

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS FLORESTAIS E DA MADEIRA

DANILO SCHUENG DE SOUZA

EMISSÃO DE CO₂ E MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM
DIFERENTES AGROECOSSISTEMAS NO SUL DO ESPÍRITO SANTO

JERÔNIMO MONTEIRO

ESPÍRITO SANTO

2013

DANILO SCHUENG DE SOUZA

EMISSÃO DE CO₂ E MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM
DIFERENTES AGROECOSSISTEMAS NO SUL DO ESPÍRITO SANTO

Monografia apresentada ao
Departamento de Ciências
Florestais e da Madeira da
Universidade Federal do Espírito
Santo, como requisito parcial para
obtenção do título de Engenheiro
Florestal

JERÔNIMO MONTEIRO

ESPÍRITO SANTO

2013

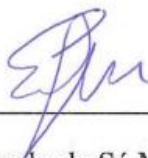
DANILO SCHUENG DE SOUZA

EMISSÃO DE CO₂ E MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM
DIFERENTES AGROECOSSISTEMAS NO SUL DO ESPÍRITO SANTO

Monografia apresentada ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira da
Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título
de Engenheiro Florestal

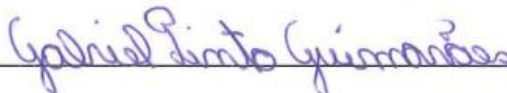
Aprovada em 25 de julho de 2013

COMISSÃO EXAMINADORA



Eduardo de Sá Mendonça

Universidade Federal do Espírito Santo



Gabriel Pinto Guimarães

Universidade Federal do Espírito Santo



Anderson Lopes Peçanha

Universidade Federal do Espírito Santo

Dedico este trabalho:

A aquela, aquele ou aquilo que gere a lei universal da impermanência
(alguns chamam de Deus, Ala, Jah...).

Aos Agricultores Camponeses e familiares do Brasil, que colocam comida
na mesa do Povo Brasileiro.

Ao Povo Brasileiro, pela oportunidade de ingressar em uma Universidade
Pública.

A ABEEF (Associação Brasileira dos Estudantes de Engenharia Florestal)
e ao Grupo de Agricultura Ecológica KAPIXAWA, pelo enriquecedor
conhecimento técnico, cultural, político, ético e social adquirido através
dos estudos, reuniões, debates, seminários, congressos...

A todos aqueles que de qualquer forma indireta ou direta ajudaram no
desenvolvimento deste trabalho.

“A prática é o critério da
verdade”.

“Quem quer arruma um
jeito, quem não quer arruma
uma desculpa”.

Pela Cura do Planeta!

AGRADECIMENTOS

À minha família por todo apoio e incentivo para conclusão dos estudos, em especial aos meus pais, Valdenice da Rocha Alves e Nilson Schueng de Souza.

Aos colegas André Thomazini e Gabriel Pinto Guimarães pela imensa contribuição nas coletas a campo, nas análises laboratoriais e pelo conhecimento repassado.

Ao professor Eduardo de Sá Mendonça, orientador, pela paciência, correções e ensinamentos, a qual foi fundamental à realização deste trabalho.

À todos os amigos e amigas de Alegre, Vila Velha, Paraty e mundo, que fazem com que a descoberta da vida seja mais interessante, animadora e feliz.

RESUMO

Resumo: O aquecimento global é intensificado pela ação antrópica com a queima de combustíveis fósseis e o uso de sistemas agrícolas com grande aporte de energia e insumos externos, que causam a degradação do solo, queda da quantidade e qualidade da matéria orgânica e alta liberação de gás carbônico (CO_2). Este é um assunto de relevância internacional, em que novos sistemas agrícolas devem ser estudados com vista a diminuir a emissão de CO_2 e melhorar a qualidade da matéria orgânica do solo. O objetivo da pesquisa foi avaliar a emissão de gás carbônico e teores e qualidade da matéria orgânica do solo sob quatro sistemas de uso (café em sistema agroflorestal - SAF, café convencional, pastagem e mata nativa). Os resultados mostraram que o SAF estudado apresentou teores de carbono orgânico total (COT), relação C/N, carbono da biomassa microbiana (CBM), carbono extraível (Cext), emissão de CO_2 (ECO_2), quociente microbiano (qMic) e quociente metabólico (q CO_2) semelhante ao do sistema Mata. O acúmulo de serrapilheira, a manutenção da cobertura vegetal, o baixo revolvimento do solo, a diversificação de espécies e a não utilização de insumos químicos são formas de manejo que favorecem o aumento da atividade microbiana. Esse acúmulo promove aumento nos teores das formas orgânicas do carbono do solo, contribuindo para a manutenção da biota, e, conseqüente, aumento na fertilidade dos solos. Há correlação positiva para os sistemas de manejo entre a temperatura do solo e a emissão de CO_2 , sendo a serrapilheira um importante fator para diminuir a temperatura do solo. Para a Mata essa correlação pode ser alterada por outros fatores como o COT e o CBM. Os diferentes sistemas de manejo estudados influenciaram na emissão de CO_2 pelo solo, o SAF se mostrou eficiente para diminuir as emissões de CO_2 , liberando menos carbono do solo, sendo uma alternativa de manejo que relaciona produção de alimentos e mitigação das causas do efeito estufa.

Palavras chave: carbono, nitrogênio, biomassa microbiana, qualidade do solo, agricultura familiar

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	vii
LISTA DE QUADROS	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 O problema e sua importância.....	1
1.2 Objetivos.....	3
1.2.1 Objetivo geral	3
1.2.2 Objetivos específicos.....	3
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	4
2.1 Carbono do solo.....	4
2.2 Emissão de CO ₂ para a atmosfera.....	4
2.3 Matéria Orgânica do solo	5
2.4 Sistemas Agroflorestais	7
3. METODOLOGIA.....	9
3.1 Caracterização da área em estudo.....	9
3.2 Coleta de Solo.....	11
3.3 Emissão de CO ₂ (E CO ₂)	13
3.4 Carbono da Biomassa Microbiana (CBM) e Carbono Extraível (Cext)	15
3.5 Carbono Orgânico Total (COT)	15
3.6 Nitrogênio Total (NT)	16
3.7 Relação Carbono/Nitrogênio, Quociente Microbiano (qMic) e Quociente Metabólico (qCO ₂)	16
3.8 Estoque de Carbono e Nitrogênio.....	17
3.9 Análise Estatística	17
4. RESULTADOS	18
5. DISCUSSÃO.....	26
6. CONCLUSÕES.....	30
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores médios dos atributos químicos dos solos em diferentes sistemas de manejo na profundidade 0 – 10 cm e 10 – 20 cm.

Tabela 2 – Valores médios de Areia (g/Kg), Silte (g/Kg) e Argila (g/Kg) e a classificação textural segundo SBCS e EMBRAPA nas profundidades de 0-10 e 10- 20 cm para os diferentes sistemas de manejo do solo.

Tabela 3 – Valores médios para o estoque de carbono e nitrogênio do solo para diferentes sistemas de manejo do solo nas profundidades 0-10 cm 10-20 cm e 0-20 cm.

Tabela 4 – Equações de regressão (linear simples) para estimar Emissão de CO₂ em função da temperatura e respectivos coeficientes de correlação.

Tabela 5 – Modelos de regressão (linear simples) para estimar Emissão de CO₂ em função do Carbono Orgânico Total (COT), Carbono da Biomassa Microbiana (CBM) e Carbono Extraível em K₂SO₄ (Cext) e respectivos coeficientes de correlação.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Descrição dos sistemas de manejo na comunidade de Feliz Lembrança, Alegre, Espírito Santo.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – As concentrações atmosféricas de dióxido de carbono nos últimos 10.000 anos (painéis grandes) e desde 1750 (painéis internos). Fonte: IPCC, 2007.

Figura 2 – Localização dos sistemas de manejo estudados.

Figura 3 – Precipitação no mês da amostragem de solo (Abril – 2013).

Figura 4 – Precipitação do ano de 2013.

Figura 5 – Carbono Orgânico Total, Nitrogênio Total e Relação C/N para diferentes sistemas de manejo do solo. Feliz Lembrança, Alegre – ES, 2013.

Figura 6 – Estoque de Carbono e Nitrogênio para diferentes sistemas de manejo do solo. Feliz Lembrança, Alegre – ES, 2013.

