kg^{-1} , respectivamente (Figura 5).

Figura 5 – Carbono orgânico total (COT) em diferentes usos agrícolas nas profundidades 0-10 e 10-20 cm.



Médias seguidas por uma mesma letra, para cada uso, não diferem significativamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Na profundidade de 10-20 cm, o maior valor encontrado foi para a MT. As demais áreas em ambas as profundidades apresentaram valores inferiores a 20,9 g kg⁻¹.

3.3. Efeito dos sistemas de uso sobre os atributos do solo

Para avaliar os atributos de maior variação e distinguir os diferentes usos do solo, foi realizada a análise discriminante canônica (Tabela 3). A primeira e a segunda função canônica discriminante (FDC₁ e FDC₂) apresentaram correlações canônicas de 0,99 e 0,98, respectivamente. Esse resultado indica elevada contribuição dos atributos físicos e químicos de maior correlação com a FDC₁ e FDC₂ para discriminar as áreas de estudo (MT, CFL, CFE, BN e EU).

Tabela 3 – Resultados da proporção explicada, autovalor e correlação canônica das funções discriminantes canônicas geradas e cargas discriminantes das variáveis utilizadas nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm.

Ajuste do modelo				
	0 - 10 cm		10 - 20 cm	
	FDC ₁	FDC ₂	FDC ₁	FDC ₂
Proporção explicada	0,68	0,23	0,67	0,19
Autovalor	136,4	46,7	92,19	23,12
Correlação canônica	0,99	0,98	0,99	0,98
Cargas discriminantes				
Variáveis	FDC ₁	FDC ₂	FDC ₁	FDC ₂
AG	-0,09	0,00	-0,55	0,44
AGR	0,38	0,11	0,74	-0,36
Ds	0,39	-0,68	-0,35	-0,69
PT	-0,02	0,80	0,41	0,60
MACP	-0,34	0,25	-0,33	0,64
GF	0,24	0,56	-0,18	0,66
DMP	-0,71	0,35	0,43	0,38
CC	-0,29	0,59	-0,27	-0,09
P	-0,40	-0,20	-0,41	-0,18
K	0,13	0,37	-0,33	0,29
CaMg	-0,18	-0,75	-0,88	0,33
Al	-0,34	0,33	0,93	0,04
CTC	-0,84	-0,07	0,37	0,48
COT	0,60	0,62	0,34	0,53
MOL	0,03	0,65	0,50	0,55

(1) negrito – moderada a forte carga discriminante (>0,50) (Hair et al., 2009)

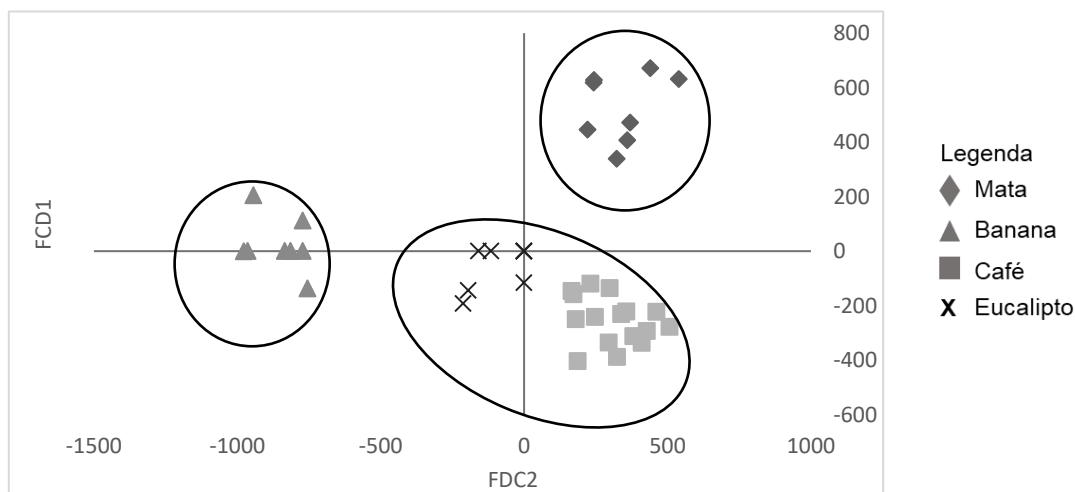
Para a profundidade de 0-10 cm, as duas funções foram responsáveis por reunirem 91% da variância obtida entre os diferentes usos. A FDC₁ explicou 68%

da variação e a FDC_2 explicou 23% da variação dos dados. Os atributos DMP e CTC tiveram maior contribuição na FCD_1 . Já na FCD_2 , os atributos que contribuíram para a sua formação foram a Ds, PT, GF, CC, Ca+Mg, COT e MOL, sendo o maior valor encontrado no atributo PT.

Para a profundidade de 10-20 cm, a análise discriminante canônica permitiu agrupar nas FDC_1 e FDC_2 86% da variância total. A FDC_1 explicou 67% da variação e a FDC_2 explicou 19% da variação dos dados. Os atributos ARG, Ca+Mg e Al tiveram maior contribuição na FDC_1 e os atributos Ds, PT, MACP, GF e MOL contribuíram para a formação da FDC_2 .

Na análise discriminante canônica dos atributos físicos e químicos do solo sob diferentes usos, a FDC_1 e FDC_2 corresponderam a 91% da variação total, o que, de acordo com Cruz & Regazzi (1994), é satisfatório para avaliação por meio da dispersão gráfica dos escores em relação à primeira e segunda variáveis canônicas. A dispersão gráfica evidencia a formação de três grupos: dois formados por um único uso (o primeiro pela BN, o segundo pela MT) e um terceiro formado por EU e CF (Figura 6).

Figura 5 – Análise discriminante canônica com base nos atributos físicos e químicos do solo nas diferentes áreas estudadas nas profundidades de 0-10 e



10-20 cm.

A análise multivariada indicou que a intensidade e o tipo de uso reuniu grupos de atributos dos solos, que melhor distinguem os manejos. Os atributos DMP, CTC, COT, Ds, PT, GF, CC, Ca+Mg e MOL foram os que mais discriminaram os grupos na profundidade de 0-10 cm e os atributos AGR, Ca+Mg, Al, Ds, PT,

MACP, MOL e GF foram os que mais discriminaram os grupos na profundidade de 10-20 cm.

Dessa forma, os atributos selecionados para compor o IQS foram da profundidade de 0-10 cm, por ser essa a camada que mais sofre alterações nos usos estudados e também considerando que a AG e a ARG, atributos não alteráveis pelo manejo, têm contribuição marcante na FDC₁ na profundidade de 10-20 cm. Em consequência da discriminação dos indicadores do solo, designou-se pesos para esses atributos a fim de montar uma equação de qualidade do solo para as áreas estudadas (Tabela 4).

Os pesos (Tabela 5) foram atribuídos aos indicadores usando as FDCs (Tabela 3) para definir qual indicador possuía maior correlação. Para cada atributo (físico e químico) foi dado o peso 0,5, ou seja, ambos os atributos tiveram a mesma influência na diferenciação das áreas. Dentre os atributos físicos, o DMP foi a variável selecionada da FDC₁, recebendo o peso de 0,5. Já a Ds e a PT foram bem correlacionadas com a FDC₂, o peso de 0,50 foi dividido entre esses dois parâmetros. O mesmo critério foi utilizado para os indicadores químicos. Os pesos maiores foram atribuídos aos atributos relacionados aqueles que correlacionaram melhor com FDC₁, seguido dos atributos relacionados com a FDC₂.

Tabela 4 – Parâmetros das funções de pontuação dos indicadores de qualidade do solo

Indicadores	FP	LI	LS	B	Ótimo
DMP (mm)	Mais é melhor	0	4	2	
Ds (kg dm ⁻³)	Menos é melhor	0,81	2	1	
PT (m ³ m ⁻³)	Ótimo	10	60	30	50
COT (dag kg ⁻¹)	Mais é melhor	0	2,63	1,31	
T (cmol _c dm ⁻³)	Mais é melhor	0	15	7,5	
Ca+Mg (cmol _c dm ⁻³)	Mais é melhor	0	5	2,5	

FP – funções de pontuações; LI - limite inferior; B - linha de base, com pontuação de 0,5; LS - limite superior e O - nível ótimo

Tabela 5 – Pesos numéricos associados aos indicadores e aos atributos do solo para determinação do índice de qualidade do solo

Atributos	Peso	Indicadores	Peso
Físicos	0,5	DMP	0,25
		DS	0,125
		PT	0,125
Químicos	0,5	COT	0,25
		CTC	0,125
		Ca+Mg	0,125

Com esses dados foi calculado a IQS, que revela o estado de um sistema, podendo ser construído para analisar dados através da união de elementos com relações estabelecidas, como expresso a seguir:

$$IQS = 0,25 S_{DMP} + 0,125 S_{DS} + 0,125 S_{PT} + 0,25 S_{COT} + 0,125 S_{CTC} + 0,125 S_{Ca+Mg}$$

Onde S é a pontuação obtida através das funções para as variáveis subscritas e os coeficientes são os fatores de ponderação.

A integração dos valores das propriedades do solo padronizadas no modelo de índice de qualidade do solo (IQS) permitiu a diferenciação dos solos coletados nas diferentes áreas e mostrou relação com os resultados obtidos na análise discriminante canônica. Entre os sistemas estudados, a BN apresentou o maior valor de IQS (0,80), seguido da MT (0,72), CFL (0,63), EU (0,62) e CFE (0,60), respectivamente.

4. DISCUSSÃO

Para a porosidade do solo, a maior MACP no solo sob MT resultou em maior PT em relação CFL, CFE e EU, evidenciando que a introdução de cultivos provocou redução da PT. Aguiar (2008) também verificou redução da PT com a introdução de café e relatou que parte da MACP foi transformada em MICP. No entanto, no presente estudo a DMP apresenta maior relação com PT.

De acordo com Kiehl (1979), um solo deve apresentar um terço da PT formada por macroporos e dois terços restantes por microporos. O autor ainda comenta

que os valores ideais de MICP seriam próximos a $0,40 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ já que os microporos são os responsáveis pela retenção de água no solo e recarga dos lençóis freáticos (OLIVEIRA et al., 2004). Assim, considerando os pressupostos de Kielh (1979), todas as áreas obtiveram valores de microporos inferiores a $0,40 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, no entanto devido à alta MACP, a PT apresenta-se em condições ideais. Contudo, os solos das áreas podem apresentar baixo armazenamento de água, assim, a compactação desses solos, dentro de certos limites, poderia ser benéfica em termos de maior retenção de água, pela transformação de parte dos macroporos em microporos (RESENDE et al., 2007).

Quanto à MACP, são necessários valores de macroporos superiores a $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (TAYLOR; ASHCROFT, 1972) para permitir as trocas gasosas e o crescimento das raízes da maioria das culturas. Nota-se, que para macroporosidade (MACP) todos os usos e profundidades são superiores $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Dessa forma, espera-se que, com os resultados apresentados, a água seja drenada com maior facilidade e as raízes encontrem menor resistência ao seu crescimento para função de disponibilidade hídrica e suporte da cobertura vegetal.

A redução da PT do solo com culturas agrícolas condicionou maiores valores de Ds. O aumento da Ds reflete na piora da estruturação do solo e conseqüentemente maiores serão as restrições para o crescimento e desenvolvimento das raízes das plantas. Portugal et al. (2010), Viana et al. (2011) e Freitas et al. (2017), estudando qualidade do solo em diferentes tipos de manejo tendo como referência o solo sob condição natural, verificaram valores mais altos para a Ds nas áreas sob manejo, corroborando com os resultados encontrados no presente estudo. A Ds menor para a MT deve-se ao maior teor de COT e a ausência de ações antrópicas nessa área, outro fator importante é a influência dos resíduos vegetais que amortecem o impacto da chuva mantendo o solo protegido. A MO contribui para a redução da Ds, aumento da porosidade com melhoria na infiltração de água reduzindo a erosão e conseqüentemente da perda de MO (MARIN, 2002).

A área de BN apresentou teores semelhantes de COT ao de MT, sendo classificados como muito bons e para as demais áreas como bons. Os teores de

COT sofreram mudanças decorrentes do uso, refletindo, de certo modo, o histórico de manejo realizado em relação a área de MT, sendo que a introdução de cultivos agrícolas, como café e eucalipto, acarretou perdas nos teores de COT.

Os maiores valores de DMP podem ser devido à influência positiva da matéria orgânica na estruturação dos solos (STONE; GUIMARÃES, 2005; NEVES et al., 2006). Solos que apresentam boa agregação possuem DMP maior dos seus agregados, o que facilita a proteção da matéria orgânica e o melhor fluxo e armazenamento de água no solo (KLEIN, 2008). Esse fato é reforçado pelo GF, que evidencia os valores de formação de agregados nos solos e contribui para a minimização da erosão. A presença desses agregados permite maior aprisionamento físico das partículas e maior permeabilidade de água no solo (SILVA et al., 1999).

Deste modo, a manutenção da matéria orgânica é necessária para a sustentabilidade agropecuária, pois o aumento nos seus níveis leva, geralmente, à maior produção vegetal, ampliando a eficiência na utilização dos nutrientes, além de influir nos atributos físicos, auxiliando na recuperação e estabilização da estrutura do solo (SILVA et al., 2012).

Para a fertilidade dos solos, os altos valores para a área de BN deve-se principalmente à prática de calagem para a correção da acidez do solo. O controle de acidez do solo é de grande importância porque afeta a disponibilidade de nutrientes, a capacidade de troca catiônica (CTC) e o desenvolvimento e a atividade biológica. Resultados semelhantes foram encontrados por Fernandes et al. (2008) quando estudaram a fertilidade do solo sob banana em ambiente irrigado e com correção de acidez do solo.

Nota-se que a BN elevou os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} em relação as demais áreas, principalmente na camada superficial do solo. Isso demonstra que o calcário, sendo um insumo de baixa solubilidade atuou principalmente na camada superficial onde foi aplicado. Esses resultados corroboram com Costa et al. (2016) e Silva et al. (2007) que constataram maiores valores teores de SB e V% na superfície do solo devido aos maiores teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} .

A área de CF apresentou menor fertilidade do solo, corroborando com os resultados encontrados por Guimarães et al. (2013), quando estudaram a qualidade dos solos do cafeeiro em relação à mata nativa e café orgânico. O valor alto de P disponível no CFL, observado na profundidade de 0-10 cm, foi influenciado pela aplicação de adubo.

Os teores em geral baixos de nutrientes devem-se à baixa fertilidade natural do solo, ou seja, baixa capacidade de troca de cátions e, especialmente, a baixa soma de bases, em decorrência do material de origem constituído de rochas granito-gnaisses pré-cambrianas com fortes declividades. Essa característica pode ser considerada uma limitação às atividades agrícolas. Esse fato, mais o relevo acentuado na região, reforçam o estímulo a atividades agrícolas na região que priorizem práticas de manejo conservacionistas e menos dependentes de insumos.

Quanto à influência do uso do solo nos atributos químicos e físicos, destacaram-se os mais sensíveis, sendo que a FCD_1 , para a profundidade de 0-10 cm, pode representar as variações na agregação e na fertilidade dos solos. A correlação positiva de COT e as correlações negativas de DMP e CTC sugerem menor disponibilidade da matéria orgânica em solos com maior agregação, como sugerido por Vicente e Araújo (2013). 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., 2012), além das perdas por erosão e lixiviação.

A FCD_2 está relacionada com a densidade, porosidade total e a parte da fertilidade, o que dá ênfase na distinção dos solos com mata nativa e cultivos convencionais. A confirmação da relação inversa existente entre Ds e PT, também foi encontrada por Chaves et al. (2012). Nesse sentido, solos com maior Ds apresentam diminuição da PT, redução da permeabilidade e da infiltração de água e quebra dos agregados ocasionando prejuízo ou comprometendo a qualidade física do solo, o que corrobora com os resultados encontrados por Pezarico et al. (2013). A variação nos valores de Ds, em sua maior parte, é proveniente das diferenças no volume total de poros, de modo que densidade e

porosidade estão muito relacionadas e, por isso, são apresentadas de forma conjunta.

Para a profundidade de 10-20 cm, a FDC₁ pode representar a acidez do solo. A correlação positiva de Al³⁺ e a correlação negativa para Ca+Mg sugerem que as áreas de acidez elevada são devido à falta de calagem. Carneiro et al. (2009) afirmam que a calagem, antes da implementação da cultura, poderia contribuir para aumentar o pH e diminuir o teor de Al³⁺, além de aumentar os teores de Ca²⁺ e Mg²⁺. Os solos de MT geralmente apresentam menores valores de pH, como encontrado neste estudo. A diminuição do pH do solo deve-se à contribuição da mineralização da MOS e à liberação de exsudatos ácidos pelas raízes das plantas (SILVA et al., 2015).

A FDC₂ está relacionada a densidade, porosidade e a agregação do solo, sendo complacente com a profundidade de 0-10 cm. Viana et al. (2011) confirmaram que os menores valores de Ds apresentam-se nas áreas sob mata nativa, resultado que corrobora com o presente trabalho. O fato de a vegetação natural apresentar melhores condições físicas é explicado como uma consequência por ser conservado e protegido de ações antrópicas. A alta estabilidade de agregados apresentados na área pode ser devido à falta de revolvimento do solo, estimulando os processos de floculação e de agregação, reduzindo a velocidade de mineralização da matéria orgânica (WENDLING et al., 2012)

Uma alternativa para a manutenção da qualidade do solo é a manutenção de resíduos em sua superfície, que contribuem para a melhoria na sua estruturação (STEFANOSKI et al., 2013). As consequências dessa ação podem estar relacionadas ao aumento da estabilidade dos agregados, aumento da capacidade de retenção de água, aumento da porosidade total, melhor aeração, menores perdas de água por evaporação e diminuição da densidade pelo efeito da matéria orgânica.

O sistema de uso do solo BN se posicionou à esquerda do primeiro eixo do diagrama de ordenação da FDC₁ e foi influenciado, principalmente, pelos maiores teores de COT e Ca+Mg, quando comparados aos outros usos do solo. Isso demonstra a boa fertilidade desse ambiente, por meio do uso de adubação química e calagem (CHERUBIN et al., 2015). Esses procedimentos neutralizam

o Al^{3+} , dissociam os hidrogênios dos grupos funcionais da matéria orgânica, aumentando o reservatório de bases trocáveis e a disponibilidade de nutrientes. Nota-se que o EU, CFL e CFE estão próximos por apresentarem teores inferiores dos atributos de fertilidade de solo, maior densidade do solo e maiores teores de Al^{3+} .

A MT destacou-se dos demais ambientes por apresentar, de maneira geral, maiores valores de COT, resultado também encontrado por Carvalho et al. (2015). O maior teor de COT nessa área, está relacionado ao aporte constante de resíduos vegetais sobre a superfície do solo, bem como a não perturbação do sistema; diferentemente das áreas manejadas. Dessa forma, onde há maior incremento de MOS, maior será o COT incorporado ao solo. Resultados semelhantes foram verificados por Pezarico et al. (2013), Freitas, Casagrande e Desuó (2011) e Portugal et al. (2010), segundo os quais há um declínio no estoque de matéria orgânica após a conversão de florestas nativas em sistemas agrícolas.

A ADC das variáveis mostrou que, levando em conta todos os aspectos analisados, houve clara distinção entre ambientes de BN e MT (Figura 6). Essa separação é um indicador relacionado ao manejo dessas áreas. Todas as avaliações efetuadas mostram que CFL e CFE tendem a estabilizar suas características químicas próximas às do EU e que a BN, em razão da utilização de calcário e fertilizantes, facilita a oxidação da matéria orgânica, tendendo à diminuição do reservatório de nutrientes que precisam ser repostos a não exaustão do solo.

Na análise, verificou-se que as características de fertilidade do solo foram as que mais caracterizaram os efeitos do uso sobre os atributos avaliados. Esses resultados corroboram com Theodoro et al. (2003) que estudaram agroecossistemas em relação a um fragmento de mata nativa, e encontraram características de fertilidade como as que mais caracterizaram os efeitos do uso e manejo sobre os atributos químicos e físicos avaliados.

O alto valor de IQS para a BN está relacionado à manutenção dos resíduos da bananeira no solo, que aumenta a estabilidade de agregados, a retenção e infiltração de água no solo e a porosidade (CONFORTI et al., 2013; MABIT;

BERNARD, 2010), atributos que são indicadores da qualidade do solo e contribuem para a elevação do índice. A calagem e adubação influenciam diretamente as propriedades químicas do solo, como os teores de K, Ca e Mg, que têm um peso relevante nesse modelo de IQS.

De acordo com o IQS do estudo, a área de MT, mesmo sendo um sistema equilibrado e não perturbado, não apresentou qualidade de solo superior aos sistemas agrícolas estudados. Esses dados não corroboram com os resultados relatados por Alvarenga et al. (2012), Armenise et al. (2013), Freitas et al. (2012) e Thomazini et al. (2015), que trabalharam na região de Mata Atlântica, onde os valores de IQS foram superiores para as áreas de matas nativas estudadas quando comparadas com áreas agricultáveis. A razão desse resultado está na pobreza química do material de origem dos solos da região, acarretando a baixa fertilidade natural desses solos, e que parte dos sistemas estudados promoveu o manejo adequado das práticas edáficas, como calagem e fertilização do solo.

5. CONCLUSÕES

O manejo da bananeira menos intensivo com aporte de matéria orgânica e manutenção da fertilidade por adubação favorece a construção da qualidade geral do solo.

A variável que melhor descreveu os aspectos de qualidade do solo foi DMP, devido à influência do COT, que conjuntamente favoreceram a construção da qualidade física do solo, no qual a MT apresenta maiores valores seguido da BN.

O cultivo de BN proporcionou a manutenção da qualidade do solo em condições semelhantes e/ou melhores que a condição de MT, com valores de IQS de 0,8 e 0,72, respectivamente.

Os sistemas CF e EU apresentaram menor IQS, em torno de 0,62. Os resultados indicam que o manejo adequado das culturas e a busca por sistemas sustentáveis proporcionam qualidade satisfatória dos solos, sendo fundamentais para o uso adequado do solo na região montanhosa da Mata Atlântica.

6. REFERÊNCIAS

- AGUIAR, M.I. **Qualidade física do solo em sistemas agroflorestais**. 2008. 89p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa – UFV, Viçosa.
- ALMEIDA, B. G. et al. **Padronização de métodos para análise granulométrica no Brasil**. Rio de Janeiro: Embrapa, 2012 (Comunicado técnico 66). 11 p.
- ALVARENGA, C. C. et al. Índice de qualidade do solo associado à recarga de água subterrânea (IQSRA) na bacia hidrográfica do Alto Rio Grande, MG. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.36, p:1608-19, 2012.
- ANDERSON, J.M.; INGRAM, J.S.I. 1989. **Tropical soil biology and fertility: A handbook of methods**. CAB International, Wallingford, Estados Unidos. 171 p.
- ARMENISE, E. et al. Developing a soil quality index to compare soil fitness for agricultural use under different managements in the Mediterranean environment. **Soil & Tillage Research**, v.130, p.91-98, 2013.
- BARBOSA, F. E. L. **Qualidade do solo e produção da bananeira prata anã associada a plantas de cobertura e diferentes lâminas de irrigação**. 2016. Tese (Programa de Pós-graduação em Agronomia) – Ciências do Solo, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- BAVOSO, M. A. et al. Preparo do solo em áreas de produção de grãos, silagem e pastejo: efeito na resistência tênsil e friabilidade de agregados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 227-234, 2010.
- BERTOL, I. et al. **XIX Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água**. 20p., 2012.
- BLAINSKI, E. et al. Quantificação da degradação física do solo por meio da curva de resistência do solo à penetração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32: p.975-983, 2008.
- CARDOSO, E. L. et al. Qualidade química e física do solo sob vegetação arbórea nativa e pastagens no Pantanal Sul-Mato-Grossense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.35, p. 613-622, 2011.

CARNEIRO, M. A. C. et al. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p.147-157, 2009.

CARVALHO, R. P. et al. Atributos físicos e químicos de um neossolo quartzarênico sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Caatinga**, v. 28, p.148-159, 2015.