Figura 7 – Carbono da Biomassa Microbiana para diferentes sistemas de manejo do solo. Feliz Lembrança, Alegre – ES, 2013.

Figura 8 – Carbono extraível em K_2SO_4 para diferentes sistemas de manejo do solo. Feliz Lembrança, Alegre – ES, 2013.

Figura 9 – Emissão de CO_2 para diferentes sistemas de manejo do solo. Feliz Lembrança, Alegre – ES, 2013.

Figura 10 – Quociente Metabólico (qCO_2) para diferentes sistemas de manejo do solo. Feliz Lembrança, Alegre – ES, 2013.

Figura 11 – Quociente Microbiano ($qMic$) para diferentes sistemas de manejo do solo. Feliz Lembrança, Alegre – ES, 2013.

Figura 12 – Emissão de CO_2 em função da temperatura do solo para diferentes sistemas de manejo do solo, para todos os sistemas juntos e para todos os sistemas menos a Mata.

1. INTRODUÇÃO

1.1 O problema e sua importância

A crise ambiental é refletida na sociedade em diversos aspectos sociais, econômicos e políticos. Uma das consequências desta crise é o aquecimento global causado pelo efeito estufa, este é foco de muitos estudos, objetivando entender suas causas e consequências (IPCC, 2007).

O aquecimento global é causado pelo aumento do dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4), o óxido nitroso (N_2O), os hidrofluorcarbonos (HFC), os perfluorcarbonos (PFC) entre outros gases, chamados gases do efeito estufa (GEE).

O CO_2 é o principal gás estufa antropogênico. No Brasil a principal fonte de emissão de CO_2 são as práticas de uso e manejo do solo correspondendo a 76% das emissões de CO_2 enquanto que a queima de combustíveis fósseis corresponde a 24% (CERRI & CERRI, 2007; BRASIL, 2009). O CO_2 é liberado do solo através de processos como respiração das raízes, decomposição da matéria orgânica e respiração microbiana, e a absorção de CO_2 ocorre pela fotossíntese realizada pelas plantas (CHAVEZ, 2008; ESCOBAR, 2008).

As emissões de dióxido de carbono ou gás carbônico (CO_2) e outros gases do efeito estufa (GEE), ocorridas pela ação antrópica, têm aumentado consideravelmente desde 1750, início da Revolução Industrial. As principais fontes de aumento de CO_2 são a queima de combustíveis fósseis e mudanças no uso e manejo do solo (IPCC, 2007).

Segundo MARENGO & SOARES (2003) ocorreu uma elevação em 31% do carbono atmosférico a partir do período pré-Revolução Industrial, sendo que mais da metade corresponde aos últimos 50 anos.

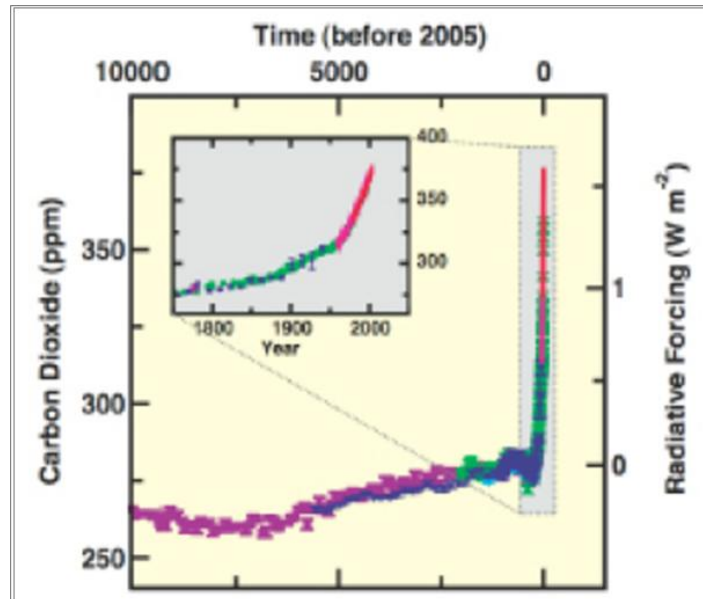


Figura 1. As concentrações atmosféricas de dióxido de carbono nos últimos 10.000 anos (painéis grandes) e desde 1750 (painéis internos). Fonte: IPCC, 2007.

A Revolução Verde trouxe um modelo de produção de alimentos que gerou progressivo aumento da fabricação e utilização de maquinários pesados para o preparo do solo, utilização de agrotóxicos de alta solubilidade e difusão de monoculturas.

A Revolução Verde iniciada em meados do século XX com a promessa de acabar com a fome no mundo, causou grande permuta de agroecossistemas naturais por grandes monoculturas que empregam tratores, insumos de base petroquímica provenientes das guerras e modificação genética de plantas, causando problemas ambientais e sociais (NEMA, 2008). Esta substituição causa a perda de quantidade e qualidade do carbono estocado no solo e é uma das causas do aumento da emissão de CO₂ para a atmosfera (CORAZZA, 1999; BRASIL, 2009).

Novas formas de cultivos podem minimizar a perda de carbono pelo solo e também servir como dreno de CO₂ da atmosfera, sendo uma forma de mitigar a emissão de GEE. Estudos têm demonstrado que a taxa de fluxo de carbono variam de acordo com o sistema agrícola e as práticas de manejo adotadas, e que os sistemas com manejo agroecológico de preparo do solo têm maior eficiência em acumular carbono em relação ao sistema plantio convencional (CHAVEZ, 2008).

Objetiva-se neste estudo avaliar a emissão de C-CO₂ e os compartimentos da matéria orgânica do solo sob quatro sistemas de manejo, café em sistema agroflorestal, café convencional, pastagem e floresta de mata atlântica.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Avaliar o impacto da adoção de sistemas agroecológicos com café (SAF) sobre as qualidades químicas e biológicas do solo, compartimentos da matéria orgânica e a emissão de C-CO₂ para a atmosfera em relação à pastagem e café convencional, tendo como referência a mata.

1.2.2 Objetivos específicos

Avaliar emissão C-CO₂; (ECO₂)

Caracterizar o impacto dos sistemas de uso do solo sobre a emissão de C-CO₂ e sobre os estoques e compartimentos de carbono e nitrogênio.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Carbono do solo

O ciclo global do carbono (C) é um processo que fornece energia e massa à maior parte dos seres vivos, por meio da fotossíntese, decomposição de organismos e troca pelo ciclo terrestre e marinho. Esse ciclo influencia também a regulação da temperatura atmosférica global.

A matéria orgânica do solo é de fundamental importância no ciclo global do C, pois ela se constitui no maior reservatório de C terrestre, compreendendo cerca de duas vezes a quantidade de C na atmosfera e na biomassa vegetal (BRUCE et al., 1999; SWIFT, 2001), e, portanto, constituindo-se num compartimento que desempenha papel crucial no sequestro do C (STEVENSON, 1994). O estoque de C de um solo sob vegetação natural representa o balanço entre a adição de material vegetal morto e a perda pela decomposição e mineralização.

A conversão de agroecossistemas naturais, para agricultura com métodos convencionais de preparo do solo, provoca: redução nos teores de carbono orgânico no solo, resultando em redução da taxa de adição de matéria orgânica; emissão de C do solo através de CO₂, resultando em desequilíbrio no ciclo do efeito estufa natural (PULROLNIK, 2009; PAIVA & FARIA, 2007; FERNANDES & FERNANDES, 2009; XAVIER et al, 2006).

2.2 Emissão de CO₂ para a atmosfera

As emissões de CO₂ para a atmosfera são influenciadas por diversos fatores dentre eles o manejo de agroecossistemas terrestres, marinhos e a queima de combustíveis fósseis.

Ao longo dos milhares de anos o CO₂ contribuiu de forma significativa para o efeito estufa (fenômeno de manutenção da temperatura atmosférica), através das glaciações que ocorrem no planeta a cada 23 mil anos.

A cada glaciação há aumento gradativo na concentração de CO₂ atmosférico, o pico máximo desta concentração corresponde ao período de mínimo volume de gelo no planeta, ou seja, máxima concentração de CO₂ gera aquecimento e derretimento de geleiras. Após este período de concentração máxima de CO₂ é estimada uma queda na sua concentração ao longo dos 11.500 anos seguintes .

A última glaciação que ocorreu há 10 mil anos atrás teve concentração máxima de 268 ppm de CO₂, segundo estimativas era esperado um decréscimo dos níveis de CO₂. Este decréscimo foi constatado nos primeiros 2 mil anos deste ciclo mas após este período houve aumento nos níveis de CO₂, o que contraria a teoria da queda da concentração. Estima-se que ocorreu aumento de 40 ppm, não esperado pelas projeções realizadas, que seria de decréscimo constante (TANIMOTO et. al., 2008).

Este aumento na concentração de CO₂ coincide com o início e expansão da agricultura pelo mundo, que desde o início gerou liberação de CO₂ através do manejo do solo. A partir de 4 mil a.c os métodos de manejo foram modificados pela introdução do arado de bronze, sistemas de irrigação que desviavam rios e derruba de florestas para implantar cultivos.

Estima-se que entre 8 mil anos e o início do século XIX, as emissões antrópicas foram de cerca de 0,04 GtC/ano, as quais representariam 320 GtC jogados na atmosfera.

Já as emissões dos últimos duzentos anos (média de 0,8 GtC/ano) somam juntas 160 GtC acrescidos ao estoque atmosférico, ou seja, 50% do carbono emitido para a atmosfera nos últimos 8 mil anos foi emitido em 200 anos, o que evidencia a influência da agricultura convencional neste processo (TANIMOTO et. al., 2008).

2.3 Matéria Orgânica do solo (MOS)

A importância da matéria orgânica para melhoria das características químicas físicas e biológicas do solo é amplamente reconhecida, o que pode ser considerada um dos principais parâmetros na avaliação da qualidade do solo, pela grande influência sobre as características do solo e as práticas de manejo.

A MOS é composta por restos vegetais das culturas, animais, serrapilheira em diferentes estágios de decomposição, em associação com húmus e partículas de silte, argila e minerais complexos. O carbono é o principal constituinte da MOS e seu conteúdo no solo é regulado pela perda por decomposição, erosão e lixiviação (CHAVEZ, 2008).

A matéria orgânica atua tanto na fertilidade do solo quanto em seu condicionamento físico, além de manter a vida no solo. Assim, podem-se dividir os benefícios da matéria orgânica em três categorias (BRASIL, 2007):

a) Benefícios para a fertilidade do solo:

- Fornecimento de nutrientes para as culturas (macro e micronutrientes): quando decomposta e mineralizada, a matéria orgânica torna-se fonte de nutrientes.
- Aumento da capacidade de troca de cátions (CTC) do solo: tem a capacidade de adsorver (reter) cátions (muitos nutrientes estão na forma de cátions) presentes no solo, que depois podem ser disponibilizados para as plantas.
- Aumento da superfície específica do solo: quanto maior a superfície específica, maior a capacidade de retenção de nutrientes.
- Aumento da disponibilidade de nutrientes para as culturas: por causa dos efeitos na capacidade de troca de cátions e na superfície específica.
- Complexação de substâncias tóxicas: a matéria orgânica em estágios avançados de decomposição tem a capacidade de controlar a toxidez causada por certos elementos presentes no solo em teores acima do normal e, por isso, tóxicos.

b) Benefícios para o condicionamento físico do solo:

- Melhoria da estrutura do solo: tem a capacidade de agregar as partículas do solo, formando “grumos”.
- Densidade do solo: redução da densidade aparente do solo, tornando-o mais “leve” e solto.
- Porosidade do solo: melhoria da circulação de ar e água nos poros (espaços vazios entre as partículas) do solo.
- Capacidade de retenção e infiltração de água: aumento da capacidade de armazenamento da água do solo.

c) Benefícios para a biota do solo:

- Atua como fonte de alimento para microrganismos decompositores, que a utilizam como substrato e são responsáveis pela decomposição e mineralização da matéria orgânica no solo.
- Aumenta a população de minhocas, besouros, fungos, bactérias e outros organismos benéficos para a manutenção da vida no solo.

Os estoques de matéria orgânica do solo dependem do sistema de manejo adotado. O atual modelo de produção agrícola dominante leva a perdas de nutrientes e de matéria orgânica por erosão hídrica e decomposição microbiana provocada pelo preparo intensivo do solo com aração e gradagem, utilização de insumos químicos de alta solubilidade e a falta de cobertura vegetal.

A cobertura do solo é muito importante para proteger o solo do impacto das gotas d'água promovendo a degradação da estrutura do solo e, com o tempo, a erosão laminar e em sulcos, principalmente em regiões de relevo forte ondulado à montanhoso, predominante na região do Caparaó. Esse processo de degradação gera riscos ambientais e custos financeiros para manutenção da produção agrícola (BAYER & BERTOL, 1999; HERNANI et al., 1999; BAYER et al., 2004).

2.4 Sistemas Agroflorestais

Os sistemas agroflorestais (SAF'S) integram os mais antigos sistemas de cultivo utilizados no mundo. Porém, o interesse por esta atividade, do ponto de vista político e científico, começou a tomar forma na década de 70, a partir de dúvidas sobre a eficiência dos modelos de desenvolvimento da agricultura vigentes, que não pareciam se adequar às necessidades e anseios tanto da população quanto dos pequenos produtores rurais e também do meio ambiente (OLIVEIRA, 2011).

Os SAF's são formas de uso da terra que compatibilizam a produção de alimentos e matéria prima com as funções ecológicas do sistema. Devem envolver espécies arbóreas e agrícolas tanto anuais quanto perenes, visando obter benefícios das interações econômicas, ecológicas e sociais.

Podemos citar vantagens da implantação de SAF's em diversos aspectos, sendo eles: melhor ocupação do agroecossistema; melhoria das propriedades químicas,

físicas e biológicas do solo; aumento da produtividade; controle da erosão do solo; redução de variáveis microclimáticas; redução do risco de perda de produção; uso adequado do sombreamento aumento da renda do produtor rural; maior variedade de produtos e (ou) serviços; melhoria na alimentação do homem do campo; redução de riscos de insucesso; redução dos custos de plantio; melhoria na distribuição de mão-de-obra rural; redução das necessidades de capinas, entre outros (VALERI et al., 2003).

Vários autores fazem paralelos entre os SAF's e os sistemas agrícolas tradicionais, e citam que as suas vantagens superam as desvantagens (COUTO, 1990; ANDERSON & SINCLAIR, 1993; DANIEL et al., 2001).

Existem diversos tipos e classificações de sistemas agroflorestais como os sequenciais, simultâneos, quintais agroflorestais, agrosilvopastoris dentre outros, porém em todos eles a biodiversidade presente é sempre maior que em monocultivos (ALVES, 2009; BRASIL, 2008).

Os SAF's além de serem alternativas para produzir alimentos também incluem uma ampla discussão filosófica, que inclui processos de sucessão ecológica, conceitos de sustentabilidade e agroecologia.

3. METODOLOGIA

3.1 Caracterização da área em estudo

Os sistemas avaliados ficam localizados em propriedades de agricultura familiar, na comunidade de Feliz Lembrança, município de Alegre, região do Caparaó Capixaba, Espírito Santo (Figura 2, 3 e 4 e Quadro 1). O clima da região é do tipo tropical quente úmido, com inverno frio e seco, temperatura anual média de 23,1 °C, classificada por Köppen como “Cwa”. O solo é classificado como Latossolo Vermelho Amarelo (LVA).

A área florestal (Mata) de referência possui 50 anos e está em processo de regeneração, foi classificada como Floresta Secundária Estacional Semidecidual Submontana, pois está variando de 16° a 24°S de latitude, e está entre 50 e 500 metros de altitude. Foi observada a ocorrência das espécies: Jacarandá Caviuna (*Dalbergia nigra*), Angico Vermelho (*Anadenanthera macrocarpa*), Boleira (*Joannesia princeps*) e também dos gêneros *Tabebuia*, *Swietenia*, *Cedrela*, *Inga*, *Caesalpinia* dentre outros.

Todos os três sistemas de manejo eram antes constituídos por pastagem. O sistema agroflorestal (SAF) foi constituído apenas por café durante 20 anos (1977 a 1997), a transição para SAF iniciou há 16 anos (1997 a 2013) com introdução de outras espécies (Côco, Laranja, Banana, Cedro, Mogno, Mandioca, Palmito, Inga, Eucalipto, Limão, Mamão, Trapoeraba e Espontâneas), o manejo é realizado apenas com roçada e poda, deixando os restos vegetais sobre o solo, também é realizada calagem e a adubação (2x ao ano) é feita sempre pela metade exigida na recomendação da análise de solo. A área possui 2,5 ha.