CHAVES, A. A. A. et al. Indicadores de qualidade de Latossolo Vermelho sob diferentes usos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, p. 446-454, 2012.

CHERUBIN, M. R. et al. Sugarcane expansion in Brazilian tropical soils – Effects of land use change on soil chemical attributes. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.211, p. 173-184, 2015.

CONFORTI, M. et al. Studying the relationship between water-induced soil erosion and soil organic matter using Vis-NIR spectroscopy and geomorphological analysis: A case study in southern Italy. **Catena**, v.110, p.44-58, 2013.

COSTA, F.S. et al. Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.323-332, 2008

COSTA, M. C. G. et al. Teor de nutrientes e viabilidade da bananicultura em Cambissolos com diferentes profundidades. **Bragantia**, Campinas, dezembro 2016.

CRUZ, C.D. & REGAZZI, A.J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1994. 394p.

CUNHA, A. de M. et al. Atualização da legenda do mapa de reconhecimento de solos do Estado do Espírito Santo e implementação de interface no GEOBASES para uso dos dados em SIG. **Geografares**, n.23, p. 32-66, 2016.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: CNPS, 230p. 2011.

FERNANDES, J.C et al. Determination of the quality index of a Paleudult under sunflower culture and different management systems. **Soil & Tillage Research**. v.112, p.167–174, 2011.

FERNANDES, L. A. et al. Fertilidade do solo, nutrição mineral e produtividade da bananeira irrigada por dez anos. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.43, n.11, p.1575-1581, 2008.

FREITAS, D.A.F. et al. Índices de qualidade do solo sob diferentes sistemas de uso e manejo florestal e cerrado nativo adjacente. **Revista de Ciência Agronômica**. v.43, p.417-28, 2012.

FREITAS, L. et al. Análises multivariadas de atributos químicos do solo para caracterização de ambientes. **Revista Agro@ambiente On-line**, v. 8, p. 155-164, 2014.

FREITAS, L. et al. Indicadores da qualidade química e física do solo sob diferentes sistemas de manejo. **Unimar Ciências**, v. 26, p. 08-25, 2017.

FREITAS, L.; CASAGRANDE, J. C.; DESUÓ, I. C. Atributos químicos e físicos de solo cultivado com cana-de-açúcar próximo a fragmento florestal nativo. **Holos Environment**, v. 11, p. 137-147, 2011.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA & INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica no período 2016-2017**. São Paulo, 63 p. 2018.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA & INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica no período 2005-2008**. São Paulo, 156 p. 2009.

GUIMARÃES, G. P. et al. Avaliação da qualidade do solo e de cafeeiros em propriedade familiar do Território do Caparaó-ES. **Revista Brasileira de Agroecologia**. v.8, p.236-246, 2013.

HAIR JUNIOR, J. F. et al. **Análise multivariada de dados**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009. p. 688.

HORST, R. et al. Indicadores de qualidade do solo cultivado com café, pastagem e integração pastagem e eucalipto. Arq. Ciênc. Vet. Zool. **Unipar**, v. 20, p. 183-188, 2017

INSTITUTO CAPIXABA DE PESQUISA, ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL – Incaper. **Planejamento e programação de ações: programa de assistência técnica e extensão rural PROATER 2011 – 2013**. Disponível em https://incaper.es.gov.br/media/incaper/proater/municipios/Noroeste/Santa_Teresa.pdf. Acesso em 30 de agosto de 2018.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET) Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>. Acesso em 11 de novembro de 2018.

KARLEN, D.L.; STOTT, D.E. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. In: DORAN, J.W. et al. Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. **Soil Science Society of America**, v.35, p.53-72, 1994.

KELTING, D.L. et al. Soil quality assessment in domesticated forests – a southern pine example. **Forest Ecology Management**, v.122, p.167-185, 1999.

KEMPER, W. D.; CHEPIL, W. S. Size distribution of aggregation. In: BLACK, C. A. Methods of soil analysis. Madison, **American Society Agronomy**, p. 499-510, 1965.

KHATTREE, R.; NAIK, D. N. **Multivariate data reduction and discrimination with SAS software**. New York: BBU and John Wiley Sons, 2000. 574 p.

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

KLEIN, V. A. **Física do solo**. Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo, 2008. 240 p.

LOPES, P. R. et al. Uma análise das consequências da cafeicultura convencional e das opções de modelos sustentáveis de produção – agricultura orgânica e agroflorestal. **Revista Espaço de Diálogo e Desconexão**, v. 8, p.1-38. 2014.

LU, X. et al. Effect of vegetation types on chemical and biological properties of soils of karst ecosystems. **European Journal of Soil Biology**. v. 61, p.49–57, 2014.

MABIT, L. & BERNARD, C. Spatial distribution and content of soil organic matter in an agricultural field in eastern Canada, as estimated from geostatistical tools. **Earth Surface Processes and Landforms**, v.35, p.278-83, 2010.

MARIM PEREZ, A. M. **Impactos de um sistema agroflorestal com café na qualidade do solo**. 2002. 83f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

MENDONÇA E. S; MATOS E. S. **Matéria orgânica do solo; métodos de análises**. Viçosa: UFV; 2005. 107 p.

MORAIS, E. R. C.; OLIVEIRA, A. A. S.; MAIA, C.E. Qualidade do solo cultivado com banana irrigada e sua relação com áreas de caatinga. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, v.18, p.887–891, 2014.

NEVES, C.S.V.J.; FELLER, C.; KOUAKOUA, E. Efeito do manejo do solo e matéria orgânica em água quente na estabilidade de agregados de um Latossolo argiloso. **Ciência Rural**, v.36, p.1410-1415, 2006.

NIERO, L. A. C. et al. Avaliações visuais como índice de qualidade do solo e sua validação por análises físicas e químicas em um Latossolo Vermelho distroférrico com usos e manejos distintos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1271-1282, 2010.

OLIVEIRA, B. R.; BRAVO, J. V; FRANCO, B. K. S. Florística e fitossociologia de uma Floresta Ombrófila Densa, Santa Teresa, Espírito Santo, Brasil. **Natureza on line**, v.11, p. 187-192, 2013.

OLIVEIRA, G. C. et al. Caracterização química e físico-hídrica em um Latossolo Vermelho após vinte anos de manejo e cultivo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.28, p.327-336, 2004.

PEREIRA, D. S. **Qualidade física de um Latossolo em diferentes sistemas agrícolas no cerrado de baixa altitude**. 2018. 65f. Dissertação (Mestrado em

Agronomia) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de mesquita Filho”: UNESP, Ilha Solteira – SP.

PEZARICO, C. R. et al. Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroflorestais. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 56, p. 40-47, 2013.

PORTUGAL, A. F.; COSTA, O.D.V.; COSTA, L.M. Propriedades físicas e químicas do solo em áreas com sistemas produtivos e mata na região da Zona da Mata mineira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 575-585, 2010.

PREZOTTI, L. C. et al. **Manual de recomendação de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo**: - 5ª aproximação. Vitória, ES: SEEA; INCAPER; CEDAGRO, 2007. 305 p.

R CORE TEAM (2015). R: **A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL: <http://www.R-project.org/>.

RAMOS, M. R. et al. Soil, water and nutrient loss under conventional and organic vegetable production managed in small farms versus forest system. **Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics**, Kassel, v. 115, p. 131–40, 2014.

RESENDE, M. et al. **Pedologia**: Base para distinção de ambientes. 5.ed. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2007. 332p.

SALTON, J.C. et al. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.11-21, 2008.

SANTOS, R. D. et al. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 6ª ed. Revista e Ampliada. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Embrapa Solos, 2013a. 100p.

SILVA, C. A.; ANDERSON, D. J.; VALE, F. R. Carbono, nitrogênio e enxofre em frações granulométricas de dois Latossolos submetidos a calagem e adubação fosfatada. **Revista Brasileira e Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, p.593-602, 1999.

SILVA, G.F. et al. Indicadores da qualidade do solo em diferentes sistemas de uso na mesorregião do agreste Paraibano. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 28, p. 25-35, 2015

SILVA, J. T. A.; PACHECO, D. D.; COSTA, E. L. Atributos químicos e físicos de solos cultivados com bananeira “prata – anã” (AAB), em três níveis de produtividade, no norte de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 29, p. 102-106, 2007.

SILVA, R. R. et al. Biomassa e atividade microbiana em solo sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica Campos das Vertentes – MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.3, p.1585-1592, 2010.

SILVA, V. L. et al. Melhoria da estrutura de um Latossolo por sistemas de culturas em plantio direto nos Campos Gerais do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p. 983-992, 2012.

STEFANOSKI, D. C. et al. Soil use and management and its impact on physical quality. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 17, p. 1301-1309, 2013.

STONE, L.F.; GUIMARÃES, C.M. **Influência de sistemas de rotação de culturas nos atributos físicos do solo**. Santo Antônio de Goiás, Embrapa Arroz e Feijão, 2005. 15p. (Embrapa Arroz e Feijão. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 16)

TAYLOR, S. A.; ASHCROFT, G. L. **Physical edaphology: the physics of irrigated on nonirrigated soils**. San Francisco: W. H. Freeman, 1972. 532 p.

TEDESCO, M. J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS/Departamento de Solos, 1995. 174p. (Boletim Técnico, 5).

TEIXEIRA, D. D. B. et al. Uncertainties in the prediction of spatial variability of soil CO₂ emissions and related properties. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.1466-1475, 2012.

THEODORO, V.C.A. et al. Alterações químicas em solo submetido a diferentes formas de manejo do cafeeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.1039-1047, 2003.

THOMAZINI, A. et al. SOC dynamics and soil quality index of agroforestry systems in the Atlantic rainforest of Brazil. **Geoderma Regional**. v.5, p. 15–24, 2015.

VIANA, E. T. et al. Atributos físicos e carbono orgânico em Latossolo vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.35, p.2105-2114, 2011.

VICENTE, G. C. M. P.; ARAÚJO, F. F. Uso de indicadores microbiológicos e de fertilidade do solo em áreas de pastagens. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, p. 137-146, 2013.

WENDLING, B. et al. Densidade, agregação e porosidade do solo em áreas de conversão do cerrado em florestas de pinus, pastagem e plantio direto. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, p. 256-265, 2012.

WYMORE, A.W. **Model-based systems engineering: an introduction to the mathematical theory of discrete systems and to the tricotyledon theory of system design**. CRC Press, Inc., Boca Raton, FL., 1993.

CAPÍTULO 2

MATÉRIA ORGÂNICA E ATRIBUTOS BIOLÓGICOS DE QUALIDADE DO SOLO EM DIFERENTES SISTEMAS AGRÍCOLAS IMPLANTADOS NO BIOMA MATA ATLÂNTICA

Resumo

A conversão da condição natural do solo para a agricultura, em destaque para a monocultura, impõe alterações nos atributos do solo. Dessa forma, objetivou-se com este trabalho quantificar os diferentes compartimentos da matéria orgânica, medir a emissão de CO₂ e avaliar a fauna edáfica de solos sob diferentes usos e no fragmento de Mata Atlântica localizado na região serrana do Espírito Santo. O estudo foi realizado em Santa Teresa – ES. Nos sistemas de uso do solo e floresta, as coletas de solo foram feitas em duas profundidades (0-10 e 10-20 cm) e duas épocas (verão e inverno), a fim de avaliar os atributos biológicos do solo e compartimentos da matéria orgânica. Os resultados foram submetidos à análise de estatística descritiva e multivariada. O solo da área de MT e BN destacaram-se nos valores dos atributos biológicos em relação às áreas de cultivos agrícolas no verão (CBM= 413,94 µg g⁻¹; NBM= 4,84 mg kg⁻¹; MOL= 0,470 g) e inverno (CBM= 1040,01 µ g⁻¹; NBM= 11,64 mg kg⁻¹; qMIC= 3,12%). As emissões de CO₂ sob MT (5,7 mmol m⁻² s⁻¹) foram superiores às áreas agrícolas (2,27 mmol m⁻² s⁻¹). Essa maior emissão de CO₂ foi relacionada o maior estoque de carbono na camada superficial do solo, à presença de resíduos vegetais facilmente decomponíveis, à maior umidade do solo e à maior atividade biológica devido à melhor qualidade do solo em relação aos usos agrícolas. A fauna edáfica apresentou-se, de modo geral, com maior densidade, na área sob EU (1,75 ind m⁻²), CFE (1,91 ind m⁻²) e MT (1,11 ind m⁻²) e maior riqueza, na área sob EU (7), BN (5) e MT (5), no período de verão. No inverno, as áreas de BN (1,70 ind m⁻²) e CFL (1,44 ind m⁻²) apresentaram maior densidade e a MT maior riqueza. A análise canônica explicou 99% da variância dos dados no verão e 95% no período de inverno. Os atributos biológicos e compartimentos da matéria orgânica: Nmin, COT, CBM, Coxi3, C-HU, N-HU, C-FAH, N-FAH, N-FAF, MOL e qMIC, juntamente com os grupos de fauna edáfica, especialmente Haplotaxida, Isopoda, Coleoptera e Hymenoptera, contribuíram efetivamente para a separação entre as áreas estudadas. Os resultados indicam que as áreas com maior aporte de matéria orgânica foram as que se destacaram quanto aos atributos biológicos, reforçando a importância do manejo adequado das culturas e de um sistema sustentável para garantir a produtividade das culturas e a qualidade dos solos.

Palavras-chave: Fauna edáfica, uso do solo, emissão de CO₂, análise multivariada.

CHAPTER 2

ORGANIC MATTER AND BIOLOGICAL ATTRIBUTES OF SOIL QUALITY IN DIFFERENT AGRICULTURAL SYSTEMS IMPLEMENTED IN THE ATLANTIC FOREST BIOMA

Abstract

The conversion of the natural condition from the soil to the agriculture, in particular to the monoculture imposes changes in the attributes of the soil. Thus, the objective of this work was to quantify the different compartments of organic matter, to measure CO₂ emissions and to evaluate the soil fauna in different uses and in the Atlantic Forest fragment in the highlands of Espírito Santo. The study was carried out in Santa Teresa - ES. Soil samples were collected from three farms and one Atlantic Forest fragment at depths of 0-10 cm and 10-20 cm in the summer and winter, in order to evaluate the biological attributes of the soil. The results were submitted to descriptive and multivariate analysis. The soil of the MT and BN area stood out in the values of the biological attributes in relation to the areas of agricultural crops in the summer (CBM= 413,94 µg g⁻¹; NBM= 4,84 mg kg⁻¹; MOL= 0,470 g) and winter (CBM= 1040,01 µg g⁻¹; NBM= 11,64 mg kg⁻¹; qMIC= 3,12%). The CO₂ emissions under MT (5,7 mmol m⁻² s⁻¹) were higher than the agricultural areas (2,27 mmol m⁻² s⁻¹). This higher CO₂ emission was related to the higher carbon stock in the topsoil, the presence of easily decomposable vegetable residues, higher soil moisture and greater biological activity due to better soil quality in relation to agricultural uses. The edaphic fauna presented, in general, with greater density, in the area under EU (1,75 ind m⁻²), CFE (1,91 ind m⁻²) and MT (1,11 ind m⁻²) and higher richness in the area under US (7), BN (5) and MT (5), in the summer period. In winter, the areas of BN (1,70 ind m⁻²) and CFL (1,44 ind m⁻²) presented higher density and higher MT. The canonical analysis explained 99% of the data variance in the summer and 95% in the winter period. The biological attributes Nmin, COT, CBM, Coxi3, C-HU, N-HU, C-FAH, N-FAH, N-FAF, MOL and qMIC, together with the groups of edaphic fauna, especially Haplotaxida, Isopoda, Coleoptera and Hymenoptera, effectively contributed to the separation between the studied areas. The results indicate that the areas with the highest organic matter input were those that emphasized the biological attributes, reinforcing the importance of adequate crop management and a sustainable system to guarantee crop productivity and soil quality.

Keywords: Soil fauna, soil use, CO₂ emission, multivariate analysis.

1. INTRODUÇÃO

O solo é o componente fundamental dos ecossistemas terrestres (WELC et al., 2012) abrigando processos biológicos e desempenhando diversas funções-chave na sustentabilidade do ecossistema. O aumento da intensidade do uso do solo e a diminuição da cobertura vegetal nativa têm levado à degradação dos recursos naturais, quando não há utilização de práticas de manejo adequadas.

As ações antrópicas têm causado perturbações no equilíbrio ecológico do solo (HUNGRIA, 2010), afetando a qualidade edáfica. Para sua interpretação devem ser selecionados indicadores que permitam caracterizar, acompanhar e avaliar as alterações ocorridas num dado ecossistema (ARAÚJO et al., 2013). Dentre os indicadores, os biológicos têm sido usados crescentemente devido a sua capacidade de responder rapidamente às mudanças no solo, causadas pelo uso e práticas de manejo.

O conteúdo de matéria orgânica no solo (MOS) é considerado um dos principais indicadores de sustentabilidade e qualidade ambiental dos agroecossistemas, pois está envolvido e relacionado com propriedades físicas, químicas e biológicas do solo e por responder às diferentes formas de manejo empregadas. Entretanto, Figueiredo et al. (2013) alertam que as alterações nos sistemas de manejo podem não ser expressadas somente com a avaliação da MOS quando medidas pelo carbono orgânico total do solo. Por isso, o estudo de frações da MOS (viva e não viva), com tempo de ciclagem e forma de proteção diferentes, tem sido a melhor maneira para detectar a dinâmica da MOS em solos com diferentes manejos (CARNEIRO et al., 2009).

A fração viva que forma a MOS inclui os macrorganismos, a biomassa microbiana e as raízes, que juntos correspondem a menos de 4% do carbono orgânico total do solo. A fração não viva é constituída pelos ácidos orgânicos e substâncias húmicas (ácidos húmicos, fúlvicos e huminas), e correspondem à maior parte do carbono orgânico total do solo, cerca de 95% (MAIA et al., 2013). Os atributos microbianos, tais como a diversidade de microrganismos, atividade enzimática, taxa de respiração e biomassa microbiana (EPELDE et al., 2014), fazem parte da fração viva e são utilizados com maior frequência em estudos de qualidade de solo.

O carbono da biomassa microbiana (CBM) é o compartimento da MOS diretamente influenciado por fatores bióticos e abióticos, o que justifica sua alteração às modificações provocadas nos sistemas ambientais (SILVA et al., 2012). É considerado um componente lábil da MOS e representa de 1 a 3% do C orgânico total e aproximadamente 5% do N orgânico total (MENDONÇA; MATOS, 2005). O CBM participa das ações de degradação da MOS e na liberação e imobilização de nutrientes (BURNS et al., 2013; ZHANG et al., 2011), e sua quantidade e composição são influenciadas por diversos fatores, entre eles o sistema de cultivo, a rotação de culturas e a textura do solo. Logo, as alterações no uso e manejo do solo interferem na comunidade microbiana e na sua atividade, o que promove mudanças na decomposição microbiana da MOS e, conseqüentemente, propiciam modificações na emissão de C-CO₂ (SONG et al., 2013) e no conteúdo de C-BM e N-BM (SILVA et al., 2012).

A emissão de CO₂ é um indicador sensível e revela rapidamente alterações nas condições ambientais que porventura afetem a atividade microbiana, como temperatura e umidade do solo (WU et al., 2010). Além disso, mostra a concentração de CO₂ previamente existente no solo e da respiração das raízes das plantas. A respiração depende do estado fisiológico da célula microbiana, indicando a qualidade do agroecossistema onde, por exemplo, altas taxas podem indicar tanto um distúrbio ecológico como um alto nível de produtividade do ecossistema.

O entendimento da dinâmica da MOS, com seus compartimentos e suas correlações, pode servir como indicador de mudanças ambientais que levem à sua manutenção, aumento ou perda, resultando na melhor compreensão da interação entre usos e solos nos ecossistemas. Nesse sentido, as avaliações mais específicas do componente orgânico, como a análise dos diferentes compartimentos, representados pelas frações húmicas e as frações oxidáveis, podem fornecer informações além daquelas apresentadas pela análise dos teores de C orgânico total.

Outra forma de avaliar o equilíbrio ambiental é pela quantificação de populações de organismos (fauna edáfica) que se mostram sensíveis às modificações ocorridas no ambiente, tanto as biológicas, físicas e químicas, resultantes das

práticas de manejo do solo utilizadas. Estudos demonstram que a fauna edáfica apresenta diferenças em relação à densidade e diversidade quanto ao tipo de manejo empregado (FARIA et al, 2015; GEREMIA et al., 2015; GIBSON et al., 2011; SILVA et al., 2013), ao tipo e composição de resíduos orgânicos (ALVES et al., 2008), aos atributos físicos e químicos do solo (LOURENTE et al., 2007; ROSA et al, 2015) e quanto às estações do ano (inverno e verão) (ALMEIDA; SOUTO; ANDRADE, 2015; FERNANDES et al., 2011), justificando o estudo ao longo do ano e em sistemas de uso e manejo diferentes.

Diante do exposto, objetivou-se com este trabalho quantificar os diferentes compartimentos da matéria orgânica, medir a emissão de CO₂ e avaliar a fauna edáfica de solos em usos diferentes e no fragmento de Mata Atlântica na região serrana do Espírito Santo.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Descrição dos sistemas de uso em estudo

Conforme descrito no Capítulo 1.

2.2. Amostragem e preparo das amostras

As coordenadas geográficas referentes ao centro de cada área foram obtidas com auxílio de GPS (Garmin International, Inc., Kansas City, USA). A coleta de solos para caracterização biológica e das frações da MOS foi realizada em duas épocas do ano, sendo uma no mês de fevereiro de 2018 e a outra em agosto de 2018, correspondendo às estações climáticas verão e inverno, respectivamente. Em cada uso do solo estudado, foram amostradas aleatoriamente quatro parcelas de 30 x 10 m. As parcelas foram alocadas em um transecto no terço médio de cada área e foram dispostas em pares distantes 20 metros entre si e a distância entre os pares variando de 20 m a 25 m (Figura 2). Nas áreas de mata nativa (MT), banana (BN) e eucalipto (EU), a coleta de solo foi retirada na linha de plantio e na área de café, foi retirada na linha (CFL) e entrelinha (CFE) de plantio.

A coleta de solo foi realizada por meio da abertura de pequenas trincheiras de 0,30 m de profundidade em cada parcela. Foram coletadas três sub-amostras de solo para compor uma amostra composta deformada, por unidade amostral e por

profundidade de 0-10 e 10-20 cm. Após a coleta, as amostras de solo foram homogeneizadas e acondicionadas em sacos plásticos, conduzidas ao Laboratório de Matéria Orgânica do Solo do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo. No laboratório, parte do solo de cada amostra foi acondicionada em saco plástico e mantida sob refrigeração de 4-6° C até o momento de ser analisada com relação ao conteúdo de carbono da biomassa microbiana (CBM) e nitrogênio da biomassa microbiana do solo (NBM). A outra parte da amostra de solo foi reservada para ser seca ao ar, destorroada e passada em peneira com malha de 2,0 mm, obtendo-se a terra fina seca ao ar (TFSA) para análises de nitrogênio mineralizável anaerobicamente (NMA) e fracionamento das substâncias húmicas (SH). Parte do solo de cada amostra foi moído em almofariz e passado em peneiras de 0,2 mm, obtendo-se o solo para análises de carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT) e carbono oxidável (Coxi).

2.3. Análises laboratoriais do solo

2.3.1. Análises da matéria orgânica do solo (MOS)

Os teores de carbono orgânico total (COT) foram quantificados por oxidação por via úmida com dicromato de potássio em meio ácido, com aquecimento externo e determinado por titulometria, conforme descrito por Mendonça e Matos (2005). Os teores de nitrogênio total (NT) foram quantificados por meio da destilação em aparelho semimicro Kjeldahl das amostras digeridas, com o uso de solução de ácido bórico como indicador e de HCl 0,05 mol L⁻¹ como solução titulante (TEDESCO et al., 1995). A relação COT/NT foi calculada a partir dos resultados dos teores de COT e NT previamente determinados.