O café convencional (Café) possui 16 anos, no manejo é realizada roçada e desbrota (3x ao ano), aplicação de adubo de cobertura (3x ao ano NPK), adubação foliar (na florada, pré-florada e chumbinho) e aplicação de RoundUp (Glifosato) (1x ao ano). A área possui 1,0 ha.

O pasto possui 50 anos, sendo realizada calagem anualmente, o pastoreio animal ocorre todos os dias durante a tarde, depois os animais são levados para outra

área. Todos os sistemas na época da amostragem de solo possuíam cobertura vegetal sobre a camada superficial.

Quadro 1 – Descrição dos sistemas de manejo na comunidade de Feliz Lembrança, Alegre, Espírito Santo.

Sistemas	Latitude	Longitude	Altitude (m)	EF ⁽¹⁾	TE ⁽²⁾ (h)	Dec. ⁽³⁾ (%)	Unidade de Paisagem
Mata	20°47'13.00"S	41°30'20.28"W	497	Oeste	6	4	Topo de elevação convexa
SAF	20°47'38.27"S	41°30'23.76"W	395	Oeste	8	27	Terço médio de elevação côncava
Café	20°47'37.58"S	41°30'52.63"W	385	Oeste	9	26	Terço inferior de elevação convexa
Pasto	20°47'35.40"S	41°30'23.91"W	403	Oeste	9	27	Terço médio de elevação convexa

Fonte: (Adaptado de THOMAZINI et al., 2011) ⁽¹⁾ EF: Exposição da Face; ⁽²⁾ TE: Tempo de Exposição da face; ⁽³⁾ Dec: Declividade.



Figura 2 – Localização dos sistemas de manejo estudados.

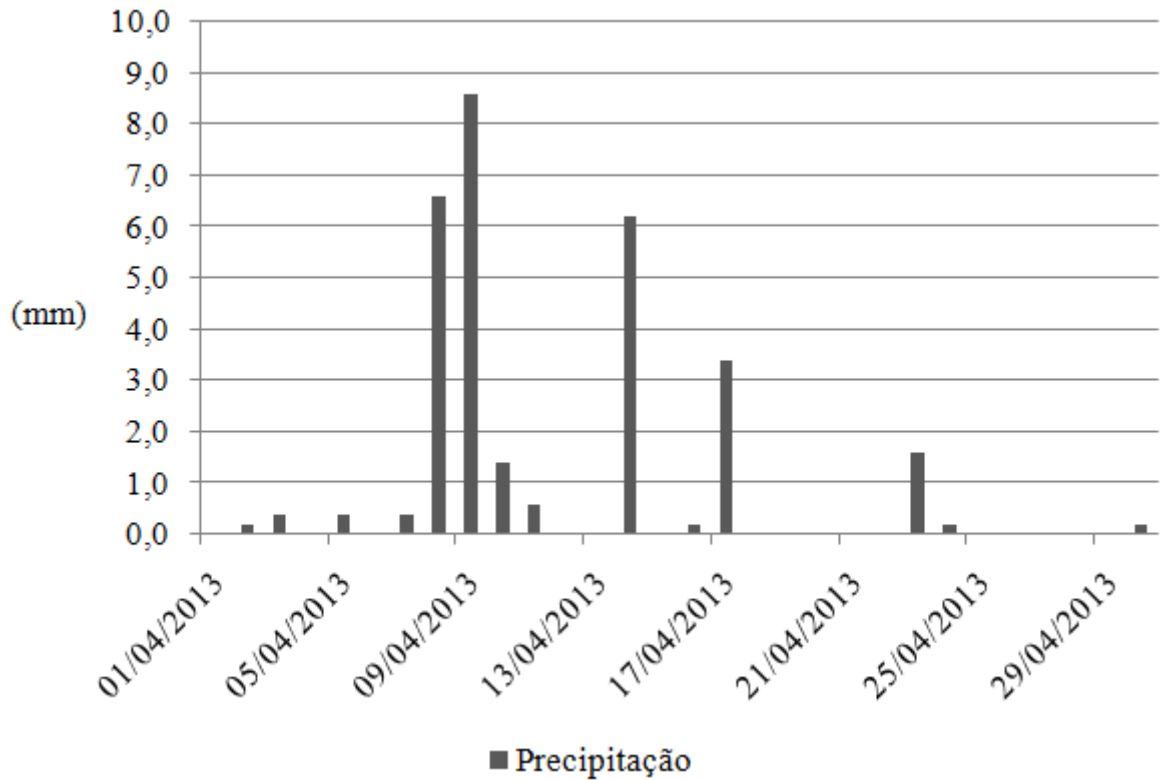


Figura 3 – Precipitação no mês da amostragem de solo (Abril – 2013).

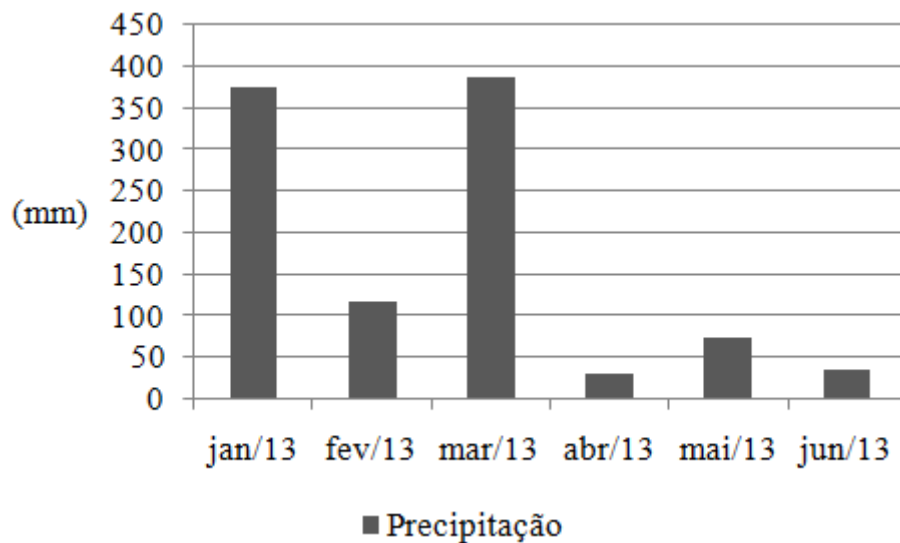


Figura 4 – Precipitação do ano de 2013.

3.2 Coleta de Solo

A coleta de solo foi realizada na segunda quinzena em abril de 2013, sendo que:

Para análise química do solo, foram coletadas de cada área (sistema de manejo), três repetições, sendo feita a análise de cada uma em separado e realizando a média

entre as elas. Inicialmente, o solo foi seco, destorroado e passado em peneira de 2mm, compondo a TFSA.

Para análise dos teores de carbono da biomassa microbiana (CBM), orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) foram coletadas três amostras simples em cada área. Tanto para análise química e dos teores de carbono a profundidade de coleta foi de 0-10 cm e 10-20 cm.

As análises químicas foram feitas no Laboratório de Solos e as análises de Carbono no Laboratório de Matéria Orgânica do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCA/UFES). A caracterização dos solos encontra-se na Tabela 1.

Tabela 1 – Valores médios dos atributos químicos dos solos em diferentes sistemas de manejo na profundidade 0 – 10 e 10 – 20 cm.