Os teores de C e N da biomassa microbiana (CBM e NBM) foram determinados empregando-se o método da irradiação-extração conforme descrito em Mendonça e Matos (2005). O método baseia-se na extração do C microbiano após a morte dos microrganismos e lise celular pelo uso de microondas, com a liberação dos constituintes celulares e posterior quantificação. O C e o N nos extratos foram quantificados de acordo com Tedesco et al. (1995). Após a obtenção dos dados foi calculada a relação entre a teor de CBM e COT,

conhecida como quociente microbiano (qMIC), que indica a qualidade da matéria orgânica, assim como a eficiência de conversão do C do solo em C microbiano.

O fracionamento do C por graus de oxidação foi realizado conforme descrito por Chan, Bowman e Oates (2001), com separação das frações em Cox1, Cox2 e Cox3, em que o Cox1 é considerado como carbono lábil, Cox2 como carbono moderadamente lábil e Cox3 como pouco lábil. Amostras de 0,3 g de solo foram acondicionadas em erlenmeyer, onde adicionaram-se 10 mL $K_2Cr_2O_7$ 0,167 mol L^{-1} e quantidades de H_2SO_4 p.a., correspondentes às concentrações de 3, 6, 9 mol L^{-1} . A oxidação foi realizada sem fonte externa de calor e a determinação por titulometria.

O N mineralizável anaerobicamente (NMA) foi determinado conforme método de incubação anaeróbica descrito por Keeney e Nelson (1982). Amostras de solo moído, foram acondicionadas em um tubo do tipo falcon, juntamente com água deionizada e foram incubadas a 40°C durante sete dias. Após a incubação, o conteúdo dos tubos foi transferido quantitativamente para frascos de destilação, utilizando-se para isso solução de KCl 1 mol L^{-1} . Os frascos de destilação receberam também a adição de 0,2 g de MgO. O NH_4^+ presente na amostra de agregados foi dosado a partir da quantidade de NH_3 liberada pela destilação em meio alcalino e que foi recolhida em recipiente, contendo solução indicadora em ácido bórico. A solução obtida na destilação foi titulada com solução padronizada de H_2SO_4 0,0025 mol L^{-1} . Paralelamente, determinou-se o teor de NH_4^+ nas amostras não incubadas (N inicial).

O fracionamento químico quantitativo das substâncias húmicas (SH) foi realizado segundo Benites, Madari e Machado (2003), sendo obtidas as frações huminas (H), ácidos húmicos (AH) e ácidos fúlvicos (AF), conforme segue: amostras de solo foram tratadas com NaOH 0,1 mol L^{-1} , agitadas manualmente e deixadas em repouso. Após essa etapa, as mesmas foram centrifugadas, onde o precipitado (fração H) foi conduzido para estufa a 45°C e o sobrenadante foi acondicionado em recipientes, onde o pH foi ajustado com adição de H_2SO_4 e deixado para decantar, para total precipitação da fração húmica. O material acidificado foi centrifugado e sobrenadante (fração AF) foi transferido para balão volumétrico, com volume aferido com água destilada. O precipitado (fração AH)

foi transferido para balões volumétricos e o volume aferido com NaOH 0,1 mol L⁻¹. Posteriormente, foram determinados o C e o N das frações AF, AH e H, através da oxidação do C com dicromato de potássio e titulação do excesso e da titulação do N com HCl 0,05 mol L⁻¹.

A avaliação dos teores de matéria orgânica leve (MOL) em água seguiu o procedimento de Anderson e Ingram (1989). Para tanto, foi adicionado 100 mL de solução de NaOH 0,1 mol L⁻¹ em TFSA e foi deixado em repouso por uma noite. Decorrido o tempo, a suspensão foi passada por peneira de 0,25 mm. Posteriormente, o material retido na peneira (MOL) foi transferido novamente para um becker, completando-se o volume com água. A porção sobrenadante foi passada por peneira de 0,25 mm, tomando-se cuidado para separar a MOL da fração areia. Essa operação foi repetida até a completa remoção do material flotante. Após a separação, a MOL foi seca em estufa a 65°C até peso constante e posteriormente pesada em balança de precisão.

2.3.2. Respiração basal de CO₂ (Emissão de CO₂)

As emissões de CO₂ do solo foram coletadas e registradas por câmara de fluxo fabricada pela companhia LI-COR (LI-6400-09, LI-COR, NE, USA) (HEALY et al., 1996), que consiste em um sistema fechado. Para isto, foram instalados seis anéis de PVC de 0,10 m de diâmetro em cada parcela amostral e deixados em repouso por 40 minutos. Os anéis foram inseridos cuidadosamente no solo para evitar prejuízos à sua estrutura. Após transcorrido o tempo, acoplou-se a câmara em cada um dos anéis, para a realização as leituras. Concomitantemente, foi medida a temperatura e a umidade do solo próxima ao anel com auxílio de um sensor FDR (Frequency Domain Reflectometry ou Reflectometria no Domínio de Frequência).

Com os dados obtidos em campo da emissão de CO₂ e do C_{mic}, foi obtido o quociente metabólico (qCO₂), descrito por Anderson e Domsch (1990), que representa a quantidade de CO₂ liberado por unidade de biomassa microbiana em determinado tempo.

Para comparar a sensibilidade à temperatura do solo nos diferentes sistemas, foi calculada a variação proporcional na emissão de CO₂ do solo quando a temperatura do solo aumentou 10°C (Q₁₀), com base na relação entre a

temperatura do solo a 5 cm de profundidade e a emissão de CO₂ do solo. Assim, os valores Q10 foram obtidos de acordo com a equação

$$Q10 = e^{10 \times \beta 1}$$

onde: e é o efluxo de CO₂ e $\beta 1$ é o coeficiente de regressão obtido a partir da regressão exponencial do efluxo de CO₂ do solo a temperatura de 5 cm de profundidade.

Para comparar o efluxo de CO₂ do solo entre os sistemas de uso, os valores de CO₂ foram normalizados a uma temperatura de 25°C (R25), de acordo com a seguinte equação:

$$R25 = F_{CO_2} * Q10^{(25-T/25)}$$

onde: F_{CO₂} é o efluxo de CO₂ do solo ($\mu\text{molm}^{-2} \text{s}^{-1}$), medidos em cada ponto e T é a temperatura do solo a 5 cm de profundidade medida no momento da avaliação de efluxo de CO₂ do solo (ACOSTA et al., 2013).

2.3.3. Fauna Edáfica

Para avaliar a fauna edáfica, foram retiradas três amostras de solo em cada parcela amostral, utilizando um anel de dimensão 0,127 x 0,115 m (0,0145 m³). O material coletado foi acondicionado em sacos plásticos identificados e encaminhados para identificação no Laboratório de Microscopia I do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo.

A triagem das amostras foi feita manualmente e animais com mais de 10mm de comprimento, ou com diâmetro corporal acima de 2mm, foram coletados e armazenados em solução de álcool a 70%. A contagem e identificação no nível de grupos taxonômicos foram feitas com o auxílio de lupas binoculares.

A caracterização da fauna edáfica foi feita com a obtenção dos dados de densidade total de indivíduos por área (número de indivíduos por m²); a diversidade foi calculada pelo Índice de Shannon ($H = -\sum p_i \cdot \log_2 p_i$) em que p_i é a frequência relativa de indivíduos de cada grupo taxonômico "i" identificado; índice de equabilidade de Piellou (e), derivado a partir do Índice de Shannon: $U = H / \log_2 R$, em que "R" é a riqueza definida como o número de diferentes grupos coletados em cada área avaliada.

2.4. Características físicas e químicas dos solos em estudo

A caracterização física e química dos solos nos diferentes sistemas de usos é apresentada na Tabela 1. A coleta de solos para caracterização química e física foi realizada em fevereiro de 2018, nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, em todos os usos avaliados. As análises realizadas em laboratório seguiram as marchas analíticas descritas em Embrapa (2011).

Tabela 1 – Características químicas e físicas, nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, de diferentes sistemas de uso de solo e remanescente florestal nativo de Mata Atlântica, Santa Teresa – ES

USOS	AT	ARG	S	Ds	MACP	MICP	pH	SB	CTC	Al
	-----	dag kg ⁻¹	-----	kg m ⁻³	--	m ³ m ⁻³	H ₂ O	----	cmol _c dm ⁻³	---
0-10 cm										
MT	72,72	20,00	7,27	0,97	0,32	0,32	4,1	0,69	17,80	2,25
CFL	69,45	22,96	7,58	1,23	0,27	0,28	4,9	1,42	12,99	0,80
CFE	70,19	23,69	6,10	1,33	0,33	0,23	4,9	1,31	11,15	0,70
BN	74,66	18,55	6,77	1,02	0,11	0,24	6,1	6,73	12,58	0,00
EU	80,56	13,32	6,09	1,23	0,30	0,22	5,3	2,61	13,13	0,43
10-20 cm										
MT	64,39	26,83	8,77	0,95	0,32	0,31	4,3	0,31	15,33	1,57
CFL	56,09	32,71	11,18	1,19	0,25	0,31	4,7	0,30	11,21	0,95
CFE	65,30	26,86	8,46	1,31	0,27	0,29	4,9	0,57	10,76	0,80
BN	81,60	12,00	6,38	1,16	0,34	0,24	6,1	4,13	10,56	0,00
EU	76,19	16,84	7,64	1,26	0,31	0,21	5,2	1,48	12,80	0,68

AT= areia total; ARG= argila; S= silte, DS= densidade do solo, MACP= macroporosidade; MICP= microporosidade; SB= soma de bases; CTC= capacidade de troca catiônica SB= soma de bases e Al³⁺= alumínio.

2.5. Análise Estatística

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade (Shapiro-Wilk) e, quando não estavam dentro da normalidade, as variáveis foram transformadas (logarítmica e quadrática). Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas no software R (R CORE TEAM, 2015). Foram determinados os coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis biológicas analisadas.

Os dados obtidos para os períodos de coleta (verão e inverno) foram submetidos à análise discriminante canônica, utilizando as seguintes variáveis padronizadas: carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT), C e N da biomassa microbiana (CBM e NBM), carbono solúvel (Csol), frações oxidáveis (Cox1, Cox2

e Cox3), nitrogênio mineralizável (Nmin), matéria orgânica leve em água (MOL), quociente microbiano (qMIC) e C e N das substâncias húmicas (C-HU, C-FAF, C-FAH, N-HU e N-FAF), totalizando 16 das 20 variáveis obtidas. A exclusão das demais variáveis foi decidida após se constatar a existência de multicolinearidade elevada na matriz de correlação. Isso indicou que existe alta correlação entre muitas das variáveis, gerando redundância de informação.

Para uso da Análise Discriminante (AD), os sistemas de uso foram estabelecidos como variáveis dependentes e os atributos biológicos e de fauna edáfica foram utilizados como variáveis independentes. Para ambos, os dados foram avaliados como linearidade, distribuição normal multivariada e homogeneidade das matrizes de covariância com o software R (R CORE TEAM, 2015). AD é comparável à análise de variância multivariada com a vantagem de melhor quantificação da relação de atributos dependente e independentes, e ainda permite o uso de os escores do AD para outras interpretações (HAIR et al., 2009).

3. RESULTADOS

3.1. Frações da atéria orgânica e atributos biológicos dos solos

Os dados de COT, NT, das frações oxidáveis do C, bem como o C e N das substâncias húmicas, referentes à coleta de verão, encontram-se na Tabela 2. Os teores de COT variaram de 18,9 a 25,4 g kg⁻¹ de solo. Na profundidade de 0-10 cm, a MT e a BN apresentaram os maiores teores de COT em comparação aos outros sistemas de uso avaliados. A MT apresentou teor de COT superior em relação aos demais usos do solo na profundidade de 10-20 cm. Para o NT não houve diferença significativa entre os usos, em ambas as profundidades.

Os teores de C facilmente oxidáveis (Cox1, Cox2 e Cox3) variaram entre 6,6 a 32,5 g kg⁻¹. O Cox1 não diferenciou em nenhum dos usos, em ambas as profundidades. O Cox2 apresentou teores maiores para a MT e EU na

Tabela 2 - Frações da matéria orgânica e atributos biológicos do solo em diferentes sistemas de uso do solo e remanescente Florestal nativo, no período de verão, nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm

VERÃO												
USO	COT	NT	Cox1	Cox2	Cox3	Csol	C-HU	N-HU	C-FAH	N-FAH	C-FAF	N-FAF
	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	-----	g kg ⁻¹	-----	µg g ⁻¹	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹
0-10 cm												
MT	25,4 A	0,091 A	11,4 A	16,5 A	32,5 A	164,46 A	44,5 A	0,124 A	19,2 A	0,059 A	15,7 A	0,027 A
CFL	18,9 B	0,059 A	6,6 A	12,3 A	20,6 B	16,26 B	24,7 C	0,072 B	13,3 B	0,031 B	13,7 A	0,016 A
CFE	20,4 B	0,068 A	9,6 A	10,4 A	21,6 B	42,41 B	21,2 C	0,066 B	11,6 B	0,028 B	13,6 A	0,018 A
BN	24,5 A	0,083 A	12,0 A	16,3 A	29,6 A	58,59 B	30,4 B	0,096 B	13,1 B	0,040 B	11,4 A	0,017 A
EU	20,9 B	0,070 A	7,3 A	13,0 A	20,2 B	95,59 B	22,3 C	0,071 B	10,3 B	0,039 B	8,7 A	0,015 A
CV(%)	15,53	35,17	46,10	28,94	28,44	121,55	39,65	38,65	29,73	33,36	38,86	32,31
10-20 cm												
MT	24,2 A	0,063 A	12,6 A	14,6 A	27,7 A	42,07 B	32,8 A	0,094 A	15,6 A	0,035 A	16,3 A	0,029 A
CFL	19,2 B	0,062 A	9,4 A	8,0 B	20,6 A	33,22 B	21,6 B	0,057 A	13,1 A	0,032 A	11,8 A	0,022 A
CFE	19,2 B	0,054 A	8,3 A	6,9 B	19,8 A	71,68 B	21,3 B	0,057 A	9,7 A	0,017 A	8,3 A	0,029 A
BN	19,2 B	0,048 A	7,6 A	9,8 B	19,6 A	49,56 B	25,8 A	0,092 A	10,2 A	0,034 A	10,3 A	0,016 A
EU	20,9 B	0,069 A	5,8 A	13,2 A	20,6 A	122,48 A	20,9 B	0,050 A	10,4 A	0,026 A	13,5 A	0,021 A
CV(%)	15,13	31,17	54,74	37,38	23,56	65,82	26,83	42,63	28,78	58,70	40,76	30,12

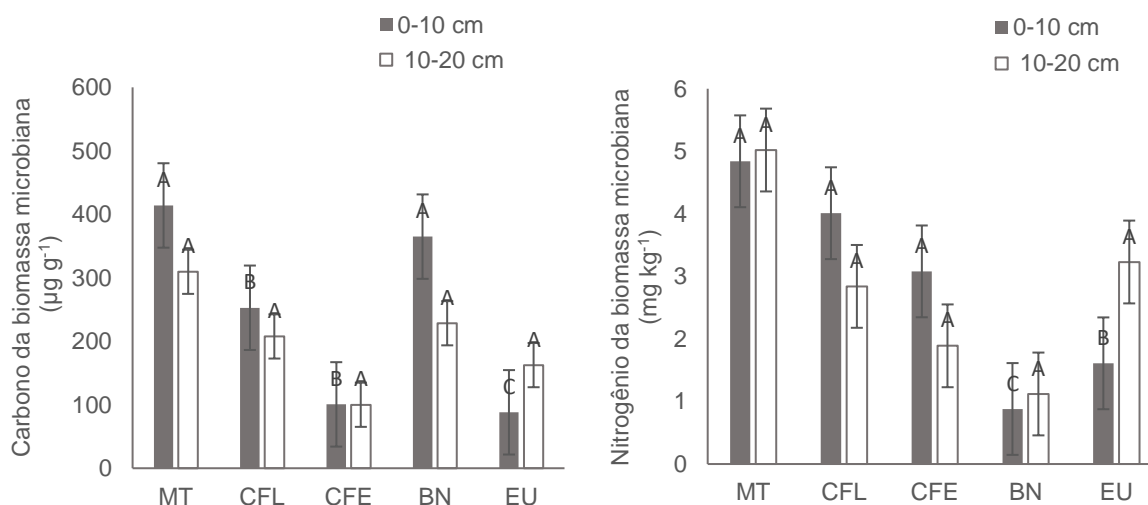
Médias seguidas por uma mesma letra, na coluna, para um atributo, não diferem significativamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. COT= carbono orgânico total; NT= nitrogênio total; Cox1, Cox2, Cox3 = carbono oxidável; Csol= carbono solúvel; C-HU= carbono na forma de humina; N-HU= nitrogênio na forma de humina; C-FAH= na forma de ácido húmico; N-FAH= nitrogênio na forma de ácido húmico; C-FAF= carbono na forma de ácido fúlvico; N-FAF= nitrogênio na forma de ácido fúlvico.

profundidade de 10-20 cm. Já para o Cox3, a MT e o EU apresentaram os maiores teores e diferenciaram-se dos demais usos.

O C solúvel (Csol) destacou-se no solo sob MT na profundidade de 0-10 cm e no uso de EU para a profundidade de 10-20 cm. A área de MT obteve teores superiores de C-HUM, C-FAF e C-FAH em todas as profundidades em relação às demais áreas estudadas. Entretanto, o C_{fah} não apresentou diferença entre os usos do solo na profundidade de 10-20 cm e o C-FAF em ambas as profundidades. Os menores valores de C-HUM foi para CFL, CFE e EU. A MT também se destacou para N-HU e N-FAH para profundidade de 0-10 cm. Para a profundidade de 10-20 cm não houve diferença entre os usos.

Os maiores valores de C da biomassa microbiana (CBM) foram encontrados nos solos de MT e BN, na profundidade de 0-10 cm (Figura 1). Os usos BN, CFL, CFE e EU apresentaram valores de CBM inferiores a MT.

Figura 1 – Carbono e Nitrogênio da biomassa microbiana em diferentes usos do solo, nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, no período de verão.



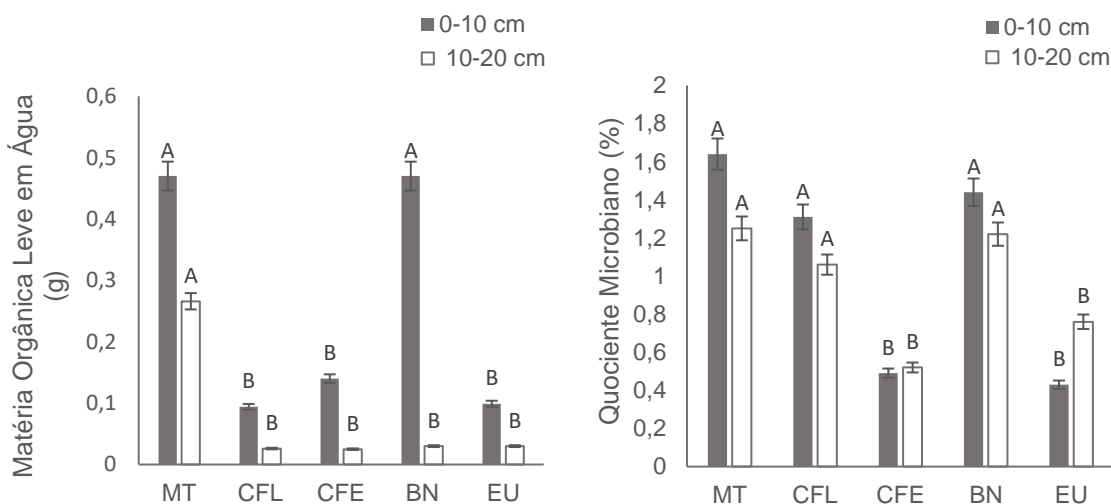
Médias seguidas por uma mesma letra, para cada uso, não diferem significativamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

No caso do EU, esse fato foi atribuído à qualidade do material orgânico e, no CF à baixa fertilidade do solo, devido à intensidade de uso. Na BN, os restos orgânicos parecem ter promovido uma distribuição da matéria orgânica no solo, refletindo em uma distribuição homogênea da biomassa microbiana. Para o N da biomassa microbiana (NBM), a MT e CF apresentaram os maiores resultados

seguidos de EU e BN (Figura 1). Na profundidade de 10-20 cm não houve diferença entre os usos, para CBM e NBM.

Em relação à matéria orgânica leve em água (MOL), o maior valor encontrado foi para a MT, em ambas profundidades (Figura 2). A área com BN foi superior às áreas agrícolas na profundidade de 0-10 cm. As áreas de MT, BN e CFL obtiveram os maiores valores para o quociente microbiano (qMIC), com os menores valores obtidos nas áreas de CFE e EU, em ambas as profundidades.

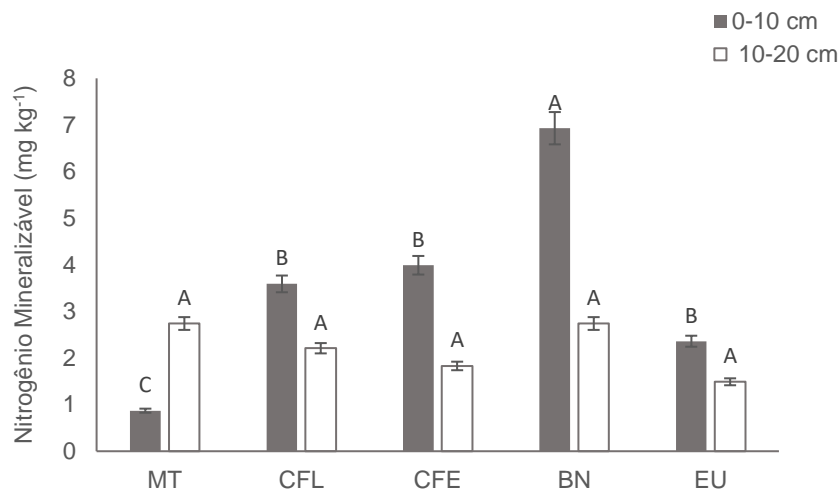
Figura 2 – Matéria orgânica leve em água (MOL) e quociente microbiano (qMIC) em diferentes usos do solo, nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, no período do verão.



Médias seguidas por uma mesma letra, para cada uso, não diferem significativamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Para o N mineralizável (Nmin), o maior valor obtido foi para a área de BN (Figura 3), seguido pelas áreas agrícolas, e o menor valor foi para a MT, para a profundidade de 0-10 cm. Não houve diferença nos teores de Nmin, na profundidade de 10-20 cm.

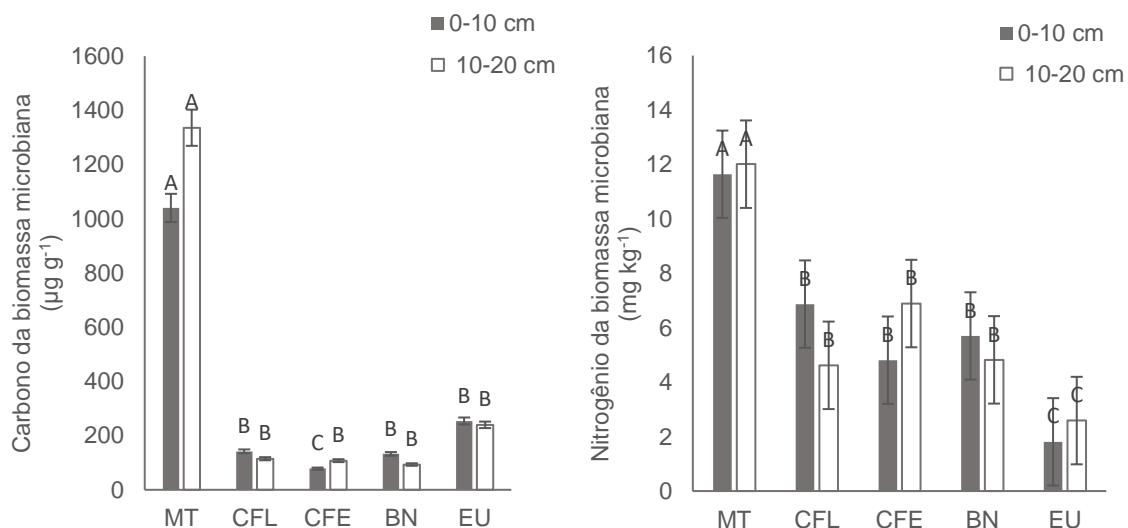
Figura 3 – Nitrogênio mineralizável (Nmin) em diferentes usos do solo, nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, no período do verão.



Médias seguidas por uma mesma letra, para cada uso, não diferem significativamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Para a coleta de inverno, os maiores teores de CBM foram encontrados para MT, para ambas as profundidades (Figura 4). Os piores resultados foram registrados para o CFE. Para o NBM, a MT apresentou os maiores valores se comparadas com os usos agrícolas, para ambas profundidades. Assim como o CBM, a MT obteve o maior valor de Csol, em ambas as profundidades (Tabela 3).

Figura 4 – Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana em diferentes usos do solo, nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, no período de inverno



Médias seguidas por uma mesma letra, para cada uso, não diferem significativamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Tabela 3 – Frações da matéria orgânica e atributos biológicos do solo em diferentes sistemas de uso do solo e remanescente Florestal nativo, no período de inverno, nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm

USO	INVERNO													
	COT g kg ⁻¹	NT mg kg ⁻¹	Cox1 ----- g kg ⁻¹	Cox2 g kg ⁻¹	Cox3 -----	Csol µg g ⁻¹	Nmin g kg ⁻¹	MOL mg kg ⁻¹	C-HU g kg ⁻¹	N-HU mg kg ⁻¹	C-FAH g kg ⁻¹	N-FAH mg kg ⁻¹	C-FAF g kg ⁻¹	N-FAF mg kg ⁻¹
	0-10 cm													
MT	33,1 A	0,32 A	15,8 A	14,2 A	24,1 A	272,57 A	11,14 A	0,032 A	21,5 A	0,088 A	8,5 A	0,029 A	0,026 A	0,044 A
CFL	31,5 A	0,27 A	10,4 A	13,2 A	19,5 A	148,65 B	7,01 A	0,0034 A	18,2 B	0,060 B	7,7 A	0,029 A	0,026 A	0,027 A
CFE	30,1 A	0,14 A	13,0 A	14,6 A	25,3 A	112,88 B	10,89 A	0,0099 A	17,9 B	0,042 B	0,97 A	0,031 A	0,028 A	0,023 B
BN	32,1 A	0,25 A	10,4 A	12,8 A	17,1 A	93,99 B	6,24 A	0,050 A	16,8 B	0,087 A	8,1 A	0,035 A	0,032 A	0,032 A
EU	29,4 A	0,22 A	14,6 A	14,41 A	18,7 A	53,25 B	5,08 A	0,0042 A	14,5 B	0,074 B	13,8 A	0,035 A	0,031 A	0,032 A
CV(%)	13,10	31,14	37,99	35,10	38,19	63,55	56,54	147,48	18,56	30,61	41,65	17,84	17,84	31,88
	10-20 cm													
MT	33,2 A	0,24 A	14,2 A	14,16 A	18,72 A	309,22 A	9,93 A	0,065 A	19,1 A	0,067 A	13,8 A	0,032 A	0,029 A	0,031 A
CFL	30,8 A	0,17 A	10 B	9,7 A	18,6 A	132,26 B	4,74 A	0,003 A	20,8 A	0,052 A	10,5 A	0,038 A	0,034 A	0,018 A
CFE	26,7 A	0,19 A	5,5 B	8,5 A	19,7 A	110,57 B	9,79 A	0,0067 A	17,3 A	0,059 A	8,9 A	0,034 A	0,03 A	0,025 A
BN	26,2 A	0,15 A	7,8 B	11,1 A	14,8 A	77,03 B	2,61 A	0,0097 A	20,25 A	0,068 A	9,5 A	0,037 A	0,033 A	0,027 A
EU	33,2 A	0,24 A	16,4 A	13,7 A	18,9 A	84,23 B	6,06 A	0,012 A	16,9 A	0,073 A	14,1 A	0,046 A	0,041 A	0,025 A
CV(%)	15,79	33,83	47,87	43,52	32,12	71,99	69,60	237,91	18,32	26,98	36,46	36,86	36,86	31,36

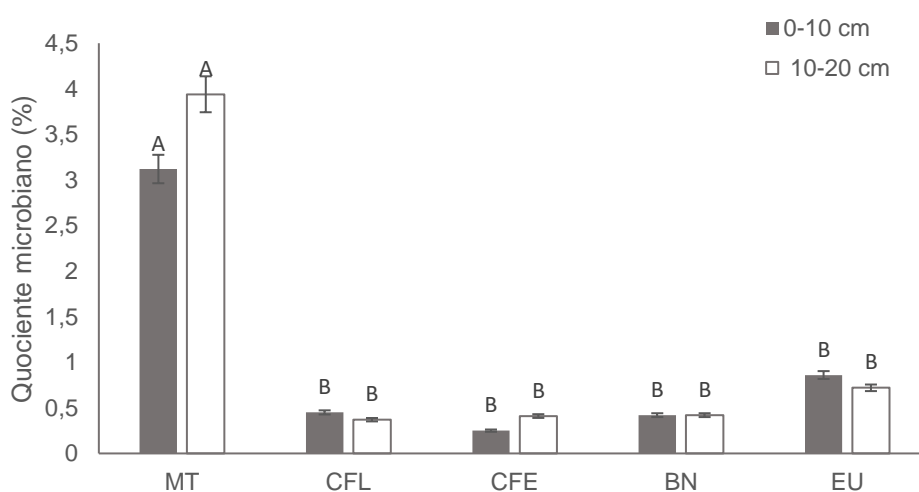
Médias seguidas por uma mesma letra, na coluna, para um atributo, não diferem significativamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. COT= carbono orgânico total; NT= nitrogênio total; Cox1, Cox2, Cox3 = carbono oxidável; Csol= carbono solúvel; Nmin= nitrogênio mineralizável; MOL= matéria leve em água; C-HU= carbono na forma de humina; N-HU= nitrogênio na forma de humina; C-FAH= na forma de ácido húmico; N-FAH= nitrogênio na forma de ácido húmico; C-FAF= carbono na forma de ácido fúlvico; N-FAF= nitrogênio na forma de ácido fúlvico

Para as variáveis COT, NT e as frações de C oxidáveis (Cox2 e Cox3) não houve interação significativa entre os sistemas de uso do solo, para ambas profundidades (Tabela 3). O Cox1 apresentou diferença entre os usos para a profundidade de 10-20 cm, tendo os maiores teores obtidos pela MT e EU. Em relação às frações da matéria orgânica, a MT obteve o maior valor de C-HU, N-HU e N-FAF. A área de BN teve destaque para N-HU e as áreas de BN, CFL e EU tiveram os maiores valores para N-FAF, na profundidade de 0-10 cm. Já na profundidade de 10-20 cm não houve diferença entre os usos para C e N das substâncias húmicas.

Em relação à matéria orgânica leve em água (MOL), não houve diferença entre as áreas de estudo, em ambas as profundidades. Houve aumento dos teores de COT, NT, das frações de C oxidáveis, CBM, NBM e Csol no inverno se comparados com os valores de verão. Já para o C e N das substâncias húmicas houve diminuição dos valores em relação ao período de verão, para ambas as profundidades.

A área de MT obteve o maior valor para o quociente microbiano (qMIC), com os menores valores verificados nas áreas de BN, CFL, CFE e EU, nas duas profundidades, como mostrado a Figura 5.

Figura 5 – Quociente microbiano (qMIC) em diferentes usos do solo, nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, no período de inverno.



Médias seguidas por uma mesma letra, para cada uso, não diferem significativamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Em geral, as temperaturas do solo registradas simultaneamente com as medições de CO₂ foram maiores no período de verão (Tabela 4). No verão, as maiores temperaturas foram registradas para CFL e CFE. No inverno, para as áreas de CFL, CFE e BN foram registradas temperaturas altas. A temperatura diminuiu do verão para o inverno em torno de 3°C. Os valores de umidade foram menores no inverno, em comparação aos valores obtidos no verão. Para todas as épocas, o maior valor foi encontrado na área de MT. As áreas agrícolas (CF, BN e EU) apresentaram redução da umidade no inverno.

Tabela 4 – Valores médios de temperatura, umidade, efluxo de CO₂ do solo, efluxo de CO₂ normalizado a 25° (R25), sensibilidade à variação de temperatura em 10°C (Q10) e quociente metabólico (qCO₂), nos períodos de verão e inverno, em diferentes sistemas de uso e em fragmento de mata nativo.

VERÃO						
USO	Umidade m ³ m ⁻³	Temperatura °C	CO ₂	R25 mmol m ⁻² s ⁻¹	Q10	qCO ₂ ugCO ₂ ugBio ⁻¹ d ⁻¹
MT	0,258	24,10	5,7 A	5,9 A	0,074	2,35 A
CFL	0,251	29,25	1,8 C	1,6 C	1,139	0,79 C
CFE	0,241	29,16	2,1 B	1,8 C	2,368	1,50 B
BN	0,214	23,15	2,8 B	3,0 B	1,616	1,55 B
EU	0,230	24,43	2,4 B	2,5 B	0,078	1,13 B
INVERNO						
USO	Umidade m ³ m ⁻³	Temperatura °C	CO ₂	R25 mmol m ⁻² s ⁻¹	Q10	qCO ₂ ugCO ₂ ugBio ⁻¹ d ⁻¹
MT	0,210	22,44	1,9 A	2,1 A	0,779	0,59 A
CFL	0,173	26,85	0,8 B	0,7 B	0,649	0,26 A
CFE	0,142	26,79	0,9 B	0,8 B	0,191	0,31 A
BN	0,150	26,42	1,2 B	1,1 B	0,457	0,37 A
EU	0,197	24,56	1,2 B	1,2 B	2,130	0,42 A

Médias seguidas por uma mesma letra, na coluna, para um atributo, não diferem significativamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

O maior valor de respiratória basal foi encontrado para a MT no período de verão (Tabela 4). No inverno, as áreas de MT, BN e EU obtiveram os maiores valores. A fim de comparar as diferentes áreas, os dados de emissão de CO₂ foram normalizados a 25°C (R25), obtendo as maiores emissões de CO₂, no verão e no inverno, para a MT e as menores para o CFL (verão) e CF, BN e EU (inverno). De modo geral, as emissões de CO₂ foram maiores em todas as áreas no verão se comparadas com o inverno, tanto no efluxo obtido a campo quanto no efluxo normalizado. No verão, foram observados menores valores de C_{bm}, mas maiores valores de evolução de CO₂ e respiração basal.

No verão, o CFE tendeu a apresentar maior sensibilidade à variação de temperatura em 10°C (Q10). Já no inverno essa maior sensibilidade foi constatada no EU. Acompanhando os níveis de emissão de CO₂, a MT apresentou o maior quociente metabólico (qCO₂), que consiste na respiração basal por unidade de biomassa microbiana. O CFL apresentou os menores valores de qCO₂ no verão. No inverno esses resultados foram observados nas áreas de CF, BN e EU.

Quanto à fauna edáfica (Tabela 5), no verão foram contabilizados 101 indivíduos, sendo que 35,6% encontravam na CFE, 32,7% no EU, 20,1 % na MT, 7,9% na BN e 2,9% na CFL. No inverno, dos 77 indivíduos quantificados, 41% ocorreram na BN, 35% no CFL, 13% na MT e 10% no EU. No verão, os indivíduos contabilizados foram classificados em oito grupos taxonômicos: Haplotaxida, Hymenoptera, Isoptera, Araneae, Geophilomorpha, Coleoptera, Isopoda e Hemiptera. No inverno, os indivíduos foram classificados em seis grupos taxonômicos: Haplotaxida, Hymenoptera, Isoptera, Araneae, Geophilomorpha e Coleoptera. Os maiores níveis taxonômicos observados representam 80,33% do total e em ordem crescente, foram: Hymenoptera, Haplotaxida e Isoptera.

O maior número de indivíduos observado no verão, para CFE, é influenciado em razão do maior número de formigas. Somente CFL e BN apresentaram menor número de indivíduos no verão quando comparado ao inverno, resultado influenciado pela ordem Isoptera. Esses resultados reforçam a ideia de que, na estação seca, os organismos do solo, à procura de umidade, tendem a se instalarem nas camadas mais profundas. A ordem Haplotaxida aparece em maior número no verão para todos os usos do solo.

Em relação à riqueza de grupos de indivíduos, no verão, a maior riqueza foi apresentada pelo EU e no inverno pela MT. O maior valor de diversidade de grupos pelo índice de Shannon foi observado em BN ($H' = 0,67$) e EU ($H' = 0,57$), no verão. No inverno foi a MT ($H' = 0,59$) (Tabela 5). Para o índice de Pielou ou equabilidade, o uso que possui maior valor foi a BN seguido do EU no verão e MT no inverno, respectivamente. Esses ambientes demonstraram a distribuição mais uniforme dos grupos taxonômicos. O índice de Pielou foi influenciado pela dominância dos grupos de cupis e formigas.

Tabela 5 – Fauna edáfica, densidade, riqueza, índice de Simpson, índice de Shannon e índice de Piellou em diferentes sistemas de uso do solo e de fragmento de mata nativa, nos períodos de verão e inverno

VERÃO					
ANIMAIS/USO	MT	CFL	CFE	BN	EU
Haplotaxida	12	1	1	2	19
Hymenoptera	5	0	34	0	6
Isoptera	0	0	0	0	1
Araneae	1	1	0	2	0
Geophilomorpha	2	1	1	1	3
Coleoptera	1	0	0	1	1
Isopoda	0	0	0	2	1
Hemiptera	0	0	0	0	2
DENSIDADE (Ind m ⁻²)	1,11	0,15	1,91	0,43	1,75
RIQUEZA	5	3	3	5	7
INDICE DE SIMPSON	0,397	0,333	0,894	0,219	0,379
INDICE DE SHANNON	0,447	0,477	0,110	0,677	0,579
INDICE DE PILLOU	0,496	0,528	0,122	0,750	0,641
INVERNO					
ANIMAIS/USO	MT	CFL	CFE	BN	EU
Haplotaxida	3	0	0	0	0
Hymenoptera	2	0	0	0	0
Isoptera	0	26	0	31	6
Araneae	0	0	0	0	0
Geophilomorpha	2	1	0	1	2
Coleoptera	3	0	0	0	0
DENSIDADE (ind m ⁻²)	0,53	1,44	0	1,70	0,43
RIQUEZA	4	2	0	2	2
INDICE DE SIMPSON	0,260	0,929	0,000	0,939	0,625
INDICE DE SHANNON	0,593	0,069	0,000	0,060	0,244
INDICE DE PILLOU	0,762	0,088	0,000	0,078	0,314

3.2. Análise de componentes principais

Na análise de componentes principais (ACP) foi utilizado o conjunto dos atributos associado à matéria orgânica e biológicos para ambos os períodos estudados, considerando as duas primeiras funções discriminantes canônicas – FDC₁ e FDC₂ (Tabela 6). No período de verão e de inverno, as FDC₁ e FDC₂ apresentaram correlações canônicas de 0,99/0,95 e 0,99/0,98, respectivamente. Esse resultado indica elevada contribuição dos atributos avaliados na discriminação das áreas em estudo (MT, CFL, CFE, BN e EU).

No período do verão, as duas funções foram responsáveis por reunirem 89% da variância obtida entre os diferentes usos. A FDC₁ explicou 77% da variação e a

FDC₂ explicou 12% da variação dos dados. O atributo Nmin teve maior contribuição na FDC₁. Já na FDC₂, os atributos que contribuíram para sua formação foram COT, CBM, Coxi3, C-HU, N-HU, C-FAH, N-FAH, N-FAF e MOL, sendo o maior valor encontrado no atributo N-FAH.

Para o período do inverno, a análise discriminante canônica permitiu agrupar nas FDC₁ e FDC₂ 95% da variância total. A FDC₁ explicou 76% da variação e a FDC₂ explicou 19% da variação dos dados. Os atributos CBM, C-HU e qMIC tiveram maior contribuição na FDC₁ e o atributo N-HU contribuiu para a formação da FDC₂.

Tabela 6 – Resultados da proporção explicada, autovalor e correlação canônica das funções discriminantes canônicas geradas e cargas discriminantes das variáveis utilizadas, no período verão e inverno, respectivamente.

Ajuste do modelo				
	Verão		Inverno	
	FDC₁	FDC₂	FDC₁	FDC₂
Proporção explicada	0,77	0,12	0,76	0,19
Autovalor	63,49	10,13	43,18	7,17
Correlação canônica	0,99	0,95	0,99	0,98
Cargas discriminantes				
Variáveis	FDC₁	FDC₂	FDC₁	FDC₂
COT	0,21	0,72	0,25	0,05
NT	0,07	0,42	0,43	0,32
CBM	0,31	0,69	0,84	0,34
Cox1	0,26	0,38	0,24	0,17
Cox2	0,19	0,55	0,02	-0,10
Cox3	0,24	0,73	0,24	-0,20
Nmin	0,76	-0,27	0,42	-0,25
C-HU	-0,02	0,79	0,66	-0,20
N-HU	0,04	0,69	0,28	0,75
C-FAH	-0,08	0,70	-0,25	0,24
N-FAH	-0,18	0,83	-0,31	0,33
C-FAF	-0,03	0,23	-0,31	0,33
N-FAF	-0,20	0,66	0,51	0,48
MOL	0,38	0,74	0,19	0,36
qMIC	0,28	0,58	0,83	0,36

(1) negrito – moderada a forte carga discriminante (>0,50) (Hair et al., 2009)

O modelo multivariado, utilizado para avaliar a diversidade da fauna edáfica nos diferentes sistemas de manejo do solo, explicou boa parte da variabilidade biológica presente na área, uma vez que a primeira e a segunda funções

canônicas discriminantes (FCD₁ e FCD₂) apresentaram correlações canônicas de 94 e 95%, respectivamente (Tabela 7). No verão, o grupo Haplotaxida apresentou o maior valor positivo dos coeficientes (0,78), para a FDC₁. Já na FDC₂, o grupo Isopoda foi o que destacou, com valor de 0,72. No inverno, para FDC₁, os grupos Haplotaxida e Coleoptera apresentaram os maiores valores positivos de coeficientes TDP, correspondentes a 0,73 e 0,97. Na FDC₂ o destaque foi para o grupo Hymenoptera (0,96).

Tabela 7. Funções canônicas discriminantes 1 (FCD₁) e 2 (FCD₂), referentes aos grupos organismos da fauna edáfica, na região de Santa Teresa, ES, em dois períodos de coleta.

Ajuste do modelo				
	Verão		Inverno	
	FDC1	FDC2	FDC1	FDC2
Proporção explicada	0,90	0,05	0,85	0,07
Autovalor	7,64	0,64	2,76	0,08
Correlação canônica	0,94	0,56	0,95	0,02
Cargas discriminantes				
Variáveis	FDC1	FDC2	FDC1	FDC2
Haplotaxida	0,78	-0,28	0,73	0,08
Hymenoptera	-0,15	-0,34	-0,21	0,96
Isoptera	0,44	0,02	-0,02	-0,01
Araneae	-0,18	0,52	0,03	0,02
Geophilomorpha	0,24	-0,17	0,22	-0,34
Coleoptera	0,24	0,25	0,97	0,10
Isopoda	0,11	0,72	0,01	0,02
Hemiptera	0,44	0,02	0,01	0,01

(1) negrito – moderada a forte carga discriminante (>0,50) (Hair et al., 2009)

A relação entre a FCD₁ e FCD₂, no verão, referente aos coeficientes canônicos dos atributos da fauna edáfica, voltados à discriminação dos diferentes sistemas de uso, evidenciou que a FCD₁ explicou a maior parte da variação total (90%), enquanto que a FCD₂ explicou apenas 5% (Tabela 7). No inverno, a FDC₁ explicou 95% da variação e a FDC₂ explicou 7% da variação dos dados.

4. DISCUSSÃO

Os teores de COT de todos os usos agrícolas do solo são próximos ao da MT e são classificados como bons, para todas as profundidades e períodos de coleta. Os maiores teores encontrados na MT e BN, na camada superficial do solo, corroboram com os resultados encontrados por Guimarães, Gonzaga e Neto (2014) e Fontana et al. (2011), que, ao estudarem o manejo da matéria orgânica

em diferentes sistemas de usos do solo, encontraram valores de COT superiores na área de banana e mata comparando-as a outras áreas de cultivo.

Esse resultado pode ser devido ao aporte de material orgânico na superfície pelas culturas instaladas, o que influencia os teores dos atributos relacionados à MOS. Na BN, os resíduos vegetais são constituídos fundamentalmente de restos de culturais remanescentes do manejo de limpeza e pela colheita, aportados na superfície do solo, fazendo com que a camada mais superficial apresente teores mais elevados das frações da MOS em relação às mais profundas (BARRETO et al., 2008; CARMO et al., 2012; RANGEL et al., 2008).

Os valores de COT no inverno apresentaram aumento em todas as áreas de estudo se comparados com os valores de verão. Esse aumento, pode ser justificado pela maior deposição de resíduos orgânicos no solo nesse período decorrente da queda acentuada das folhas da vegetação presentes no local devido à época de outono/inverno. De modo geral, os teores de COT diminuíram em profundidade, de maneira similar à relatada por Bezerra et al. (2013). No presente estudo, esse resultado deve-se à falta de incorporação de matéria orgânica e de práticas de revolvimento do solo.

Os valores de NT foram similares para todos os usos do solo, em ambas profundidades e épocas de coleta. Houve aumento do teor desse atributo no inverno, se comparado ao verão. A matéria orgânica é a maior reserva de N orgânico no solo e sua mineralização supre quantidades substanciais desse elemento durante o ciclo das culturas, além de conservar esse elemento no sistema.

Os teores de C das frações oxidáveis podem ser utilizados para avaliar a dinâmica da matéria orgânica. Os maiores teores da fração lábil, no inverno, foram encontrados para a área de MT e EU. No verão, para a área de MT, EU e BN, destacaram-se as frações moderadamente lábil (Cox2) e pouco lábil (Cox3). Esse resultado confirma que em solos florestais há maior contribuição das frações oxidáveis, o que é justificado pelo aporte significativo de resíduos vegetais nesses sistemas (BARRETO et al., 2011; MAIA et al., 2007; RANGEL et al., 2008), diferente dos solos sob cultivos agrícolas que apresentam distribuição das frações oxidativas mais equitativa (GUARESCHI; PEREIRA,

2013a; LOSS et al., 2010a). Valores similares aos deste estudo foram encontrados por outros autores em solos sob diferentes usos (COSTA et al., 2013; RANGEL et al., 2008; WENDLING et al., 2008).

O CBM e o NBM apresentaram variações significativas entre os usos dos solos. Esses valores foram consistentemente mais elevados nos solos sob MT, indicando a ocorrência de efeitos adversos do uso do solo sobre a comunidade microbiana. Valores elevados de CBM indicam que os nutrientes ficam imobilizados temporariamente, o que resulta em menores perdas dos nutrientes no sistema solo-planta. Esse resultado corroborou com Barbosa et al. (2017), ao estudarem a biomassa microbiana em florestas de eucalipto e mata nativa e Guimarães et al. (2017) ao avaliarem a influência de diferentes sistemas de cultivo de cafeeiro na biomassa microbiana do solo.

A maior concentração de MOL observados na MT e BN deve-se ao maior aporte de resíduos vegetais na superfície do solo. Esse resultado demonstra que sistemas convencionais, como o CF, com baixo aporte de material orgânico, possuem menor teor de MOL. Resultados semelhantes são relatados por Loss et al. (2010a), que demonstraram que a MOL é afetada pela forma de manejo da área. O compartimento MOL pode ser considerado de dinâmica acelerada no solo (LEITE, 2002). Portanto, sua manutenção é fundamental para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas, uma vez que representa, em curto e médio prazo, alto potencial para ciclagem de nutrientes (COMPTON; BOONE, 2002).