Sistemas	pH	P	K	Na	Ca	Mg	Al	H + Al	SB	t	T	V	m
	H ₂ O	----- mg dm ⁻³ -----			----- cmol _c dm ⁻³ -----					--- % ---			
Profundidade 0 - 10 cm													
Mata	4,8	16,3	113,7	10,3	0,8	0,7	0,6	7,5	1,8	2,4	9,4	19,7	23,1
Café	6,2	19,0	177,3	8,7	1,3	0,8	0,0	2,0	2,6	2,6	4,6	56,7	0,0
Pasto	6,6	4,5	404,3	10,7	1,7	0,9	0,0	2,3	3,7	3,7	6,0	61,7	0,0
SAF	6,1	17,9	93,7	8,0	1,9	0,9	0,0	2,3	3,1	3,1	5,4	57,8	0,0
Profundidade 10 - 20 cm													
Mata	4,5	4,2	42,7	8,3	0,3	0,3	1,2	6,8	0,7	1,9	7,5	9,3	63,6
Café	5,4	2,6	176,0	7,3	0,6	0,4	0,1	2,8	1,5	1,6	4,3	35,3	7,3
Pasto	6,0	2,2	272,0	9,3	1,0	0,5	0,0	2,7	2,3	2,3	4,9	46,1	1,5
SAF	5,2	5,2	52,3	5,7	0,6	0,3	0,2	3,2	1,1	1,3	4,3	23,3	35,4

PH em água (pH), fósforo disponível (P), potássio (K), sódio (Na), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al), acidez potencial (H+Al), soma de bases (SB), CTC potencial (T), CTC efetiva (t), saturação por bases (V), e saturação por alumínio (m).

Tabela 2 – Valores médios de Areia (g/Kg), Silte (g/Kg), Argila (g/Kg) e Densidade do Solo (Ds) nas profundidades de 0-10 e 10- 20 cm para os diferentes sistemas de manejo do solo.

Sistemas	Areia (g kg ⁻¹)	Silte (g kg ⁻¹)	Argila (g kg ⁻¹)	Ds (g/cm ³)
	Profundidade 0 -10 cm			Profundidade 0 - 20 cm
Mata	731,86	68,03	200,1	0.97
Café	600,52	28,25	371,23	1.12
Pasto	651,2	208,48	140,32	1.23
SAF	536,79	59,9,0	403,21	1.08
	Profundidade 10 -20 cm			
Mata	639	43,64	317,37	
Café	518,98	318	449,21	
Pasto	670,61	40,17	289,21	
SAF	502,24	61,2	436,56	

O pH em água foi determinado na relação solo:solução de 1:2,5; a acidez potencial (H+Al) foi extraída com Ca(OAc)₂ 0,5 mol L⁻¹ tamponado a pH 7,0 e quantificada por titulometria com NaOH 0,0606 mol L⁻¹; os teores de Ca, Mg e Al trocáveis foram extraídos com KCl 1 mol L⁻¹, sendo determinados por espectroscopia de absorção atômica; o Na e K foram extraídos com Mehlich⁻¹ e quantificados por fotometria de chama; o P disponível foi extraído com Mehlich⁻¹ e quantificado por colorimetria. Todas as análises de rotina foram efetuadas segundo DEFELIPO e RIBEIRO (1981). A capacidade de troca catiônica efetiva (t) foi calculada pela soma dos cátions (Ca, Mg, Na e K) e a capacidade de troca catiônica total (T) estimada pela soma da t e acidez potencial.

3.3 Emissão de CO₂ (E CO₂)

As emissões de CO₂ do solo foram mensuradas, utilizando um analisador de gás por infravermelho portátil (modelo LI-8100 – LiCor, EUA) acoplado a uma câmara dinâmica com 10 cm de diâmetro, colocado em anéis de PVC (10 cm de diâmetro e altura) inseridos no solo antes do experimento. As coletas foram realizadas entre 8 e 10 horas da manhã, os anéis foram inseridos no solo e esperou-se 15 minutos para fazer a leitura.

Foram selecionados 6 pontos por sistema de manejo (3 pontos com 2 repetições cada), em todos os pontos foi retirada a cobertura vegetal para leitura, a distância entre

os pontos variou de 15 a 20 metros, o tempo médio para realização da emissão em cada ponto foi de 1 minuto. O solo para as análises foi coletado destes pontos. Foram medidas em todos os pontos estudados a temperatura e umidade do solo para a camada de 0-10 cm (MENDONÇA et al., 2010).

Foi realizada também a correlação e regressão linear simples da variável ECO_2 com Temperatura do solo, COT, CBM e C_{sol} para cada sistema de manejo, para todos os sistemas juntos (todos) e para todos os sistemas juntos sem a Mata (semMATA), com objetivo de ajustar equações para cada sistema e avaliar se há correlação entre as variáveis.

3.4 Carbono da Biomassa Microbiana (CBM)

O solo para realização das análises de CBM foram acondicionados em geladeira por uma semana, a biomassa microbiana foi calculada das amostras simples a partir do método de irradiação-extração, descrita segundo MENDONÇA e MATOS (2005) adaptado de ISLAM & WEIL (1998) e BROOKES et al. (1982) que utiliza energia eletromagnética para levar ao rompimento celular e liberação de compostos intracelulares. A solução extratora utilizada foi de K_2SO_4 e para quantificação do carbono da biomassa microbiana, foi utilizada a equação:

$$CBM = (CI - CNI) / Kc = \mu g g^{-1} \text{ de C no solo.}$$

Em que: CBM é o carbono da biomassa microbiana; CI é o carbono da amostra irradiada; CNI o carbono da amostra não-irradiada e $Kc = 0,33$ é o fator de correção para CBM.

3.5 Carbono Extraível (Cext)

O carbono extraível foi calculado a partir do carbono extraído das amostras não irradiadas de CBM, o carbono extraído pela solução de K_2SO_4 se equipara com o carbono solúvel em água de acordo com MENDONÇA et al. (2001).

3.6 Carbono Orgânico Total (COT)

O carbono orgânico total foi determinado por oxidação via úmida pelo método adaptado de YEOMANS & BREMMER (1988), sendo o agente oxidante dicromato de potássio, segundo descrito por MENDONÇA e MATOS (2005).

Para o cálculo do COT foi considerado o volume da solução de Sal de Mohr gasto para titular a amostra, solução controle aquecida e não aquecida. Segundo a equação:

COT (dag. kg⁻¹) = (A * (molaridade sulfato ferroso) * 3 * 100) / [peso da amostra (mg)]

Em que:

A = [(Vba – Vam) * (Vbn – Vba) / Vbn] + (Vba – Vam); Vba = volume gasto na titulação da solução controle aquecida, Vbn = volume gasto na titulação da solução controle não aquecida, Vam = volume gasto na titulação da amostra.

3 = resultado da multiplicação entre o número de mols de Cr₂O₇ que reagem com Fe²⁺ (1/6) e com C⁰ (3/2) e massa atômica do carbono (12).

100 = fator de conversão de unidade (mg. mg⁻¹ para dag. kg⁻¹).

3.7 Nitrogênio Total (NT)

O nitrogênio foi determinado nas amostras simples por meio da digestão sulfúrica e a destilação Kjeldahl segundo MENDONÇA e MATOS (2005) adaptado de BREMNER e MULVANEY (1982) e TEDESCO et al. (1995). Para o cálculo dos teores de Nitrogênio foram realizados segundo a equação:

$$\mathbf{N \text{ (dag kg}^{-1}\text{)} = [(V_{am}-V_{br})x(H^+)x1,4]/\text{peso do solo(g)}}$$

Em que: Vam é o volume gasto na titulação da amostra, Vbr é o volume gasto na titulação do branco, H⁺ é a concentração do ácido clorídrico e 1,4 o peso equivalente de N.

3.8 Relação Carbono/Nitrogênio, Quociente Microbiano (qMic) e Quociente Metabólico (qCO₂)

A relação C/N foi calculada dividindo-se o COT pelo NT; o quociente metabólico foi calculado através da relação (ECO₂/CBM)x100 sendo expressa em µg CO₂/µg CBM h⁻¹ (ANDERSON & DOMSCH, 1996). O quociente microbiano foi calculado pela relação do (CBM/COT)x100 (SPARLING, 1992).

3.9 Estoque de Carbono e Nitrogênio

Para calcular o estoque de COT e NT (Mg ha^{-1}), utilizou-se a seguinte expressão: teor de **COT ou NT (dag kg^{-1})** x **Ds** x **e**; em que: Ds = densidade do solo (kg dm^{-3}); e = espessura da camada de solo (cm). A densidade do solo utilizada foi calculada para os mesmos sistemas por THOMAZINI et al.(2011) e a espessura do solo foi de 10 cm.