O qMIC expressa a quantidade de C orgânico do solo que está imobilizado na biomassa microbiana (DUARTE et al., 2014). Esse índice, quando elevado, indica elevados valores de C no solo, enquanto que valores reduzidos indicam perda de C no solo (MERCANTE et al., 2004). Esse quociente é influenciado por diversos fatores, como o grau de estabilização do C-orgânico e o histórico de gestão do solo na área (SILVA et al., 2010). Neste trabalho, houve menores valores de qMIC para CFE e EU, quando comparado aos demais sistemas, no verão. Já no inverno, os sistemas agrícolas obtiveram os menores valores. Esse resultado é um indicativo de que a biomassa microbiana nesses sistemas de uso encontrava-se sob algum fator de estresse (deficiência de nutriente, acidez, etc)

e, assim, a capacidade de utilização do C é diminuída. Nesse caso, a relação C microbiano:C orgânico diminui ($<q_{MIC}$). Ao contrário, com a adição de resíduos orgânicos de boa qualidade ou com a mudança do fator limitante para uma condição favorável, a biomassa microbiana pode aumentar rapidamente ($>q_{MIC}$), mesmo se os teores do C orgânico permanecerem inalterados, como ocorreu na MT.

Os teores de C-HU foram superiores aos das frações AF e AH, o que está em conformidade ao observado na literatura (BEZERRA et al., 2013; CAETANO et al., 2013; CAMPOS et al., 2013; GUARESCHI; PEREIRA; PERIN, 2013b). O maior percentual de C foi observado na fração humina, seguido da fração ácido húmico e ácido fúlvico, em todos os sistemas de uso. O fato de essa fração apresentar maior percentagem de C em relação às demais pode estar relacionado à menor estabilidade das frações C-FAF e C-FAH, o que faz com que essas possam ser submetidas a processos de movimentação no perfil ou mineralização, diminuindo sua composição percentual no solo. De acordo com Loss et al. (2010b) o maior valor de C na fração humina pode promover maior retenção de umidade, melhorias na agregação do solo e maior retenção de cátions. Tal fato é observado na área de MT e BN.

Em relação à emissão de CO₂, o maior valor para a MT deve-se ao maior aporte de resíduos orgânicos, proveniente de galhos e folhas, se comparado às demais áreas. As menores emissões no inverno podem ser atribuídas à menor temperatura, onde a atividade microbiana no solo é menor e também sua taxa de decomposição mais lenta. Wang et al. (2011) e Sierra et al. (2015) afirmam que as emissões de CO₂ são menores no inverno, pois a oscilação da temperatura do solo é menor, principalmente em locais com maior altitude. Maiores emissões no verão também foram encontradas por Gomes (2015).

A emissão de CO₂ do solo não é influenciada somente por processos físicos e biológicos, mas também por fatores ambientais como a temperatura e umidade do ar. A menor umidade do solo no inverno, que coincide com a estação seca na região, também inibe a taxa de respiração do solo. A maior sensibilidade à variação de temperatura em 10°C (Q10) foi encontrada nos locais de maior temperatura (CFE e EU), o que não corrobora o resultado de Zhiyoung et al.

(2013), que afirmam que os maiores valores de Q10 normalmente são encontrados em climas mais frios, onde a atividade microbiana deve ser mais sensível ao aumento da temperatura em relação a regiões temperadas e tropicais.

Quando normalizada a temperatura para 25°C, a MT mostrou-se mais sensível ao aumento da temperatura, ou seja, perdeu mais CO₂ do que os sistemas agrícolas. Zhiyoung et al. (2013) também encontraram maior efluxo de CO₂ do solo numa floresta natural do que em plantações, o que pode ser atribuído, principalmente, ao maior teor de COT no solo e aos maiores estoques de C nas raízes e na matéria orgânica (LUAN et al, 2011).

O valor elevado de qCO₂ da MT indica que as comunidades microbianas podem estar em estágios iniciais de desenvolvimento e com maior proporção de microrganismos ativos em relação aos inativos. Já para CFE, BN e EU, o valor alto indica que pode estar ocorrendo maior gasto de energia para a manutenção da comunidade microbiana, ou seja, devido a uma situação de estresse ou distúrbio, possivelmente determinada pelo manejo intensivo do solo e pelo frequente uso de agrotóxicos, onde os microrganismos poderão ter que consumir mais substrato para sua sobrevivência (GOMIDE; SILVA; SOARES, 2011; SILVA et al., 2010).

Quanto à fauna edáfica, as ordens Hymenoptera e Haplotaxida representam grande parte do total de indivíduos entre os sistemas de uso do solo no verão, já no invernoo destacou-se a ordem Isoptera. Esses resultados reforçam a ideia de que, no inverno, por coincidir com a época de seca da região em estudo, os organismos que dependem de maior umidade do solo tendem a instalar-se nas camadas mais profundas, não tendo muita representatividade na coleta. Esse padrão de comportamento também foi observado por Merlim et al. (2005), Moço et al. (2005). Para Baretta et al. (2005) a atividade biológica é altamente concentrada nas primeiras camadas do solo, na profundidade de 10 cm, onde há um número maior de raízes secundárias e maior quantidade de matéria orgânica, colaborando para uma maior atividade de organismos.

A ordem Haplotaxida também aparece em maior número no verão, como também constatado por Silva et al. (2006). Ao contrário dos insetos, as minhocas

não possuem um exoesqueleto que reduza a perda de água dos tecidos. Dessa maneira, é compreensível que, no inverno, tenham sido detectadas densidades menores desse grupo, assim como resultados apresentados por Menezes et al. (2009) e Benito et al. (2004).

O maior valor observado para a ordem Isoptera, representado por cupins, e para Hymenoptera, representado pelas formigas, pode ser explicado por estarem entre os mais abundantes artrópodes de solo dos ecossistemas tropicais (BANDEIRA; VASCONCELLOS, 2002). Para o grupo Isoptera, no período de inverno, não foram encontrados indivíduos no CFE. Os motivos possivelmente estão ligados à fragilidade de seu corpo, por meio da sensibilidade à dessecação. Portanto, são extremamente sensíveis a trocas de umidade, e como o CFE apresenta teor de umidade baixo nesta época, pode justificar a ausência dessa ordem.

Para o grupo Hymenoptera, o CFE aparece com maior número no verão e MT no inverno, possivelmente em razão da grande facilidade de locomoção dessa ordem (PARR et al., 2007). A presença de formigas nas diferentes épocas pode ter relação à sua adaptabilidade ao meio, à variedade de costumes alimentares e ao hábito de vida colonial que tendem a ser amostradas em agregados com elevado número desses organismos (MENEZES et al., 2009).

Dos sistemas manejados, o EU e a BN apresentaram um total maior de riqueza de diferentes grupos de fauna, o que pode indicar que esses sistemas de cultivo tenham efeitos positivos sobre a conservação da biodiversidade. Isto é, a provisão de habitats e alimentos pode favorecer algumas comunidades de invertebrados do solo. Esse resultado não corrobora com os de Aquino et al. (2008), que perceberam maior densidade total e riqueza biológica em fragmentos florestais remanescentes quando comparados com os sistemas de cultivo.

O valor de diversidade de grupos pelo índice de Shannon maior no verão e menor no inverno, nas áreas agrícolas, demonstra que as épocas podem influenciar a densidade de indivíduos e suas respectivas biomassas, devido à precipitação, vegetação e umidade, além de alterarem a riqueza de grupos. No

inverno, houve decréscimo no valor do índice de Shannon, com exceção da MT, ocasionado pela maior riqueza apresentado neste sistema.

A análise de variável canônica mostrou que é possível separar os três usos agrícolas e a área de mata nativa considerando-se os dados biológicos. No verão, a FDC₁ representa a variação do N mineralizável, distinguindo a BN das demais áreas agrícolas e nativa. A mineralização do N, durante os sete dias de incubação do solo, foi maior na BN, devido à aplicação de esterco bovino e composto a base de palha de café, além da deposição das folhas e caule da cultura na linha de plantio que estavam em processo de decomposição mais avançado, o que contribui para a decomposição inicial de formas nitrogenadas mais lábeis. Além do tipo de resíduo orgânico que possui os solos estudados, as propriedades e características do solo influenciam a disponibilidade do N para as plantas. Em solos com menor aporte de resíduos, como CF e EU, ou com grande cobertura vegetal, como MT, observaram-se teores menores de Nmin.

A FDC₂ representa o C orgânico e biomassa microbiana, além da fração oxidável e do C e N das substâncias húmicas. A segunda função explica a distinção da MT e BN das demais áreas agrícolas. O maior valor de COT na MT deve-se ao grande aporte de resíduos orgânicos, não-revolvimento do solo e reduzida erosão hídrica pela maior cobertura do solo, concordando com os resultados de Jakelaitis et al. (2008) e Pôrto et al. (2009). A diminuição no COT nos solos sob cultivo pode ser devida também ao aumento no consumo do C prontamente disponível pela biomassa microbiana e, ainda, pelo manejo adotado. Como a BN apresenta alto aporte de material orgânico, justifica-se o maior teor de COT do que nas demais áreas agrícolas.

O teor de CBM no solo sob MT também foi maior do que nos solos cultivados, concordando com os resultados de Pôrto et al. (2009) e Ferreira et al. (2010). O maior valor de CBM na MT é reflexo de uma situação particular para a microbiota do solo nesse sistema, estimulada pelo fornecimento contínuo de materiais orgânicos com diferentes graus de susceptibilidade à decomposição, originados da vegetação. Além disso, a diversidade das espécies vegetais da MT, notadamente maior que dos sistemas agrícolas avaliados, implica em deposição na serapilheira de substratos orgânicos oxidáveis com composição variada e a

maior diversidade de compostos orgânicos depositados na rizosfera, o que constitui fator favorável à sobrevivência e crescimento de diferentes grupos de microrganismos do solo. Desta forma, as condições distintas do solo sob vegetação de MT, juntamente com a ausência de perturbações decorrentes de atividade antrópica, tornam possível a existência de maiores quantidades de CBM, indicando o maior equilíbrio da microbiota do solo nesse ecossistema (FERREIRA et al., 2010).

Quanto às substâncias húmicas, a MT apresentou os maiores teores, com predomínio do C-HU em relação às outras frações, assim como encontrado por Assis et al. (2006). Os elevados valores de C-HU podem estar relacionados ao tamanho das moléculas e ao maior grau de estabilidade dessa fração. As frações C-FAF e C-FAH, por apresentarem menor estabilidade, podem ser mineralizadas, e diminuir, assim, seu teor residual no solo (FONTANA et al., 2006). Maiores valores de C-HU podem implicar expressões das propriedades da fração coloidal da matéria orgânica, tais como: retenção da umidade, melhor agregação do solo e maior retenção de cátions, características de grande importância quando se trata do cultivo de sistemas sustentáveis de produção (SOUZA e MELO, 2003).

No inverno, a FDC_1 representa o C da biomassa microbiana e da fração húmica e o quociente microbiano e a FDC_2 representam o N da fração húmica. As duas funções da análise canônica distinguiram a MT das áreas de cultivo. Assim como no verão, os atributos biológicos CBM, C-HU e N-HU destacaram-se na área de MT devido ao seu aporte de resíduos orgânicos, dando destaque para o qMIC, que indica a qualidade da matéria orgânica. O aumento do qMIC na segunda época de amostragem pode estar relacionado com a adição de material orgânico de boa qualidade ou com a redução do fator estressante (CHAER e TÓTOLA, 2007) para os microrganismos, como deficiências nutricionais e revolvimento do solo nas áreas de estudo.

Nota-se que os atributos biológicos foram um fator predominante para a distinção das áreas agrícolas da MT, devido ao aporte de matéria orgânica e sua reposição nesse sistema. A área de BN, com a adoção de algumas práticas que conservam a matéria orgânica, bem como manejo mais intenso da fertilidade do solo

(calagem e adubações), também se distinguiu das demais áreas agrícolas em estudo. As áreas de CF e EU apresentaram valores menores relacionados aos atributos biológicos devido à intervenção antrópica presente nos usos de terra e os eu manejo mais voltado ao extrativismo.

A análise canônica para a fauna edáfica mostrou que houve separação entre os usos do solo. Os grupos Haplotaxida e Coleoptera ficaram fortemente associados à área de EU e MT. O grupo Isopoda está relacionado com a área de BN e o grupo Hymenoptera está associado à área de CF. Nesse caso, os atributos da fauna edáfica mostraram relação com as modificações no solo, decorrentes dos usos do solo.

O grupo Haplotaxida e Hymenoptera foram os que mais contribuíram com a densidade dentro das áreas, corroborando com Zagatto et al. (2015) ao estudarem diferentes usos e manejos do solo. O grupo Hymenoptera, representado neste trabalho principalmente pelas formigas, compreende insetos terrestres comumente citados como bioindicadores de alterações no manejo do solo, especialmente durante a reabilitação do solo (ANDERSEN et al., 2002). As áreas de EU e MT destacaram-se pelo maior número de minhocas, devido à maior umidade e menor temperatura, fato que se deve ao maior sombreamento das áreas.

Os resultados obtidos evidenciam que a fauna do solo e as frações da MOS podem ser utilizados como bioindicadores das alterações advindas do manejo do solo, e que a maior ou menor associação de determinado grupo da fauna edáfica, em cada área, deve-se aos efeitos benéficos dos resíduos vegetais mantidos na superfície do solo, que proporcionam ambiente mais favorável à sobrevivência de determinados grupos (MOÇO et al., 2005).

5. CONCLUSÕES

A MT e BN apresentaram os melhores resultados quanto aos atributos biológicos do solo em comparação com as demais áreas, especialmente quando comparada à área de CFL e CFE, independente da época de coleta.

As emissões de CO₂ sob MT foram superiores às áreas agrícolas. Essa maior emissão de CO₂ foi relacionada ao maior estoque de carbono na camada

superficial do solo, à presença de resíduos de vegetais facilmente decomponíveis, à maior umidade do solo e à maior atividade biológica devido à melhor qualidade do solo em relação aos usos agrícolas.

A fauna edáfica apresentou-se, de modo geral, com maior densidade nos sistemas EU, CFE e MT. Quanto à riqueza, destacaram-se os sistemas EU, BN e MT, no período de verão. No inverno, as áreas de BN e CFL apresentaram maior densidade e a MT maior riqueza.

As diferentes frações da MOS: Nmin, COT, CBM, Coxi3, C-HU, N-HU, C-FAH, N-FAH, N-FAF, MOL e qMIC, juntamente com os grupos de fauna edáfica, especialmente Haplotaxida, Isopoda, Coleoptera e Hymenoptera, contribuíram efetivamente para a distinção entre as áreas estudadas.

6. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M. A. X.; SOUTO, J. S.; ANDRADE, A. P. Sazonalidade da macrofauna edáfica do Curimataú da Paraíba, Brasil. **Revista Ambiência**, v.11, p.393-407, 2015.

ALVES, M.V. et al. Macrofauna do solo influenciada pelo uso de fertilizantes químicos e dejetos de suínos no Oeste do estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.3, p.589-598, 2008.

ACOSTA, M. et al. Soil surface CO₂ efflux measurements in Norway spruce forests: Comparison between four different sites across Europe — from boreal to alpine forest. **Geoderma**, v.192, p.295-303, 2013.

ANDERSEN, A. et al. Using ants as bioindicators in land management: simplifying assessment of ant community responses. **Journal of Applied Ecology**, v.39, p.8-17, 2002

ANDERSON, J.M.; INGRAM, J.S.I. 1989. **Tropical soil biology and fertility: A handbook of methods**. CAB International, Wallingford, Estados Unidos. 171 p.

ANDERSON, T.H.; DOMSCH, K.H. Application of ecophysiological quotients (qCO₂ and qD) on microbial biomasses from soils of different cropping histories. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 22, p. 251-255, 1990.

AQUINO, A. M. et al. Invertebrate soil macrofauna under different ground cover plants in the no-till system in the Cerrado. **European Journal of Soil Biology**, New Jersey, v. 44, p. 191-197, 2008.

ARAÚJO, A. S. F. et al. Soil microbial properties and temporal stability in degraded and restored lands of Northeast Brazil. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 66, p.75-181, 2013.

ASSIS, C.P. et al. Carbono e nitrogênio em agregados de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.1541-1550, 2006.

BANDEIRA, A. G.; VASCONCELLOS, A. A quantitative survey of termites in a gradient of disturbed highland forest in Northeastern Brazil (Isoptera). **Sociobiology**, Feira de Santana, v. 39, p. 429-439, 2002.

BARBOSA, V. et al. Biomassa, carbono e nitrogênio na serapilheira acumulada de florestas plantadas e nativa. **Revista Floresta e Ambiente**. v.24, p. 1-9, 2017.

BARETTA, D. et al. Efeito do monocultivo de pinus e da queima do campo nativo em atributos biológicos do solo no planalto sul catarinense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 715-724, 2005.

BARRETO, A.C. et al. Fracionamento químico e físico do carbono orgânico total em um solo de mata submetido a diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1471- 1478, 2008.

BARRETO, P. A. B. et al. Distribution of oxidizable organic C fractions in soils under cacao agroforestry systems in Southern Bahia, Brazil. **Agroforestry systems**, Heidelberg, v. 81, p. 213–220, 2011.

BENITES, V.M.; MADARI, B.; MACHADO, P.L.O.A. 2003. **Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: um procedimento simplificado de baixo custo**. Comunicado Técnico 16, EMBRAPA Solos, Rio de Janeiro. 7pp.

BENITO, N. P. et al. Transformation of soil macroinvertebrate populations alter native vegetation conversion to pasture cultivation (Brazilian Cerrado). **European Journal of Soil Biology**, Germany, v. 40, p. 147-154, 2004.

BEZERRA, R.P.M. et al. Formas de carbono em latossolo sob sistemas de plantio direto e integração lavoura-pecuária no cerrado, Goiás. **Semina: Ciências Agrárias**, v.34, p.2637-2654, 2013.

BURNS, R. G. et al. Soil enzymes in a changing environment: current knowledge and future directions. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 58, p. 216-234, 2013.

CAETANO, J.O. et al. Dinâmica da matéria orgânica de um Neossolo Quartzarênico de cerrado convertido para cultivo em sucessão de soja e milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, p.1245-1255, 2013.

CAMPOS, L.P. et al. Estoques e frações de carbono orgânico em Latossolo Amarelo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.48, p.304-312, 2013.

CARMO, F.F. et al. Frações granulométricas da matéria orgânica em Latossolo sob plantio direto com gramíneas. **Bioscience Journal**, v.28, p.420-431, 2012.

CARNEIRO, M. A. C. et al. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p.147-157, 2009.

CHAER, G.M.; TÓTOLA, M.R. Impacto do manejo de resíduos orgânicos durante a reforma de plantios de eucalipto sobre indicadores de qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 31, p. 1381-1396, 2007.

CHAN, K. Y.; BOWMAN, A.; OATES, A. Oxidizable organic carbon fractions and soil quality changes in an paleustalf under different pasture leys. **Soil Science**, Baltimore, v. 166, n. 1, p. 61-67, 2001

COMPTON, J.E.; BOONE, R.D. Soil nitrogen transformations and the role of light fraction organic matter in forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v.34, p.933-943, 2002.

COSTA, A.R. et al. Microbiological properties and oxidizable organic carbon fractions of a oxisol under coffee with split phosphorus applications and irrigation regime. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, p.55-65, 2013.

CUNHA, A. de M. et al. Atualização da legenda do mapa de reconhecimento de solos do Estado do Espírito Santo e implementação de interface no GEOBASES para uso dos dados em SIG. **Geografares**, n.23, p. 32-66, 2016.

DUARTE, I.B. et al. Plantas de cobertura e seus efeitos na biomassa microbiana do solo. **Acta Iguazu**, v. 3, p.150-165, 2014.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: CNPS, 230p. 2011.

EPELDE, L. et al. Microbial properties and attributes of ecological relevance for soil quality monitoring during achemical stabilization field study. **Applied Soil Ecology**, v. 75, p. 1-12, 2014

FARIA, P. M. et al. Response of the copro-necrophagous beetle (Coleoptera: Scarabaeinae) assemblage to a range of soil characteristics and livestock management in a tropical landscape. **Journal of Insect Conservation**. v. 19, p. 947–960, 2015.

FERNANDES, M.M. et al. Influência de diferentes coberturas florestais na fauna do solo na Flona Mário Xavier, no município de Seropédica, RJ. **Revista Floresta**, v. 41, p. 533-540, 2011.

FERREIRA, E. P. B. et al. Microbial soil quality indicators under different crop rotations and tillage managements. **Revista Ciência Agronômica**, v.41, p.177-183, 2010.

FIGUEIREDO, C.C. et al. Stratification ratio of organic matter pools influenced by management systems in a weathered Oxisol from a tropical agro-ecoregion in Brazil. **Soil Research**, v.51, p.133-141, 2013.

FONTANA, A. et al. Atributos de fertilidade e frações húmicas de um Latossolo Vermelho no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.847-853, 2006.

FONTANA, A. et al. Avaliação dos compartimentos da matéria orgânica em área de Mata Atlântica. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 33, p. 545-550, 2011.

GEREMIA, E.V. et al. Fauna edáfica em pastagem perene sob diferentes fontes de nutrientes. **Revista Scientia Agraria**, v.16. p.17-30, 2015.

GIBSON, L.T.M. et al. Primary forests are irreplaceable for sustaining tropical biodiversity. **Nature**, v. 478, p. 378-381, 2011.

GOMES, L.C. **Efluxo de CO₂ do solo em áreas cultivadas com café sob manejo agroflorestal e a pleno sol**. 2015. 50p. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG.

GOMIDE, P.H.O.; SILVA, M.L.N., SOARES, C.R.F.S. Atributos físicos, químicos e biológicos do solo em ambientes de voçorocas no município de Lavras – MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 567-577, 2011.

GUARESCHI, R. F.; PEREIRA, M. G. Carbono, matéria orgânica leve e frações oxidáveis do carbono orgânico sob sistemas de aléias. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Brasília, v. 33, p. 108–113, 2013a.

GUARESCHI, R.F.; PEREIRA, M.G.; PERIN, A. Frações da matéria orgânica em áreas de Latossolo sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado do estado de Goiás. **Semina: Ciências Agrárias**, v.34, p.2615-2628, 2013b.

GUIMARÃES, D.V., GONZAGA, M.I.S., NETO, J. O.M. Management of soil organic matter and carbon storage in tropical fruit crops. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola**. Ambiental, v.18, p.301–306, 2014.

GUIMARÃES, N.F. et al. Biomassa e atividade microbiana do solo em diferentes sistemas de cultivo de cafeeiro. **Revista de Ciências Agrárias**. v.40, p.34-44, 2017.

HAIR JUNIOR, J. F. et al. **Análise multivariada de dados**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009. p. 688.

HEALY, R.W. et al. Numerical evaluation of static-chamber measurements of soil-atmosphere gas exchange: identification of physical processes. **Soil Science Society of America Journal**, v.60, p. 740-747, 1996.

HUNGRIA, M. et al. Soil microbial activity and crop sustainability in a long-term experiment with three soil tillage and two crop-rotation systems. **Applied Soil Ecology**, v. 42, p. 288-296, 2009.

JAKELAITIS, A. et al. Qualidade da camada superficial de solo sob mata, pastagens e áreas cultivadas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.38, p.118-127, 2008.

KEENEY, D. R.; NELSON, D. W. Nitrogen inorganic forms. In: Page, A. L. (Ed.). *Methods of soil analysis. Part 2.* **Madison: American Society of Agronomy**, p.643-698. 1982.

LEITE, L.F.C. **Compartimentos e dinâmica da matéria orgânica do solo sob diferentes manejos e sua simulação pelo modelo Century.** 2002. 142p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

LOSS, A. et al. Carbono, matéria orgânica leve e frações oxidáveis do carbono orgânico sob diferentes sistemas de produção orgânica. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 1, p. 57–64, 2010a.

LOSS, A. et al. Quantificação do carbono das substâncias húmicas em diferentes sistemas de uso do solo e épocas de avaliação. **Bragantia**, v. 69, p. 53-62, 2010b.

LOURENTE, E.R.P. et al. Macrofauna edáfica e sua interação com atributos físicos e químicos do solo sob diferentes sistemas de manejo. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.29, p. 17-22, 2007.

LUAN, J.W. et al. Soil carbon stocks and fluxes in a warm-temperate oak chronosequence in China. **Plant and Soil**. v.347, p.243-253, 2011.

MAIA, C. M. B. de F. et al. Soil Organic Matter: Chemical and Physical Characteristics and Analytical Methods. A Review. **Current Organic Chemistry**, Hilversum, v. 17, p. 2985–2990, 2013.

MAIA, S. M. F. et al. Organic carbon pools in a Luvisol under agroforestry and conventional farming systems in the semi-arid region of Ceará, Brazil. **Agroforestry Systems**, New York, v. 71, p. 127–138, 2007.

MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. S. **Matéria orgânica do solo: métodos de análises.** Viçosa, UFV, 2005, 107 p.

MENEZES, C. E. G. et al. Macrofauna edáfica em estádios sucessionais de floresta estacional semidecidual e pastagem mista em Pinheiral (RJ). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1647-1656, 2009.

MERCANTE, F.M. et al. **Parâmetros microbiológicos como indicadores de qualidade do solo sob sistemas integrados de produção agropecuária**. Embrapa Agropecuária Oeste. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, Dourados. 31 p. 2004.

MERLIM, A.O. et al. Soil macrofauna in cover crops of figs grown under organic management. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 62, p. 57-61, 2005.

MOÇO, M. K. S. et al. Caracterização da fauna edáfica em diferentes coberturas vegetais na região norte fluminense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 565-571, 2005.

PARR, C. L. et al. Savanna fires increase rates and distances of seed dispersal by ants. **Oecologia**, Germany, v. 151, p. 33-41, 2007.

PÔRTO, M. L. et al. Indicadores biológicos de qualidade do solo em diferentes sistemas de uso no Brejo Paraibano. **Ciência e Agrotecnologia**, v.33, p.1011-1017, 2009.

R CORE TEAM (2015). **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL: <http://www.R-project.org/>.

RANGEL, O. J. P. et al. Frações oxidáveis do carbono orgânico de Latossolo cultivado com cafeeiro em diferentes espaçamentos de plantio. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, p. 429–437, 2008.

RIBEIRO, A.C. et al. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª aproximação**. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado De Minas Gerais, 359p. 1999.

ROSA, M.G. et al. Soil Macrofauna and Physical and Chemical Properties under Soil Management Systems in the Santa Catarina Highlands, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, p. 1544-1553, 2015.

SIERRA, C.A. et al. Sensitivity of decomposition rates of soil organic matter with respect to simultaneous changes in temperature and moisture. **Journal of Advances in Modeling Earth Systems**, v.7, p. 335-356, 2015.

SILVA, C.F. et al. Carbono orgânico total, biomassa microbiana e atividade enzimática do solo de áreas agrícolas, florestais e pastagem no médio vale do Paranaíba do sul (RJ). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**; v.36, p.1680-1689, 2012.

SILVA, M.S.C. et al. Estoque de serapilheira e atividade microbiana em solo sob sistemas agroflorestais. **Floresta e Ambiente**, vol. 19, p. 431-441, 2012.

SILVA, R. F. et al. Macrofauna invertebrada do solo sob diferentes sistemas de produção em Latossolo da Região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, p. 697-704, 2006.

SILVA, R.F. et al. Fauna edáfica influenciada pelo uso de culturas e consórcios de cobertura do solo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 43, p. 130-137, 2013.

SILVA, R.R. et al. Biomassa e atividade microbiana em solo sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica Campos das Vertentes – MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1585-1592, 2010.

SONG, X. et al. Soil CO₂ flux dynamics in the two plantation forest types in subtropical China. **Science of Total Environment**, v. 444, p. 363-368, 2013.

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

TEDESCO, M. J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS/Departamento de Solos, 1995. 174p. (Boletim Técnico, 5).

WANG, B. et al. Effects of forest type, stand age, and altitude on soil respiration in subtropical forests of China. **Journal of Forest Research**, v. 26, p.40-47, 2011.

WELC, M. et al. Soil bacterial and fungal communities along a soil chronosequence assessed by fatty acid profiling. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 49, p. 184-192, 2012.

WENDLING, B. et al. Organic-matter lability and carbon-management indexes in agrosylvopasture system on brasilian savannah. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.39, p.1750-1772, 2008.

WU, X. et al. Effects of soil moisture and temperature on CO₂ and CH₄ soil-atmosphere exchange of various land use/cover types in a semi-arid grassland in Inner Mongolia, China. **Soil Biology and Biochemistry**, v.42, p. 773-787, 2010.

ZAGATTO, M. R. G. et al. Soil macrofauna in land use systems in Ponta Grossa-Paraná state, Brazil. In: World Congress on Integrated Crop-livestock-forest Systems; International Symposium on Integrated Crop-livestock Systems, 3., 2015, Brasilia. **Proceedings...** Brasilia: Embrapa, 2015. p. 1-17.

ZHANG, C. et al. Rhizosphere soil microbial activity under diferente vegetation types on the Loess Plateau, China. **Geoderma**, v. 161, p. 115-125, 2011.

ZHIYOUNG, Z. et al. Predicting soil respiration using carbon stock in roots, litter and soil organic matter in forests of Loess Plateau in China. **Soil Biology and Biochemistry**, v.57, p.135-143, 2013.

CAPÍTULO 3

RELAÇÃO ENTRE OS ATRIBUTOS DO SOLO E VEGETAÇÃO NA FLORESTA ATLÂNTICA NA REGIÃO SERRANA DO ESPÍRITO SANTO

Resumo

A Mata Atlântica é considerada uma das áreas mais ricas em biodiversidade e mais ameaçadas do planeta, e atualmente constitui-se de pequenos fragmentos florestais. A vegetação é bem variada e tem relação direta com as características do solo. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar os atributos físicos, químicos e biológicos do solo, com intuito de explicar a ocorrência de áreas com vegetação de candeia dentro da Reserva Augusto Ruschi, Santa Teresa – ES. O estudo foi realizado em Santa Teresa – ES. As coletas de solo foram realizadas na Reserva Biológica Augusto Ruschi, em áreas de vegetação típica da floresta ombrófila densa e em áreas de vegetação alterada, com predomínio de candeia e samambaia. Realizou-se a caracterização química e física do solo nas profundidades 0-10 e 10-20 cm. A caracterização dos atributos biológicos foi realizada na profundidade de 0-10 cm e 10-20 cm em duas épocas do ano, verão (fevereiro/2018) e inverno (agosto/2018). Os resultados indicaram que os solos com melhor fertilidade natural correlacionaram-se com a candeia (CN), apresentando maior teor de Ca^{2+} ($0,90 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e menor teor de Al^{3+} ($0,84 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$). Quanto à caracterização biológica, a MT destacou-se nos teores de CBM ($413,95 \mu\text{g g}^{-1}$) e NBM ($4,84 \text{ mg kg}^{-1}$), assim como nas frações oxidáveis do C ($\text{Cox1} = 16,4 \text{ g kg}^{-1}$ e $\text{Cox3} = 32,6 \text{ g kg}^{-1}$) e a CN obteve o maior valor para Nmin ($2,03 \text{ mg kg}^{-1}$). As áreas não apresentaram diferenças significativas quanto à emissão de CO_2 . Quanto à fauna edáfica, o maior número de indivíduos observado foi para CN, no verão e inverno ($1,86$ e $0,90 \text{ ind m}^{-2}$, respectivamente). Para riqueza, no verão, o maior resultado foi observado na MT (5) e, no inverno, pela CN (5). Mesmo as áreas apresentando pequenas diferenças em alguns atributos, os resultados não foram suficientes para explicar o surgimento de áreas de vegetação alteradas dentro da Reserva Augusto Ruschi, sendo necessários maiores avaliações e análises específicas para chegar a uma explicação mais eficaz.

Palavras-chaves: Candeia, relação solo-vegetação, ciclagem de nutrientes.

CHAPTER 3

RELATIONSHIP BETWEEN THE SOIL ATTRIBUTES AND VEGETATION IN THE ATLANTIC FOREST IN THE SERRANA REGION OF ESPÍRITO SANTO

Abstract

The Atlantic Forest is considered one of the richest and most endangered areas on the planet, and today it is made up of small forest fragments. The vegetation is very varied and has direct relation with the characteristics of the soil. In this context, the objective of this work was to evaluate the physical, chemical and biological attributes of the soil, with the purpose of explaining the occurrence of areas with candeia vegetation inside the Reserva Augusto Ruschi, Santa Teresa - ES. The study was carried out in Santa Teresa - ES. Soil samples were taken in the Augusto Ruschi Biological Reserve, in areas of typical vegetation of dense ombrophylous forest and in areas of altered vegetation, with predominance of candeia and fern. The chemical and physical characterization of the soil was performed at depths 0-10 cm and 10-20 cm. The characterization of the biological attributes was performed at depths of 0-10 cm and 10-20 cm in two seasons of the year, summer (February/2018) and winter (August/2018). The results indicated that the soils with the best natural chemical fertility correlated with the candeia (CN), presenting higher Ca^{2+} content ($0,90 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) and lower Al^{3+} content ($0,84 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$). Regarding the biological characterization, MT showed a significant reduction in the levels of CBM ($413,95 \mu\text{g g}^{-1}$) and NBM ($4,84 \text{ mg kg}^{-1}$), as well as in the oxidizable fractions of C (Cox1= $16,4 \text{ g kg}^{-1}$ and Cox3= $32,6 \text{ g kg}^{-1}$) and the CN obtained the highest value for Nmin ($2,03 \text{ mg kg}^{-1}$). The areas did not present significant differences regarding the emission of CO_2 . As for soil fauna, the highest number of individuals observed was for CN, in summer and winter ($1,86$ and $0,90 \text{ ind m}^2$, respectively) and for summer, the highest result was for MT (5) and in winter by CN (5). Even the areas presenting small differences in some attributes, the results, were not enough to explain the appearance of areas of altered vegetation within the Augusto Ruschi Reserve, requiring further evaluations and specific analyzes to arrive at a more effective explanation.

Keywords: Candeia, soil-vegetation relationship, nutrient cycling

1. INTRODUÇÃO

A vegetação e o solo são os dois principais componentes dos ecossistemas terrestres (LI et al., 2013). A cobertura vegetal pode influenciar características químicas e físicas do solo, e este também pode influenciar na formação vegetal, desenvolvimento e conservação das florestas, pois o solo é um recurso natural básico que pode proporcionar sustentabilidade à vegetação (LIMA, 2015). Assim, qualquer intervenção nesse recurso natural, por ação antrópica ou natural, irá repercutir no equilíbrio da natureza, isso porque o solo funciona como alicerce da vida em ecossistemas terrestres.

A vegetação é de fundamental importância para a melhoria da qualidade dos ambientes. Para o solo, a cobertura vegetal tem papel essencial, pois a presença da vegetação proporciona benefícios físicos, químicos e biológicos, além da proteção contra a erosão e a dinâmica da ciclagem de nutrientes. Assim, a retirada dessa cobertura promove um desequilíbrio ambiental entre o solo e o meio, modificando seus atributos (MELO; LIRA FILHO; RODOLFO JUNIOR, 2007). Já o solo fornece nutrientes para o crescimento e desenvolvimento da vegetação, e isso, por sua vez, pode direcionar algumas das mudanças na formação e modificação do solo (PRADO; NATALE; FURLANI, 2002).

As propriedades do solo são consideradas um dos principais fatores que afetam os padrões de distribuição dos tipos de florestas (SCHOENHOLTZ et al., 2000). Huang, Wang e Wu (2007) mostraram que a degradação do solo é acompanhada de mudanças bióticas de perda de diversidade, mudanças químicas na diminuição dos nutrientes do solo e mudanças físicas com relação à infiltração, percolação e aeração.

Perda de biodiversidade é observada ao longo dos anos no bioma de Mata Atlântica. De acordo com Ribeiro et al. (2009), devido à exploração descontrolada dos recursos naturais e da ocupação desordenada do território, a vegetação remanescente nesse bioma é extremamente fragmentada e conseqüentemente sua cobertura vegetal original está reduzida a 7% (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA; INPE, 2018). A Mata Atlântica é considerada um *hotspot* mundial, ou seja, uma das áreas mais ricas em

biodiversidade e, ao mesmo tempo, mais ameaçadas do planeta (MITTERMEIER et al., 2005; MYERS et al., 2000).

A Reserva Biológica Augusto Ruschi, em Santa Teresa – ES é um dos poucos fragmentos de Mata Atlântica existentes no Espírito Santo e abriga grande diversidade de fauna e flora. Foi criada em 1948 pelo Decreto Estadual N°55, para a conservação do conjunto paisagístico e da cultura regional. A Reserva possui variação florística, que pode ser explicada pela influência dos atributos físicos, químicos e biológicos dos solos. Machado et al. (2008) afirmam que as múltiplas interações entre fatores ambientais e as respectivas respostas das plantas resultam em uma notável heterogeneidade ambiental que determina a formação de um mosaico de habitats.

A maior parte da Reserva é composta de vegetação típica da Floresta Ombrófila Densa, entretanto, apresenta uma vegetação primária com aparente exploração seletiva de algumas áreas e pequenas manchas em seu interior com vegetação alterada, que estão cobertas pela árvore candeia (*Eremanthus erythropappus*). Essa espécie é típica de Mata Atlântica, principalmente na região de Minas Gerais e é adaptada a solos de baixa fertilidade e são precursoras na invasão de campos abertos. Esse fato, pode ter ocorrido devido a diferenças nos atributos do solo. Contudo, conhece-se muito pouco sobre as relações das propriedades dos solos com a vegetação nessa região, não havendo embasamento científico suficiente para explicar o surgimento dessas áreas com vegetação alterada.

Embora existam estudos da relação solo-planta, em especial, em ambientes tropicais (CUNHA et al., 2009; FERREIRA et al., 2007; FREITAS; MAGALHÃES, 2012), ainda há dificuldade de se relacionar os diferentes tipos de solos com a vegetação, gerando a necessidade de mais estudos para quantificar a afinidade dessa relação. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar os atributos físicos, químicos e biológicos do solo, com intuito de explicar a ocorrência de áreas de candeia dentro da Reserva Augusto Ruschi, Santa Teresa – ES.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Caracterização da área de estudo

A pesquisa foi realizada na Reserva Augusto Ruschi, localizada no distrito de Nova Lombardia, município de Santa Teresa, região serrana do Espírito Santo, área de abrangência do Bioma Mata Atlântica. Segundo a Classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Aw, clima tropical, caracterizado pelo inverno seco e verão chuvoso. A altitude média é de 675 m e pluviosidade média anual de 1413 mm. O relevo é montanhoso e fortemente ondulado, com cerca de 50 % da área com declividade entre 45 a 75 %.

A Reserva é classificada como Floresta Ombrófila densa. Possui área de 3600 ha, com solos de textura média e relevo ondulado a montanhoso. Os solos são predominantemente Latossolo Vermelho Amarelo. A área florestal está em sua maioria sob a borda montanhosa do planalto, constituída de rochas granito-gnaisses pré-cambrianas com fortes declividades. A Reserva apresenta uma vegetação primária com aparente exploração seletiva de algumas áreas e pequenas manchas em seu interior e no seu limite norte com vegetação alterada (Figura 1).

A unidade de mapeamento é composta por Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico de acordo com observações de campo e mapa de solos do ES (CUNHA et al., 2016). Segundo a Classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Aw, clima tropical, caracterizado pelo inverno seco e verão chuvoso. A altitude média é de 675 m e pluviosidade média anual de 1413 mm. O relevo é montanhoso e fortemente ondulado, com cerca de 50 % da área com declividade entre 45 a 75 %.

Para o estudo foram selecionados quatro fragmentos de Mata Atlântica nativa e quatro fragmentos de candeia, dispostos dentro da Reserva, a fim de analisar os atributos físicos, químicos e biológicos dos solos e fazer uma comparação e uma provável explicação da ocorrência desses fragmentos que distinguem a vegetação ombrófila densa na Reserva Augusto Ruschi.

A área de mata nativa (MT) encontra-se na Reserva Biológica Augusto Ruschi, localizada no sudoeste do município de Santa Teresa, nas coordenadas 40°31'58" W; 19°54'45" S, com altitude de 830 m. A Reserva é típica do bioma

Mata Atlântica, sendo classificada como Floresta Ombrófila densa. Possui uma área de 3600 ha, com solos de textura média e relevo ondulado a montanhoso.

Figura 1 – Mapa de vegetação da Reserva Biológica Augusto Ruschi – área 1: candeia, área 2: mata nativa em Santa Teresa – ES

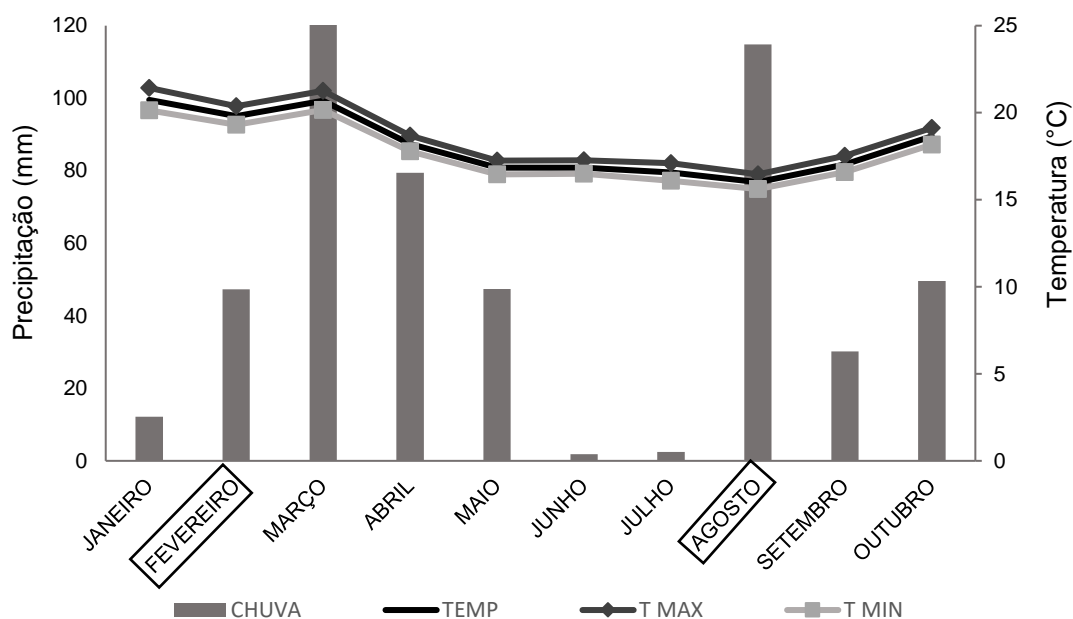


Fonte: Google Earth, 2018.

A área de candeia (CN) encontra-se dentro da Reserva Biológica, nas coordenadas $40^{\circ}32'57''$ W; $19^{\circ}53'54''$ S, com altitude de 835 m. Na área, há povoadamentos de candeia menos puros, com ocorrência de samambaia. Nos solos existem concreções superficiais e textura arenosa.

Os dados climatológicos utilizados no estudo, foram obtidos da estação meteorológica automática – Inmet de Santa Teresa, localizada a 976 m de altitude. A precipitação acumulada registrada pela estação no período de janeiro/2018 a outubro/2018 foi de 525 mm, a média das temperaturas mínimas foi de $17,7^{\circ}\text{C}$ e a média das temperaturas máximas foram de $18,6^{\circ}\text{C}$, seguem na Figura 2.

Figura 2 – Climograma da região de Santa Teresa, Espírito Santo. Precipitação; T_{máx} – Temperatura máxima; T_{mín} – Temperatura mínima; TEMP – Temperatura média para o ano de 2018.



Fonte: Estação de superfície automática do município de Santa Teresa – INMET (2018).

2.2. Amostragem e preparo das amostras de solo

O solo da região é classificado como Latossolo Vermelho Amarelo de acordo com observações de campo e mapa de solos do ES (CUNHA, et al., 2016). As coordenadas geográficas referentes ao centro de cada área foram obtidas com auxílio de GPS (Garmin International, Inc., Kansas City, USA). A coleta de solo para a caracterização química e física foi realizada em fevereiro de 2018, por meio da abertura de pequenas trincheiras de 0,20 m de profundidade em cada parcela, retirando-se, com auxílio de espátula, amostras de solo superficial (aproximadamente 300 g cada) com três repetições, nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm. Antes das coletas das amostras de solo foi feita a remoção da serapilheira presente na superfície do solo. A coleta do solo para caracterização biológica e das frações de carbono foi realizada em fevereiro e agosto de 2018, por meio da abertura de pequenas trincheiras de 0,20 m de profundidade em cada parcela, retirando-se, com auxílio de espátula, três amostras compostas de solo obtidas a partir de três sub-amostras simples (aproximadamente 300 g cada), na profundidade de 0-10 e 10-20 cm. Após a coleta, as amostras de solo foram homogeneizadas e acondicionadas em sacos plásticos, conduzidas ao

Laboratório de Matéria Orgânica do Solo do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCAUE-UFES).

2.3. Análises Laboratoriais

2.3.1. Análises físicas do solo

A análise granulométrica foi realizada nas amostras de TFSA nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm por agitação lenta a 50 rpm por 16 horas, com agitador tipo Wagner e presença de dispersante químico NaOH 0,1 mol L⁻¹ e determinação das frações silte e argila pelo método da pipeta (ALMEIDA et al., 2012). Foi calculado o grau de floculação (GF) (EMBRAPA, 2011). Foi determinado a densidade do solo (Ds) pelo método anel volumétrico e a densidade de partícula (Dp) pelo método balão volumétrico. Para determinação da porosidade total (PT) e da microporosidade (Micro) foi utilizada a mesa de tensão, conforme descrito em Embrapa (2011). A estabilidade de agregados via úmida foi determinado pelo método Kemper e Chepil (1965). A resistência à penetração foi feita através de uso de penetrólogo, marca Falker, até 40 cm de profundidade.

2.3.2. Análises químicas do solo

A caracterização química do solo foi realizada nas amostras de TFSA, coletadas nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm conforme descrito em Embrapa (2011). Foram determinados o pH em água (relação 1:2,5); acidez potencial (H + Al); K e Na trocáveis; P disponível pelo extrator Mehlich⁻¹ e Ca e Mg trocáveis.

Com os resultados das análises foram calculadas as somas de bases (SB), a saturação por bases (V%) e por alumínio (m). A capacidade de troca catiônica (CTC a pH 7,0) estimada pela soma de bases (SB) e acidez potencial (H⁺ + Al³⁺) e capacidade de troca catiônica efetiva (t) calculada pela soma de bases (Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺) e Al³⁺.

2.3.3. Análises da matéria orgânica do solo (MOS)

No laboratório, parte do solo de cada amostra para caracterização biológica foi acondicionada em saco plástico e mantida sob refrigeração a 4-6° C até o momento de serem analisadas com relação ao teor de carbono da biomassa microbiana (CBM), nitrogênio da biomassa microbiana do solo (NBM), conforme descrito em Mendonça e Matos (2005). Os teores de carbono total (COT) foram

determinados por oxidação via úmida (MENDONÇA e MATOS, 2005). O nitrogênio total (NT) foi determinado por meio de destilação conforme descrito por Tedesco et al. (1995). O fracionamento do C por graus de oxidação foi avaliado conforme descrito por Chan, Bowman e Oates (2001), com separação das frações em Cox1, Cox2 e Cox3, em que o Cox1 é considerado como carbono lábil, Cox2 como carbono moderadamente lábil e Cox3 como pouco lábil. O nitrogênio mineralizável anaerobicamente (NMA) foi determinado conforme método de incubação anaeróbica descrito por Keeney e Nelson (1982). O fracionamento químico quantitativo das substâncias húmicas (SH) foi realizado segundo Benites, Madari e Machado (2003). Antes de proceder-se às análises, as amostras foram destorroadas e passadas por peneira de 2,0 mm de malha, retirando-se resíduos visíveis de plantas e pequenos organismos do solo.