3.10 Análise Estatística

Foi utilizada a Análise Estatística Descritiva dos dados, de forma que foi calculado a média, a variância, o desvio padrão, o coeficiente de variação, o erro padrão da média de cada análise. Deste modo, os resultados obtidos foram transformados em Tabelas e Gráficos elaborados no programa Excel do pacote Office 2007. As correlações entre os sistemas foram feitas no software ASSISTAT 7.0

4. RESULTADOS

Os maiores valores de COT e NT foram encontrados na profundidade 0-10 cm da floresta e os teores na maioria dos sistemas decrescem com a profundidade (Figura 5). O SAF obteve maiores teores de COT em relação ao café convencional nas duas camadas e para teores de NT o SAF foi inferior em relação ao café convencional (Figura 5).

A relação C/N foi maior no SAF e na Mata do que em todos os outros sistemas e estes valores crescem com a profundidade, sendo que o SAF foi maior que a Mata para as duas profundidades (Figura 5).

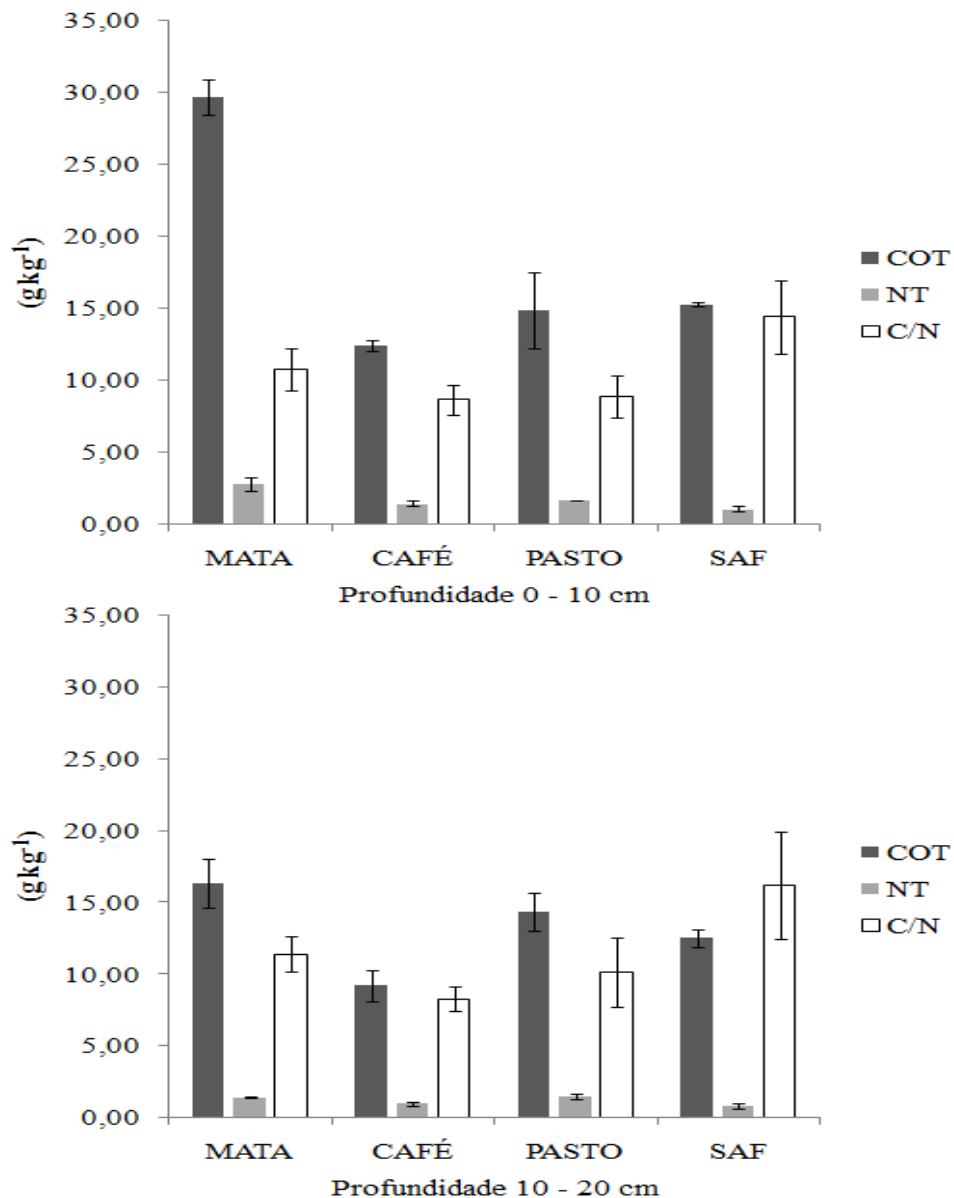


Figura 5 – Carbono Orgânico Total, Nitrogênio Total e Relação C/N (valor adimensional) para diferentes sistemas de manejo do solo. Feliz Lembrança, Alegre – ES, 2013.

Com relação aos estoques de C e N, podemos observar na Tabela 3, que a mata possui maior estoque na profundidade 0-10 cm. Tanto para o estoque de C e N, não houve grande variação entre os sistemas, a não ser para o estoque de N do SAF, que foi menor que qualquer sistema de manejo, para as duas profundidades (Figura 6).

Tabela 3 – Valores médios para o estoque de carbono e nitrogênio do solo para diferentes sistemas de manejo do solo nas profundidades 0-10 cm 10-20 cm e 0-20 cm.

Sistemas de Manejo	Estoque de C	Estoque de N
	----- Mg ha ⁻¹ -----	
Profundidade 0-10 cm		
MATA	30,88	2,90
CAFÉ	20,27	2,37
PASTO	18,58	2,09
SAF	20,35	1,44
Profundidade 10-20 cm		
MATA	17,43	1,53
CAFÉ	15,64	1,64
PASTO	18,32	1,84
SAF	17,00	1,09
Profundidade 0-20 cm		
MATA	48,31	4,43
CAFÉ	35,91	4,01
PASTO	36,90	3,94
SAF	37,35	2,53

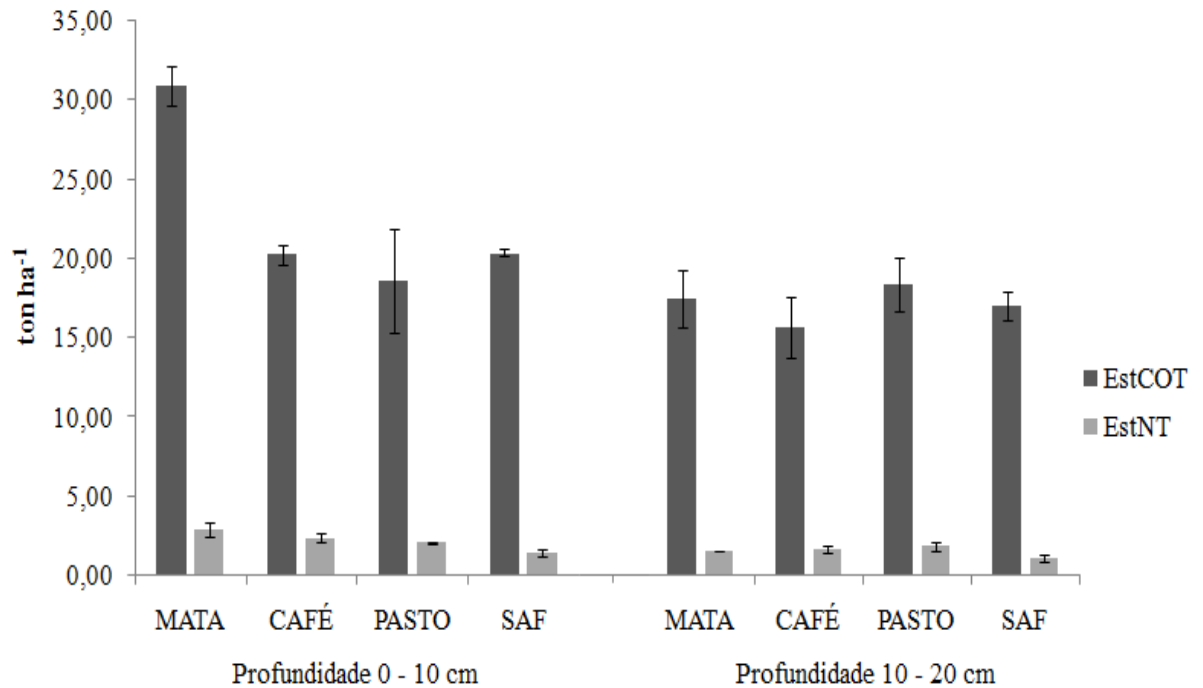


Figura 6 – Estoque de Carbono e Nitrogênio para diferentes sistemas de manejo do solo. Feliz Lembrança, Alegre – ES, 2013.