As emissões de CO₂ do solo foram coletadas a campo e registradas por câmara de fluxo fabricada pela companhia LI-COR (LI-6400-09, LI-COR, NE, USA) (Healy et al., 1996). Concomitantemente, foi determinada temperatura e umidade do solo próximo do anel com auxílio de um sensor FDR (Frequency Domain Reflectometry ou Reflectometria no Domínio de Frequência).

Para comparar a sensibilidade à temperatura do solo nos diferentes sistemas, foi calculada a variação proporcional na emissão de CO₂ do solo quando a temperatura do solo aumentou 10°C (Q10), com base na relação entre a temperatura do solo a 5 cm de profundidade e a emissão de CO₂ do solo. Para comparar o efluxo de CO₂ do solo entre as áreas, os valores de CO₂ foi normalizado a uma temperatura de 25°C (R25) em cada área de amostragem.

2.3.4. Fauna Edáfica

Para estimar a fauna edáfica, foram retiradas três amostras de solo em cada bloco, utilizando um anel de dimensão 0,127 x 0,115 m. O material coletado foi acondicionado em sacos plásticos identificados e encaminhados para identificação no Laboratório de Microscopia do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo.

A triagem das amostras foi feita manualmente e animais com mais de 10mm de comprimento, ou com diâmetro corporal acima de 2 mm, foram coletados e

armazenados em solução de álcool a 70%. A contagem e a identificação no nível de grupos taxonômicos foram feitas com o auxílio de lupas binoculares.

A caracterização da fauna edáfica foi feita com a obtenção dos dados de densidade total de indivíduos por área (número de indivíduos por m²); a diversidade foi calculada pelo Índice de Shannon ($H = -\sum p_i \cdot \log_2 p_i$) em que p_i é a frequência relativa de indivíduos de cada grupo taxonômico "i" identificado, índice de eqüabilidade de Pielou (e) foi derivado a partir do Índice de Shannon: $U = H / \log_2 R$, em que "R" é a riqueza definida como o número de diferentes grupos coletados em cada área avaliada.

2.4. Análise Estatística

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade (Shapiro-Wilk) e, quando necessário, as variáveis foram transformadas (logarítmica e quadrática) quando essas não estavam dentro da normalidade. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas no software R (R CORE TEAM, 2015). Foram determinados os coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis físicas, químicas e biológicas analisadas.

3. RESULTADOS

3.1. Caracterização física e química do solo

As duas áreas apresentam teores de areia grossa acima de 54%, entretanto, diferenciam-se pelo teor de areia fina, onde a MT apresenta as menores quantidades de areia fina, em ambas as profundidades (Tabela 1). Os teores de argila e silte não se diferenciam entre as áreas e profundidades. A textura de MT e CN é média, com valores de areia total variando de 72,7 a 79,6%, argila total, de 20,01 a 20,33% e silte variando de 7,27 a 6,34%.

A densidade do solo (D_s) apresentou valores entre 0,96 e 1,09 g cm⁻³ (Tabela 2). A porosidade total (PT) foi maior que 53%. As áreas apresentaram valores de PT semelhantes. Na camada superficial do solo, as áreas apresentaram MACP e MICP estatisticamente iguais, o que, condiciona melhor difusão de oxigênio e drenagem do perfil dos sistemas.

Tabela 1 – Granulometria no fragmento de Mata Atlântica, com vegetação nativa (MT) e vegetação alterada (CN), profundidade de 0-10 e 10-20 cm

USO	AG	AF	ARG	S
	dag kg ⁻¹			
0 - 10 cm				
MT	63,78 A	8,94 B	20,01 A	7,27 A
CN	59,98 A	19,69 A	20,33 A	6,34 A
CV (%)	9,33	48,53	28,98	18,61
10 - 20 cm				
MT	54,43 A	9,97 B	26,83 A	8,77 A
CN	57,98 A	17,51 A	24,51 A	6,78 A
CV (%)	15,32	39,09	32,42	23,22

Médias seguidas por uma mesma letra, na coluna, para um atributo, não diferem significativamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. AG: areia grossa; AF: areia fina; S: silte; ARG: argila

A análise de estabilidade de agregados em água mostra que, em geral, os sistemas estudados apresentaram alta proporção de agregados estáveis, em todas as profundidades. Essa análise mostra que há resistência dos agregados e, conseqüentemente, boa estruturação nos solos. Os valores de DMP e DMG são confirmados pelos resultados de GF, que estão em torno de 0,97 (Tabela 2). Esses valores indicam boa estabilidade de agregados do solo.

Tabela 2 – Atributos físicos do solo no fragmento de Mata Atlântica, com vegetação nativa (MT) e vegetação alterada (CN), profundidade de 0-10 e 10-20 cm.

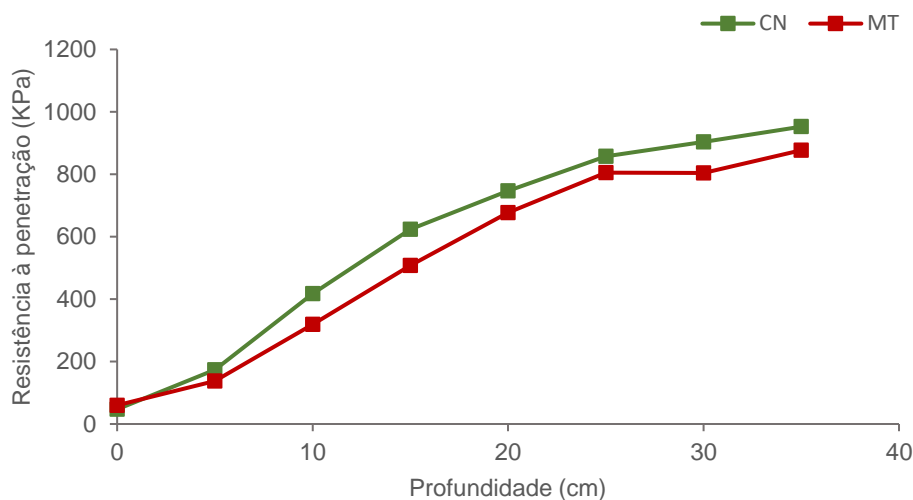
USO	Ds	Dp	PT	MACP	MICP	GF	DMG	DMP
	kg m ⁻³	kg m ⁻³	m ³ m ⁻³	m ³ m ⁻³	m ³ m ⁻³	%	mm	mm
0 - 10 cm								
MT	0,97 A	2,56 A	0,62 A	0,29 A	0,33 A	0,95 A	2,89 A	2,27 A
CN	1,09 A	2,73 A	0,60 A	0,35 A	0,25 A	0,96 A	3,07 A	4,02 A
CV (%)	17,53	8,63	10,26	10,36	30,18	2,87	5,98	50,14
10 - 20 cm								
MT	0,96 A	2,52 A	0,62 A	0,30 A	0,31 A	0,96 A	3,25 A	3,28 A
CN	1,07 A	2,77 A	0,53 B	0,25 A	0,27 A	0,95 A	2,83 A	1,63 A
CV (%)	18,97	5,00	14,50	18,62	27,11	3,25	19,01	39,90

Médias seguidas por uma mesma letra, na coluna, para um atributo, não diferem significativamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Ds: densidade do solo; Dp: densidade de partícula; PT: porosidade total; MACP: macroporosidade; MICP: microporosidade; GF: grau de floculação; DMG: diâmetro médio geométrico; DMP: diâmetro médio ponderado

Quanto à resistência a penetração, ambas as áreas apresentaram resistência à penetração alta (Figura 2), devido a presença das raízes das árvores. Na área

de CN, houve a presença de outro agravante em um dos pontos de coleta que foi a presença de pedregosidade.

Figura 3 – Valores médios da resistência a penetração no fragmento de Mata Atlântica, com vegetação nativa (MT) e vegetação alterada (CN). Valor médio obtido através de 96 medições no penetrômetro em cada área em estudo.



A área de MT apresentou de 0-15 cm, uma resistência à penetração de 623,2 KPa e que foi aumentado a partir dos 15 cm, atingindo o valor de 952 KPa aos 40 cm. A área de CN, como tinha maiores impedimentos, apresentou, em algumas medidas, valores de resistência à penetração superiores a 1000 KPa, após 15 cm de profundidade.

De modo geral, os solos de MT e CN são de fertilidade baixa (Tabela 3). Os valores de pH são baixos, o que implica uma condição ácida nas duas áreas. A MT apresentou um valor de pH abaixo de 5,5, o que classifica como acidez elevada. Já na área CN, a acidez foi classificada como média, de acordo com Prezotti et al. (2007).

Os teores de fósforo disponível (P) foram baixo para ambas as áreas. A MT apresentou maior teor que na CN, sendo que o maior teor foi encontrado na camada de 0-10 cm (1,70 mg dm⁻³). As menores concentrações de P ocorreram na área CN, onde ocorreu a menor riqueza de espécies. Os teores de potássio disponível (K) foram maiores na superfície (0-10 cm). Na profundidade de 10-20 cm, houve acentuada redução desse nutriente.

O maior teor de cálcio trocável (Ca^{2+}) ocorreu na área de CN, na superfície. Na profundidade de 10-20 cm os teores foram semelhantes para as áreas em estudo. O contrário ocorreu com as concentrações de alumínio trocável (Al^{3+}), ou seja, o menor teor foi encontrado na área de CN. Quanto ao teor de magnésio (Mg^{2+}), não houve diferença entre as áreas e as profundidades.

A área de MT, em ambas as profundidades, apresentou o maior teor de H+Al, consequência de apresentar maior teor de Al^{3+} . Quanto à saturação de bases, não houve diferença entre as áreas, devido ao menor teor de Ca^{2+} e Mg^{2+} . A capacidade de troca catiônica (CTC), na camada superficial, não apresentou diferença entre as áreas. Na profundidade de 10-20 cm, houve redução do valor para a área de CN.

Tabela 3 – Atributos químicos do solo no fragmento de Mata Atlântica, com vegetação nativa (MT) e vegetação alterada (CN), na profundidade de 0-10 e 10-20 cm

USO	pH	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + Al	SB	CTC
	H ₂ O	--- mg dm ⁻³ ----	-----	-----	-----	cmol _c dm ⁻³ -----	-----	-----	-----
0 - 10 cm									
MT	4,07 B	1,53 A	32,50 A	0,33 B	0,22 A	2,25 A	17,12 A	0,69 A	17,80 A
CN	5,32 A	0,53 B	17,75 B	0,90 A	0,29 A	0,84 B	10,28 B	1,30 A	11,58 A
CV (%)	14,42	70,14	42,35	65,00	34,31	54,53	35,91	47,91	32,92
10 - 20 cm									
MT	4,32 B	1,70 A	17,00 A	0,12 A	0,09 A	1,58 A	15,01 A	0,31 A	15,33 A
CN	5,41 A	0,51 B	14,00 A	0,19 A	0,10 A	0,81 B	9,47 B	0,40 A	9,87 B
CV (%)	12,25	63,79	17,24	46,37	18,85	36,61	26,45	25,19	25,48

Médias seguidas por uma mesma letra, na coluna, para um atributo, não diferem significativamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. P: fósforo; K: potássio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; Al: alumínio; SB: saturação de bases; CTC: capacidade de troca catiônica

3.2. Frações da matéria orgânica e atributos biológicos dos solos

Os atributos biológicos do solo dos fragmentos de Mata estudados estão dispostos na Tabela 4. De modo geral, os atributos biológicos são semelhantes entre as áreas. Os teores de COT variaram de 19,7 a 36,5 g kg⁻¹ de solo. Na coleta de verão, os valores de COT diferenciaram na profundidade de 10-20 cm,

Tabela 4 – Atributos químicos e biológicos do solo no fragmento de Mata Atlântica, com vegetação nativa (MT) e vegetação alterada (CN), no período de verão e inverno, na profundidade de 0-10 e 10-20 cm

VERÃO												
USO	COT	NT	Csol	Cox1	Cox2	Cox3	C-HU	N-HU	C-FAH	N-FAH	C-FAF	N-FAF
	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	µg g ⁻¹	g kg ⁻¹			g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹
0 - 10 cm												
MT	25,5 A	0,09 B	164,46 A	16,4 A	16,5 A	32,6 A	44,5 A	0,12 A	19,2 A	0,06 A	15,7 A	0,03 A
CN	21,6 A	0,64 A	105,06 A	9,4 B	16,2 A	22,4 B	31,9 A	0,07 A	15,1 A	0,04 A	11,6 A	0,02 A
CV(%)	24,72	91,56	93,46	71,79	43,94	39,71	41,15	50,10	26,34	35,57	32,74	33,46
10-20 cm												
MT	24,2 A	0,06 B	42,08 B	12,7 A	14,6 A	27,8 A	32,8 A	0,09 A	15,6 A	0,04 A	16,4 A	0,03 A
CN	19,7 B	0,53 A	148,93 A	8,0 B	12,2 A	17,9 B	27,3 A	0,05 A	13,1 A	0,02 A	6,9 B	0,01 A
CV(%)	24,01	94,66	71,69	69,22	25,21	38,16	35,96	46,36	25,08	55,75	51,17	52,82
INVERNO												
0 - 10 cm												
MT	30,6 A	0,27 A	328,99 A	13,6 A	11,0 A	23,6 A	20,9 A	0,07 A	9,0 A	0,02 A	0,2 A	0,04 A
CN	35,6 A	0,28 A	252,80 A	16,4 A	17,3 A	19,1 B	19,6 A	0,08 A	13,3 A	0,03 A	0,3 A	0,03 A
CV(%)	30,04	40,13	80,68	32,20	54,47	52,14	30,13	47,06	37,21	42,77	112,88	50,22
10 - 20 cm												
MT	36,5 A	0,25 A	73,92 A	16,7 A	2,00 B	15,1 A	19,8 A	0,07 A	10,3 A	0,05 A	10,7 A	0,02 A
CN	22,2 B	0,13 A	74,13 A	9,6 B	13,8 A	6,4 B	23,9 A	0,06 A	7,9 A	0,03 A	6,7 A	0,01 A
CV(%)	27,01	32,70	62,60	33,16	42,46	47,84	17,20	33,71	34,58	51,55	113,74	42,12

Médias seguidas por uma mesma letra, na coluna, para um atributo, não diferem significativamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. COT= carbono orgânico total; NT= nitrogênio total; Cox1, Cox2, Cox3 = carbono oxidável; Csol= carbono solúvel; C-HU= carbono da fração humina; N-HU= nitrogênio da fração humina; C-FAH= carbono da fração ácido húmico; N-FAH= nitrogênio da fração ácido húmico; C-FAF= carbono da fração ácido fúlvico; N-FAF= nitrogênio da fração ácido fúlvico

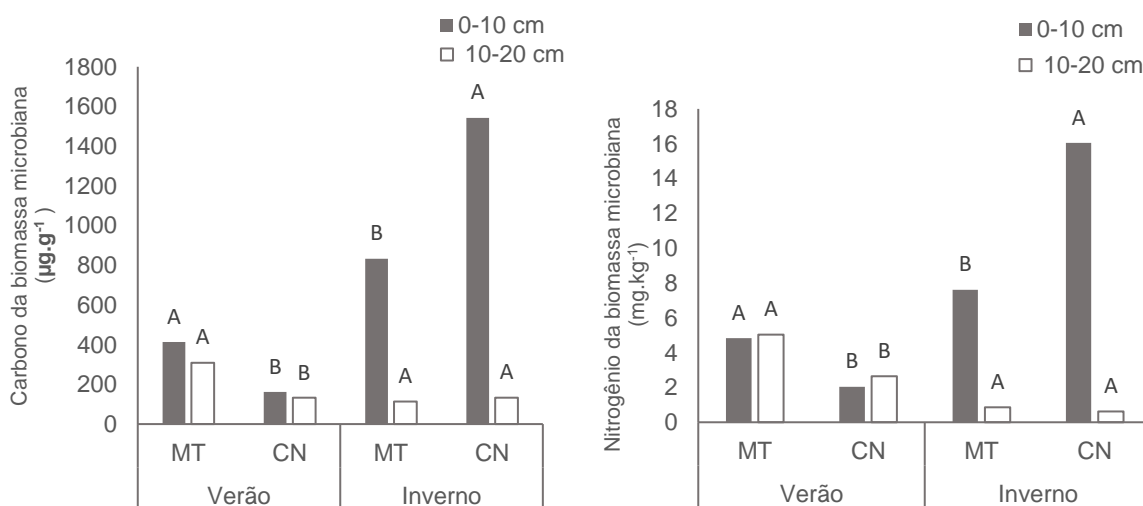
sendo que MT apresentou o maior valor. Na profundidade de 0-10 cm, as áreas não se diferenciaram. Na coleta de inverno, seguiu-se o mesmo padrão que no verão, entretanto, houve aumentos dos valores encontrados para COT.

Os teores de C facilmente oxidáveis (Cox1, Cox2 e Cox3) variaram entre 6,4 a 32,5 g kg⁻¹. No verão, a MT apresentou os maiores valores de Cox1 e Cox3. Já Cox2 não se diferenciou entre as áreas. No inverno, na profundidade de 0-10 cm, somente Cox3 diferenciou entre as áreas, sendo que a MT apresentou o maior valor. Na profundidade de 10-20 cm, o Cox1 apresentou valor maior para CN e Cox2 foi a CN. Já Cox3 não diferenciou entre áreas e profundidades.

O C solúvel (C_{sol}) destacou na CN para a profundidade de 10-20 cm, na coleta de verão. No inverno, não houve diferença entre as áreas. Em relação às frações da matéria orgânica, C e N das substâncias húmicas, não houve diferença entre as áreas de estudo, profundidade e período e coleta.

Para a coleta realizada no verão, o maior valor de C da biomassa microbiana (CBM) foi encontrado no solo de MT (Figura 4), nas duas profundidades de estudo, assim como para N da biomassa microbiana (NBM).

Figura 4 – Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana nos solos de mata e candeia, nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, nos períodos de verão e inverno

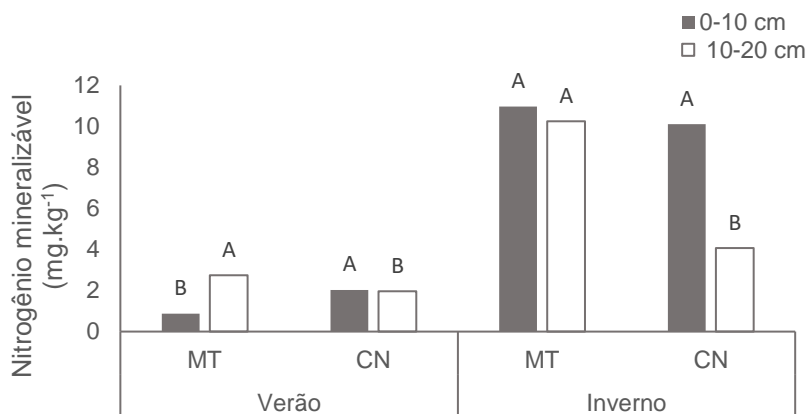


Médias seguidas por uma mesma letra, para cada uso, não diferem significativamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Na coleta de inverno, o maior valor de CBM e NBM foi encontrado para a CN na profundidade de 0-10 cm. Na profundidade de 10-20 cm não houve diferença entre as áreas.

Para o N mineralizável (Nmin), o maior valor obtido foi para a área de CN na profundidade de 0-10 cm, no verão. Na profundidade de 10-20 cm, a MT destacou-se nos períodos de verão e inverno, como mostra a Figura 5.

Figura 5 – Nitrogênio mineralizável (Nmin) nos solos de mata e candeia, nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, nos períodos de verão e inverno



Médias seguidas por uma mesma letra, na coluna, para um atributo, não diferem significativamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

As temperaturas do solo registradas simultaneamente com as medições de CO₂ foram maiores no período de verão (Tabela 5). A maior temperatura foi registrada para CN, no verão e inverno.

Tabela 5 – Valores médios de temperatura, umidade, efluxo de CO₂ do solo, efluxo de CO₂ normalizado a 25° (R25), sensibilidade à variação de temperatura em 10°C (Q10) e quociente metabólico (qCO₂), nos períodos de verão e inverno, no fragmento de Mata Atlântica, com vegetação nativa (MT) e vegetação alterada (CN).

VERÃO					
USO	UMIDADE	TEMPERATURA	CO ₂	R25	Q10
	m ³ m ⁻³	°C	--- mmol m ⁻² s ⁻¹ ---		
MT	0,258	24,1	5,76 A	5,91 A	0,074
CN	0,196	27,2	4,24 A	4,01 A	0,287
INVERNO					
MT	0,210	22,4	1,93 A	5,91 A	0,779
CN	0,099	23,6	1,51 A	4,01 A	0,824

Médias seguidas por uma mesma letra, na coluna, para um atributo, não diferem significativamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

A temperatura diminuiu do verão para o inverno em torno de 3°C. Os teores de umidade foram menores no inverno, em comparação aos teores obtidos no

verão. A atividade respiratória basal não diferiu entre as áreas, assim como os dados de emissão de CO₂ normalizados a 25°C (R25) e de sensibilidade à variação de temperatura em 10°C (Q10), para ambos períodos de estudo.

Quanto à fauna edáfica (Tabela 6), no verão foram contabilizados 56 indivíduos, sendo que 63% encontram-se na área de CN. No inverno, dos 181 indivíduos quantificados, 94% ocorreram na CN e 6% na MT.

Tabela 6 – Fauna edáfica, densidade, riqueza, índice de Simpson, índice de Shannon e índice de pilou, no fragmento de Mata Atlântica, com vegetação nativa (MT) e vegetação alterada (CN), nos períodos de verão e inverno.

VERÃO		
ANIMAIS/USO	MATA	CANDEIA
Haplotaxida	12	2
Hymenoptera	5	10
Isoptera	0	23
Araneae	1	0
Geophilomorpha	2	0
Coleoptera	1	0
DENSIDADE (ind.m⁻²)	1,12	1,86
RIQUEZA	5	3
INDICE DE SIMPSON	0,397	0,517
INDICE DE SHANNON	0,510	0,346
INDICE DE PILLOU	0,656	0,445
INVERNO		
ANIMAIS/USO	MATA	CANDEIA
Haplotaxida	3	2
Hymenoptera	2	1
Isoptera	0	162
Araneae	0	0
Geophilomorpha	2	4
Coleoptera	3	2
DENSIDADE (ind.m⁻²)	0,53	0,90
RIQUEZA	4	5
INDICE DE SIMPSON	0,260	0,898
INDICE DE SHANNON	0,593	0,119
INDICE DE PILLOU	0,762	0,152

No verão e inverno, os indivíduos contabilizados foram classificados em seis grupos taxonômicos: Haplotaxida, Hymenoptera, Isoptera, Araneae, Geophilomorpha e Coleoptera. Os maiores níveis taxonômicos observados foram: Hymenoptera e Isoptera. O maior número de indivíduos observado no verão, para CN, é em razão do maior número de formigas e no inverno é

decorrente do maior número de cupins. Em relação à riqueza de grupos de indivíduos, no verão, a maior riqueza foi apresentada pela MT e no inverno pela CN. O maior valor de diversidade de grupos pelo índice de Shannon foi observado em MT, no verão e inverno (Tabela 6), assim como o índice de Pillou ou equabilidade.

4. DISCUSSÃO

De modo geral, as áreas estudadas são compostas por solos de textura média. A proporção de areia é maior que a proporção de argila e silte nas áreas de MT e CN. Esse resultado corrobora com Scolforo, Loeuille e Altoé (2012), que encontraram distribuições granulométricas em áreas de candeia do sul de Minas Gerais, indicando solos variando de textura média a arenosa.

Quanto à variação da densidade de partículas do solo (D_p), os valores estão dentro do limite de 2,3 a 2,9 g cm⁻³, uma vez que os constituintes predominantes na maioria dos solos são quartzo, feldspatos e os silicatos de alumínio coloidais (RABELO, 2000). A D_s apresenta valores abaixo de 1,07 g cm⁻³, que predispõe solos com maior porosidade. A D_s baixa para a MT e CN, deve-se ao alto teor de matéria orgânica e à ausência de ações antrópicas nessa área, outro fator importante é a influência dos resíduos vegetais que amortecem o impacto da chuva mantendo o solo protegido. A MO contribui para a redução da D_s , aumento da porosidade com melhoria na infiltração de água reduzindo a erosão e conseqüentemente da perda de MO (MARIN, 2002).

Os solos apresentam valores de macroporos superiores a 0,10 m³ m⁻³, como propõe a classificação de Taylor e Ashcroft (1972). Os valores de microporos foram inferiores a 0,40 m³ m⁻³, o que não é recomendado. De acordo com Kiehl (1979), um solo deve apresentar um terço da PT formada por macroporos e dois terços restantes por microporos. Os solos das áreas podem apresentar baixo armazenamento de água, assim, a compactação desses solos, dentro de certos limites, poderia ser benéfica em termos de maior retenção de água, pela transformação de parte dos macroporos em microporos (RESENDE et al., 2007).

Os solos apresentaram boa agregação, por possuírem altos valores de DMP e DMG. Esse fato pode ser devido à influência positiva da matéria orgânica na estruturação de solos (NEVES et al., 2006). Os dados de GF reforçam o alto

grau de desenvolvimento da estrutura dos solos. A presença desses agregados permite maior aprisionamento físico das partículas e maior permeabilidade de água no solo (SILVA et al., 1999).

Os resultados de resistência à penetração apontam que até os 15 cm de profundidades, os solos de MT e CN não apresentam impedimento físico. Conforme a resistência à penetração do solo aumenta, o sistema radicular das plantas pode ser reduzido, afetando a busca do vegetal por água e nutrientes no solo, bem como o desenvolvimento, estabilidade e fixação dessas no perfil. Entre 30-40 cm os valores de resistência mostram-se significativamente maiores nessa área sendo justificado pela grande presença de raízes e pelo seu crescimento, aproximando as partículas do solo. Stefanoski et. al. (2013) e Ferreira et al. (2014), estudando a resistência à penetração em solo sob sistema de integração lavoura-pecuária-floresta, pasto convencional e mata nativa do cerrado, também observaram que em 35 cm e 70 cm os valores de resistência mostram-se significativamente maiores na área sob mata nativa, sendo isso justificado pela presença de raízes.

Para a fertilidade dos solos, a MT apresentou solos de acidez elevada devido ao maior teor de Al^{3+} . A área CN apresentou acidez moderada, valores também encontrados por Scolforo, Loeuille e Altoé (2012) ao caracterizarem áreas com candeia. O esperado era que a CN apresentasse pH mais ácido, uma vez que o local de amostragem continha plantas de samambaia, que são indicadores de solos com alto teor de Al^{3+} (MEIRA; LEITE; MOREIRA, 2018).

Os valores de Ca^{2+} e Mg^{2+} foram maiores na CN, o que favoreceu os maiores valores de SB, entretanto, apresentou os menores valores de T. O valor maior de Al^{3+} e $H+Al$ na MT pode ter favorecido o maior valor de T, para as profundidades estudadas. Situações semelhantes ocorreram nos estudos realizados por SILVA (1993), na Reserva Ecológica do Panga, Uberlândia-MG.

Os valores de K e P disponíveis foram baixos para as duas áreas, o que foi semelhante ao encontrado por Silva (2001) na região de Ouro Preto- MG. Os valores baixos de nutrientes nas áreas de mata explicam-se pela reposição de nutrientes no solo realizada pela decomposição das folhas e restos culturais, como galhos e arvores mortas. Entretanto, um pequeno estoque de nutrientes

minerais altamente circulante no ecossistema tem maior capacidade para sustentar uma produtividade alta do que um grande estoque de nutrientes, o que garante a manutenção das matas.

Segundo Silva (2001), espécies arbóreas de afinidades ecológicas diferentes podem ocorrer em uma determinada floresta., pois as afinidades edáficas de uma espécie arbórea seriam determinadas, principalmente, pelos teores e pelas interações de cálcio, magnésio e alumínio trocáveis no solo, e, além delas, outros mecanismos, não exclusivamente de natureza edáfica, poderiam contribuir para substituir espécies, ecologicamente equivalentes ou não, em florestas diferentes.

De acordo com Costa Neto (1990), os resultados da análise de solo, juntamente com os dados de vegetação, dão subsídios para concluir se duas áreas são distintas ou iguais, e se os tipos de solo de cada área influenciam a formação de sua vegetação. No atual estudo, observa-se que nos atributos físicos e químicos estudados, as áreas de MT e CN obtiveram valores próximos. Dessa forma, pode-se inferir, portanto, que os atributos físicos e químicos do solo não são determinantes quanto à ocorrência da candeia em fragmentos dentro da Reserva Augusto Ruschi.

Os teores de COT foram classificados como bons, segundo Ribeiro et al. (1999), para MT e CN e profundidades, no verão e inverno. Esse resultado está relacionado ao aporte de material orgânico depositado na superfície dos solos das matas, o que influencia os teores dos atributos relacionados ao COT. Os valores de COT no inverno apresentaram aumento se comparados com os valores de verão. De modo geral, os teores de COT diminuíram em profundidade, de maneira similar à relatada por Bezerra et al. (2013).

A área de CN apresentou valores superiores de NT no verão em ambas as profundidades. Houve aumento do teor desse atributo no inverno, se comparado ao verão. A matéria orgânica é a maior reserva de N orgânico no solo e sua mineralização supre quantidades substanciais desse elemento durante o ciclo das culturas, além de conservar-lo no sistema.

Os teores de C das frações oxidáveis, podem ser utilizados para avaliar a dinâmica da matéria orgânica. O maior teor da fração lábil (Cox1), no inverno e no verão, foi encontrado para a área de MT. A fração moderadamente lábil

(Cox2) destacou na área de MT, no verão. A fração pouco lábil (Cox3) destacou a MT em ambos os períodos de coleta. Esse resultado confirma que em solos florestais, há maior contribuição das frações oxidáveis devido ao aporte significativo de resíduos vegetais nesses sistemas (BARRETO et al., 2011).

O CBM e o NBM apresentaram variações significativas entre as áreas estudadas. Esses valores foram consistentemente mais elevados nos solos sob MT, indicando que esse sistema não possui efeitos adversos do solo sobre a comunidade microbiana. Valores elevados de CBM indicam que os nutrientes ficam imobilizados temporariamente, o que resulta em menores perdas dos nutrientes no sistema solo-planta.

Os teores de C nas substâncias húmicas apresentaram valores semelhantes. Entretanto, os teores de C-HU foram superiores aos das frações AF e AH, o que está em conformidade ao observado na literatura (BEZERRA et al., 2013; CAETANO et al., 2013). O maior percentual de C foi observado na fração húmica, seguido da fração ácido húmico e ácido fúlvico. O fato de essa fração apresentar maior percentagem de C em relação às demais pode estar relacionado à menor estabilidade das frações C-FAF e C-FAH, o que faz com que essas frações possam ser submetidas a processos de movimentação no perfil ou mineralização, diminuindo sua composição percentual no solo.

A alta emissão de CO₂ na MT e CN deve-se ao alto teor de C orgânico no solo e aos maiores estoques de C nas raízes e na matéria orgânica (LUAN et al, 2011). As menores emissões no inverno, podem ser atribuídas à menor temperatura e à umidade do solo, onde a atividade biológica no solo é menor. Além dos processos químicos e físicos, a emissão de CO₂ do solo é influenciada por fatores ambientais como a temperatura e umidade do ar. A menor umidade do solo no inverno, que coincide com a estação seca na região, também inibe a taxa de respiração do solo.

A menor sensibilidade à variação de temperatura em 10°C (Q10) foi encontrado nos locais de maior temperatura, o que não corrobora com o resultado de Zhiyoung et al. (2013), os quais afirmam que os maiores valores de Q10 normalmente são encontrados em climas mais frios. Quando normalizada a

temperatura para 25°C a MT mostrou-se mais sensível ao aumento da temperatura.

Quanto à fauna edáfica, a ordem Hymenoptera representa grande parte do total de indivíduos entre os sistemas de uso do solo no verão. No inverno, esse comportamento foi observado para a ordem Isoptera. Para Baretta et al. (2005), a atividade biológica é altamente concentrada nas primeiras camadas do solo, na profundidade de 10 cm há um número maior de raízes secundárias e maior quantidade de matéria orgânica, colaborando para uma maior atividade de organismos.

O maior valor observado para a ordem Isoptera, representada por cupins, e Hymenoptera, representada pelas formigas, pode ser explicado por estarem entre os mais abundantes artrópodes de solo dos ecossistemas tropicais (BANDEIRA; VASCONCELLOS, 2002). Para o grupo Isoptera, no período de inverno, não foram encontrados poucos indivíduos nas áreas, possivelmente devido à fragilidade de seu corpo, por meio da sensibilidade à dessecação. Portanto, são extremamente sensíveis a trocas de umidade, e como o verão apresenta teor de umidade baixo, pode-se justificar presença baixa dessa ordem.

Para o grupo Hymenoptera, a MT aparece com maior número no verão e no inverno, possivelmente em razão da grande facilidade de locomoção dessa ordem (PARR et al., 2007). A presença de formigas nas diferentes épocas pode ter relação com a sua adaptabilidade ao meio, à variedade de costumes alimentares e ao hábito de vida colonial que tendem a ser amostradas em agregados com elevado número desses organismos (MENEZES et al., 2009).

No verão, a MT apresentou maior riqueza de fauna edáfica, o que pode indicar conservação da biodiversidade, onde a provisão de habitats e alimentos favorece as diversas comunidades de invertebrados do solo. O valor de diversidade de grupos pelo índice de Shannon maior no verão e inverno, na MT, demonstra que as épocas não foram o fator predominante para influenciar a densidade de indivíduos e suas respectivas biomassas, pelos vários fatores influenciadores como precipitação, vegetação e umidade.

5. CONCLUSÃO

Os atributos do solo analisados não foram suficientes para explicar a existência de áreas de vegetação alterada dentro da Reserva Augusto Ruschi, sendo necessários maiores avaliações e análises específicas, uma vez que se trata de uma espécie típica da Mata Atlântica.

6. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, B. G. et al. **Padronização de métodos para análise granulométrica no Brasil**. Rio de Janeiro: Embrapa, 2012 (Comunicado técnico 66). 11 p.

ANDERSON, J.M.; INGRAM, J.S.I. 1989. **Tropical soil biology and fertility: A handbook of methods**. CAB International, Wallingford, Estados Unidos. 171 p.

BANDEIRA, A. G.; VASCONCELLOS, A. A quantitative survey of termites in a gradient of disturbed highland forest in Northeastern Brazil (Isoptera). **Sociobiology**, Feira de Santana, v. 39, p. 429-439, 2002.

BARETTA, D. et al. Efeito do monocultivo de pinus e da queima do campo nativo em atributos biológicos do solo no planalto sul catarinense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 715-724, 2005.

BARRETO, P. A. B. et al. Distribution of oxidizable organic C fractions in soils under cacao agroforestry systems in Southern Bahia, Brazil. **Agroforestry systems**, Heidelberg, v. 81, p. 213–220, 2011.

BENITES, V.M.; MADARI, B.; MACHADO, P.L.O.A. 2003. **Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: um procedimento simplificado de baixo custo**. Comunicado Técnico 16, EMBRAPA Solos, Rio de Janeiro. 7pp.

BEZERRA, R.P.M. et al. Formas de carbono em latossolo sob sistemas de plantio direto e integração lavoura-pecuária no cerrado, Goiás. **Semina: Ciências Agrárias**, v.34, p.2637-2654, 2013.

CAETANO, J.O. et al. Dinâmica da matéria orgânica de um Neossolo Quartzarênico de cerrado convertido para cultivo em sucessão de soja e milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, p.1245-1255, 2013.

CHAN, K. Y.; BOWMAN, A.; OATES, A. Oxidizable organic carbon fractions and soil quality changes in an paleustalf under different pasture leys. **Soil Science**, Baltimore, v. 166, n. 1, p. 61-67, 2001

COSTA NETO, F. **Subsídios técnicos para um plano de manejo sustentado em áreas de Cerrado**. 1990. 142p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

CUNHA, A. de M. et al. Atualização da legenda do mapa de reconhecimento de solos do Estado do Espírito Santo e implementação de interface no GEOBASES para uso dos dados em SIG. **Geografares**, n.23, p. 32-66, 2016.

CUNHA, G. M. et al. Biomassa e estoque de carbono e nutrientes em Florestas Montanas da Floresta Atlântica da região norte do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1175-1185, 2009.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: CNPS, 230p. 2011.

FERREIRA JÚNIOR, W.G. et al. Composição florística da vegetação arbórea de um trecho de Floresta Estacional Semidecídua em Viçosa, Minas Gerais, e espécies de maior ocorrência na região. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.31, n.6, p.1121-1130, 2007.

FERREIRA, E. M. et al. Resistência à penetração em solo sob sistema de Integração lavoura-pecuáriaflorestal, pasto convencional e mata nativa do Cerrado. **Enciclopédia Biosfera**, v. 11, n. 22, p. 2675-2680, 2014.

FREITAS, W. K.; MAGALHAES, L. M. S. Métodos e parâmetros para estudo da vegetação com ênfase no estrato arbóreo. **Floresta e Ambiente**, v. 19, n. 4, p. 520-539, 2012.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA & INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica no período 2016-2017**. São Paulo, 63 p. 2018.

HEALY, R.W. et al. Numerical evaluation of static-chamber measurements of soil-atmosphere gas exchange: identification of physical processes. **Soil Science Society of America Journal**, v.60, p. 740-747, 1996.

HUANG, D.; WANG, K.; WU, W.L. Dynamics of soil physical and chemical properties and vegetation succession characteristics during grassland desertification under sheep grazing in an agro-pastoral transition zone in Northern China. **Journal of Arid Environments**, v.70, p.120-136, 2007.

KEENEY, D. R.; NELSON, D. W. Nitrogen inorganic forms. In: Page, A. L. (Ed.). Methods of soil analysis. Part 2. **Madison: American Society of Agronomy**, p.643-698. 1982.

KEMPER, W. D.; CHEPIL, W. S. Size distribution of aggregation. In: BLACK, C. A. Methods of soil analysis. Madison, **American Society Agronomy**, p. 499-510, 1965.

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

LI, Y. et al. Changes in Forest Soil Properties in Different Successional Stages in Lower Tropical China. **Plos One**, v.8, novembro 2013.

LIMA, M.S. **Relação solo-floresta em fragmento de Mata Atlântica em Pernambuco**. 2015. 91p. Dissertação (Mestrado em Ciências florestais) – Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife – PE.

LUAN, J.W. et al. Soil carbon stocks and fluxes in a warm-temperate oak chronosequence in China. **Plant and Soil**. v.347, p.243-253, 2011.

MACHADO, E. L. M. et al. Efeitos do substrato, bordas e proximidade espacial na estrutura da comunidade arbórea de um fragmento florestal em Lavras, MG. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 31, p. 287-302, 2008.

MARIM PEREZ, A. M. **Impactos de um sistema agroflorestal com café na qualidade do solo**. 2002. 83f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

MEIRA, A. L.; LEITE, C. D.; MOREIRA, V. R.R. **Plantas indicadoras – Parte 2**. 2018. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. n 35, 2p. Disponível em <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/organicos/fichas-agroecologicas/arquivos-fertilidade-do-solo/35-plantas-indicadoras-parte-2.pdf>, acessado em 21 de dezembro de 2018.

MELO, R. R.; LIRA FILHO, J. A.; RODOLFO JÚNIOR, F. Diagnóstico qualitativo e quantitativo da arborização urbana no bairro Bivar Olinto, Patos, Paraíba. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**. Piracicaba – SP, v. 2, n. 1, 2007.

MENDONÇA E. S; MATOS E. S. **Matéria orgânica do solo; métodos de análises**. Viçosa: UFV; 2005. 107 p.

MENEZES, C. E. G. et al. Macrofauna edáfica em estádios sucessionais de floresta estacional semidecidual e pastagem mista em Pinheiral (RJ). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1647-1656, 2009.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. 1997. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Plano de manejo fase 1 – Reserva Biológica Augusto Ruschi. Brasília.

MITTERMEIER, R. A.; et al. **Hotspots revisited**: Earth's biologically richest and most endangered terrestrial ecoregions, Conservation International. 2. ed. University of Chicago Press, Boston, p.392, 2005.

MYERS, N. et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v.403, p. 853-845, 2000.

NEVES, C.S.V.J.; FELLER, C.; KOUAKOUA, E. Efeito do manejo do solo e matéria orgânica em água quente na estabilidade de agregados de um Latossolo argiloso. **Ciência Rural**, v.36, p.1410-1415, 2006.

PARR, C. L. et al. Savanna fires increase rates and distances of seed dispersal by ants. **Oecologia**, Germany, v. 151, p. 33-41, 2007.

PRADO, R. M.; NATALE, W.; FURLANI, C. E. A. Manejo mecanizado de atividades para implantação de culturas. Jaboticabal: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2002. (Série Engenharia Agrícola).

PREZOTTI, L. C. et al. **Manual de Recomendação de Calagem e Adubação para o Estado do Espírito Santo**: - 5ª aproximação. Vitória, ES: SEEA; INCAPER; CEDAGRO, 2007. 305 p.

R CORE TEAM (2015). R: **A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL: <http://www.R-project.org/>.

RABELO, N. A. Método de Análise – Goiânia: Ed. UCG, 2000. 88p.: - (Cadernos Didáticos; 12).

RESENDE, M. et al. **Pedologia**: Base para distinção de ambientes. 5.ed. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2007. 332p.

RIBEIRO, A.C. et al. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª aproximação**. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado De Minas Gerais, 359p. 1999.

RIBEIRO, M. C et al. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological conservation**, v.142, p.1141-1153, 2009.

SCHOENHOLTZ, S. H.; MIEGROET, H. van; BURGER, J. A. A review of chemical and physical properties as indicator of forest soil quality: challenges and opportunities. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, n.138, p.355-356, 2000.

SCOLFORO, J.R., LOEUILLE, B.F.P., ALTOÉ, T.F. **Manejo sustentável da candeia**: O caminhar de uma nova experiência florestal em Minas Gerais. 1 ed. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2012. p. 19-27.

SILVA, C. A.; ANDERSON, D. J.; VALE, F. R. Carbono, nitrogênio e enxofre em frações granulométricas de dois Latossolos submetidos a calagem e adubação fosfatada. **Revista Brasileira e Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, p.593-602, 1999.

SILVA, E. F. **Caracterização edáfica e fitossociológica em áreas de ocorrência natural de candeia (*Vanillosmopsis erythropappa* Sch. Bip.)**. 2001. 118 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa MG.

SILVA, J.G.M. **Relações solo-vegetação como instrumento para o manejo da vegetação do Cerrado no Triângulo Mineiro**. 1993. 136p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

STEFANOSKI, D.C. et al. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 17, n. 12, 2013.

TAYLOR, S. A.; ASHCROFT, G. L. **Physical edaphology: the physics of irrigated on nonirrigated soils**. San Francisco: W. H. Freeman, 1972. 532 p.

TEDESCO, M. J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS/Departamento de Solos, 1995. 174p. (Boletim Técnico, 5).

ZHIYOUNG, Z. et al. Predicting soil respiration using carbon stock in roots, litter and soil organic matter in forests of Loess Plateau in China. **Soil Biology and Biochemistry**, v.57, p.135-143, 2013.

CONSIDERAÇÕES GERAIS

A Floresta Atlântica é um dos biomas tropicais que apresenta notável perda de biodiversidade, sobretudo pelos crescentes e contínuos desflorestamentos ao longo dos anos, estreitamente associados às atividades antrópicas. Os poucos fragmentos maiores encontram-se em locais de topografia acidentada. A formação vegetal da floresta avaliada neste estudo incluem floresta Ombrófila Densa, que abrigam grande número de espécies endêmicas e muitas ameaçadas de extinção, o que as tornam áreas de importância estratégica para a conservação da biodiversidade.

A aceleração dos processos de desflorestamento da Floresta Atlântica gera a necessidade de implantação de ações de pesquisas para subsidiar a elaboração de planos de manejo, conservação e recuperação ambiental dessas áreas. Para isso, é imprescindível expandir o conhecimento sobre a dinâmica da interação dos fatores que determinam a qualidade do solo e a comunidade vegetal nesses ecossistemas, principalmente no que tange as classes de solos e os processos que regulam a disponibilização de nutrientes para a vegetação.

Neste trabalho foi demonstrado que em relação à caracterização física e química, o solo da área de BN apresentou maiores teores de bases trocáveis (Ca, Mg), além dos menores valores de Ds e apresentam maior PT. O solo de MT apresentou maior acidez potencial (H+Al), menor teor de nutrientes disponíveis e maior valor de DMP. A área de CF apresentou as piores condições químicas de solo. Sendo assim, ficou evidente que o manejo diferente entre as áreas estudadas, condicionam a heterogeneidade química e física dos atributos do solo. Esse fato é confirmado pelo IQS das áreas, nas quais o cultivo de BN proporcionou a manutenção da qualidade do solo em condições semelhantes e/ou melhores que a condição de MT, IQS de 0,8 e 0,72, respectivamente. Isso mostra que o manejo adequado das culturas proporciona qualidade satisfatória dos solos, principalmente em solos na região montanhosa de Mata Atlântica.

Quanto às características biológicas, o solo de MT apresentou os maiores valores de COT, NT, CBM, NBM e Nmin. As áreas agrícolas apresentaram valores inferiores a MT, uma vez que apresentam menor aporte de matéria

orgânica. Entre as áreas agrícolas, a BN destacou-se por apresentar valores médios de COT, CBM e frações oxidáveis de C superiores às áreas de CF e EU. Esse fato, deve-se ao manejo num âmbito mais agroecológico. As emissões de CO₂ sob MT foram superiores às áreas agrícolas. A fauna edáfica apresentou maior número de indivíduos no verão, para a área de CFE, em razão do maior número de formigas. Somente CFL e BN apresentaram menor número de indivíduos no verão quando comparado ao inverno, resultado influenciado pela ordem Isoptera. A ordem Haplotaxida aparece em maior número no verão para todos os usos do solo. Em relação à riqueza de grupos de indivíduos, no verão, a maior riqueza foi apresentada pelo EU e no inverno pela MT.

Os atributos físicos, químicos e biológicos foram uma ferramenta importante para a distinção das áreas. Através da utilização da análise discriminante canônica identificou-se que os atributos DMP, T, COT, Ds, PT, Ca+Mg, MOL, AGR, Al, MACP, GF, Nmin, COT, CBM, Coxi3, C-HU, N-HU, C-FAH, N-FAH, N-FAF, MOL e qMIC, juntamente com os grupos de fauna edáfica, Haplotaxida, Isopoda, Coleoptera e Hymenoptera, contribuíram efetivamente para a separação entre as áreas estudadas. A BN e a MT obtiveram resultados superiores às demais áreas, o que permite agrupá-las no grupo de áreas de alta sustentabilidade produtiva e econômica. O CF e o EU apresentaram resultados ruins ou intermediários, sendo necessário revisar ou fazer um plano de manejo levando em consideração a sustentabilidade, mantendo a qualidade do solo e garantindo altas produtividades.

O estudo comprova que um bom manejo, aquele que considera as propriedades físicas (aeração, retenção de água, compactação, estruturação), químicas (reação do solo, disponibilidade de nutrientes e suas interações) e biológicas (teor de matéria orgânica, respiração, biomassa de carbono, biomassa de nitrogênio, taxa de colonização e espécies de microrganismos) do solo pode propiciar às culturas uma alta produtividade no tempo presente e no futuro, sem danificar e destruir o meio ambiente. Entretanto, a discussão de aspectos do manejo de solo nas culturas de montanha é maior do que enfatizar as alterações de ordem química, física ou biológica. É necessário, a partir de uma visão sistêmica, integrar o sistema produtivo ao ambiente e verificar as ações e reações, integrando aspectos econômicos, sociais e ambientais.

ANEXOS

Figura 1 – Reserva Biológica Augusto Ruschi – Santa Teresa - ES



Fonte: O autor

Figura 2 – Área de Café Arábica – Santa Teresa – ES



Fonte: O autor

Figura 3 – Área de Banana da Terra – Santa Teresa - ES



Fonte: O autor

Figura 4 – Área de Eucalipto – Santa Teresa - ES



Fonte: O Autor