Os maiores valores de CBM foram encontrados na Mata e no SAF (Figura 7). Os menores valores para as duas profundidades foram encontrados na pastagem e o café convencional, sendo respectivamente 0,12 g kg⁻¹ na 0-10 cm e 0,09 g kg⁻¹ na 10-20 cm e 0,15 g kg⁻¹ na 0-10 cm e 0,10 g kg⁻¹ na 10-20 cm.

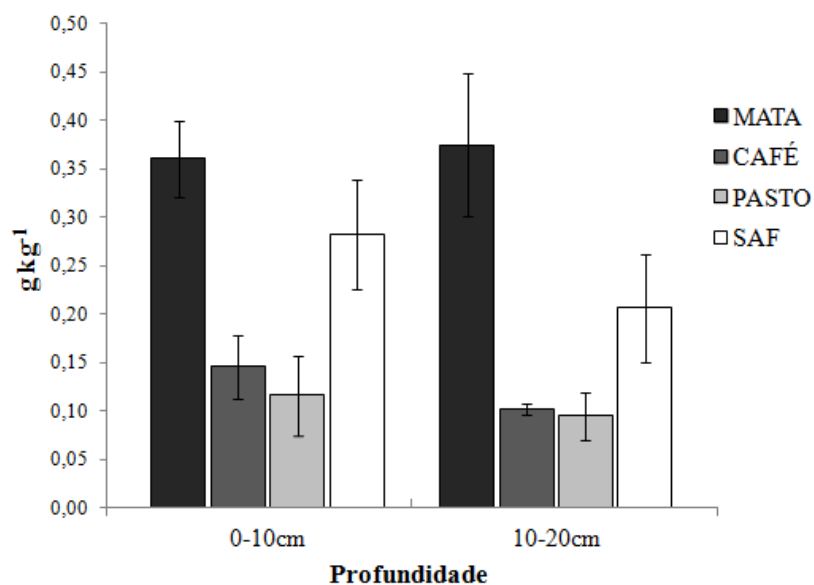


Figura 7 – Carbono da Biomassa Microbiana para diferentes sistemas de manejo do solo. Feliz Lembrança, Alegre – ES, 2013.

Na Figura 8 encontram-se os teores de carbono extraível em K_2SO_4 , os sistemas café ($0,02 \text{ g kg}^{-1}$) e pastagem ($0,05 \text{ g kg}^{-1}$) apresentaram os menores valores para a profundidade 0 – 10 cm. Os sistemas Mata e SAF apresentaram $0,09 \text{ g kg}^{-1}$ de carbono extraível. Para a profundidade 10 – 20 cm, o menor valor foi o do café convencional ($0,08 \text{ g kg}^{-1}$) sendo os outros sistemas $0,1 \text{ g kg}^{-1}$, podemos observar que todos os sistemas não diferiram estatisticamente entre si.

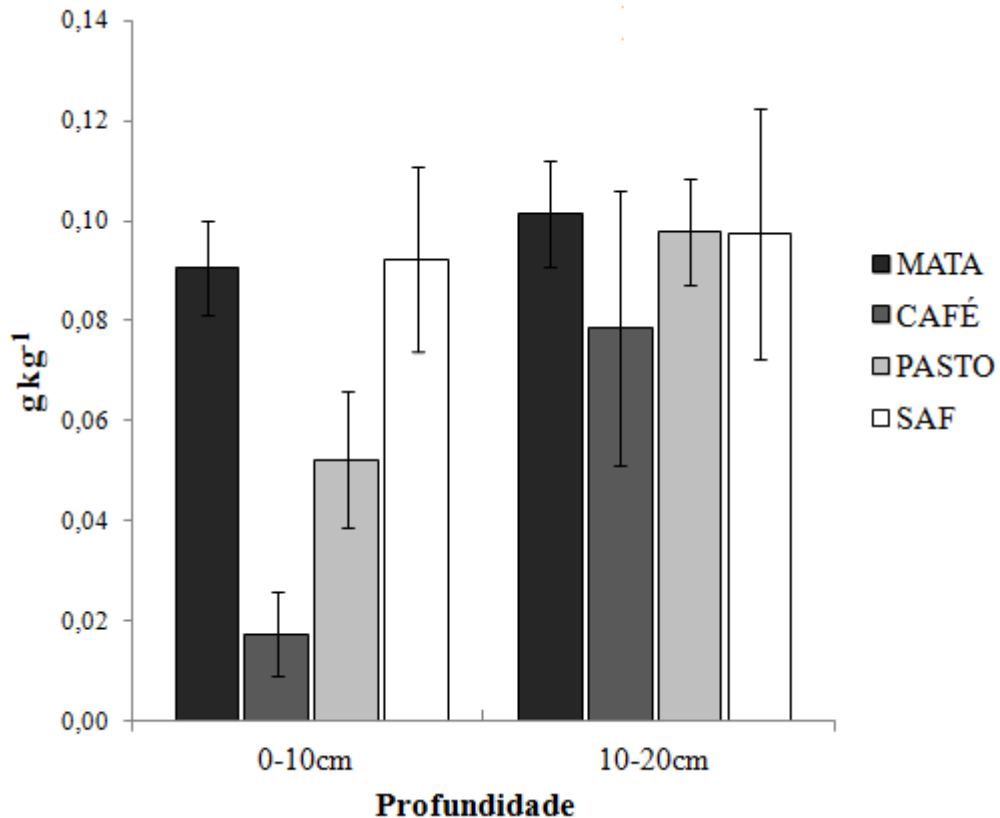


Figura 8 – Carbono extraível em K_2SO_4 para diferentes sistemas de manejo do solo. Feliz Lembrança, Alegre – ES, 2013.

Na Figura 9 encontram-se os dados de emissão de $C-CO_2$ para os diferentes sistemas de manejo. O SAF obteve menores valores para a emissão de CO_2 ($2,30 \text{ umol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), sendo o maior valor encontrado para o Café Convencional ($3,38 \text{ umol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). A variação entre os sistemas não foi tão acentuada (Mata = $2,97$ e Pasto = $2,78 \text{ umol/m}^2/\text{s}$), não havendo diferenças quando comparamos as barras do desvio padrão.

A Mata (1,3%) e o SAF (1,4%) obtiveram os menores valores de quociente metabólico (qCO_2) e o Café Convencional (3,9%) e Pastagem (3,9%) obtiveram os maiores valores, indicando que a Mata e o SAF se encontram em estabilidade já os

outros sistemas (Café e Pastagem) encontram-se com maior desequilíbrio ambiental, que promove maior gasto de energia para realizar as funções básicas do ecossistema (estressado) (Figura 10).

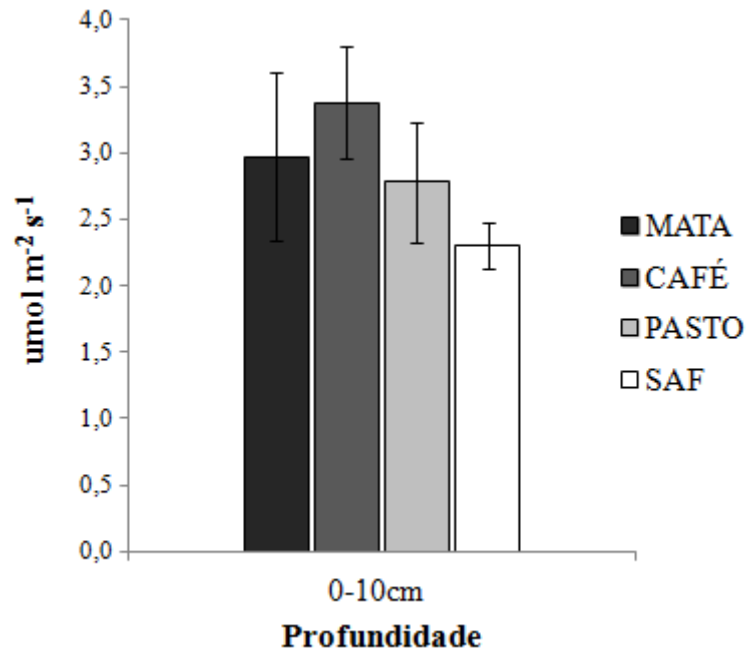


Figura 9 – Emissão de CO₂ para diferentes sistemas de manejo do solo. Feliz Lembrança, Alegre – ES, 2013.

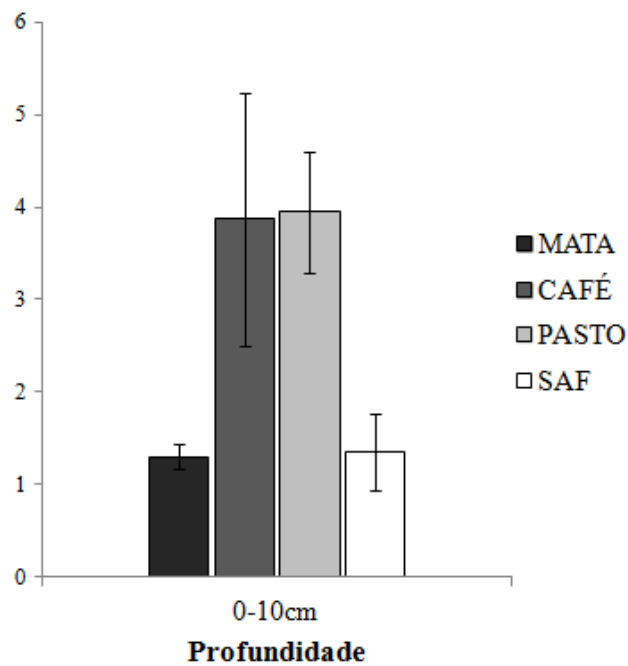


Figura 10 – Quociente Metabólico (qCO_2) para diferentes sistemas de manejo do solo. Feliz Lembrança, Alegre – ES, 2013.

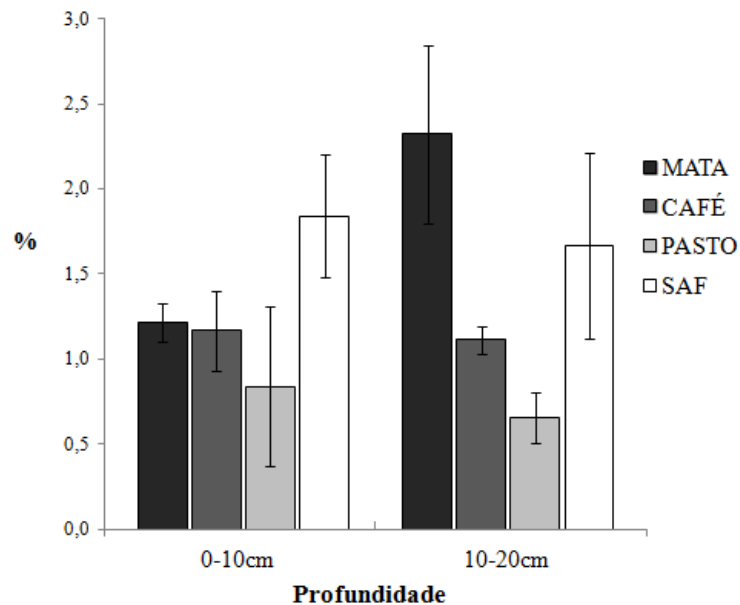


Figura 11 – Quociente Microbiano ($qMic$) para diferentes sistemas de manejo do solo. Feliz Lembrança, Alegre – ES, 2013.

Na Figura 11 encontram-se os valores do quociente microbiano ($qMic$). O SAF obteve os maiores valores de $qMic$, sendo 1,8% e 1,7%, respectivamente para a camada 0-10 cm e 10-20 cm. O café convencional e o pasto obtiveram os menores valores, variando entre 1,2% e 1,1% para o café e 0,8% e 0,7% para o pasto, nas camadas 0-10 cm e 10-20 cm.

Os resultados da correlação entre emissão de $C-CO_2$ e temperatura e as respectivas equações de regressão linear estão na Figura 12 e na Tabela 4. A temperatura dos sistemas variou entre 19°C, 23°C, 25°C e 26°C, respectivamente para os sistemas Mata, SAF, Pasto e Café.

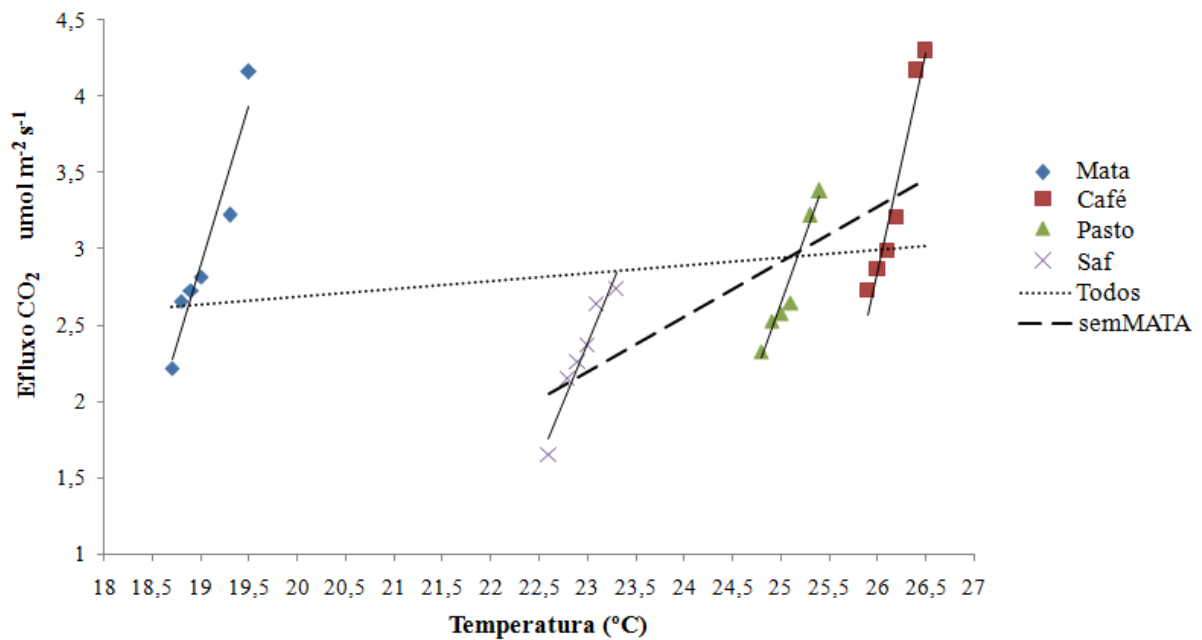


Figura 12 – Emissão de CO₂ em função da temperatura do solo para diferentes sistemas de manejo do solo, para todos os sistemas juntos e para todos os sistemas menos a Mata.

Tabela 4 – Equações de regressão (linear simples) para estimar Emissão de CO₂ em função da temperatura e respectivos coeficientes de correlação.

Sistemas de Manejo	ECO ₂ x T	
	Equação Ajustada	R ²
Mata	$\hat{E} = 2,0732 * T - 36,49$	0,9176*
Café	$\hat{E} = 2,8689 * T - 71,74$	0,9462*
Pasto	$\hat{E} = 1,7634 * T - 41,45$	0,9530*
Saf	$\hat{E} = 1,5610 * T - 33,52$	0,9450*
Todos	$\hat{E} = 0,0511 * T + 1,67$	0,0482 ^{ns}
semMATA	$\hat{E} = 0,3616 * T - 6,12$	0,5828*

\hat{E} = emissão de CO₂ estimada; T = temperatura; * significativo a 1% pelo teste T, e ns = não significativo.

Na tabela 5 são apresentadas as equações geradas através de correlação, sendo encontrada correlação significativa e negativa entre emissão de CO₂, COT e Cext, para os sistemas de manejo desconsiderando a Mata. Os modelos foram gerados para verificar se há correlação entre as variáveis e se a mudança de manejo no solo provoca alterações. Há correlações significativas e negativas entre as variáveis, emissão de CO₂, COT e Cext, mostrando que a mudança no manejo do solo provoca alterações.

Tabela 5 – Modelos de regressão (linear simples) para estimar Emissão de CO₂ em função do Carbono Orgânico Total (COT), Carbono da Biomassa Microbiana (CBM) e Carbono Solúvel em K₂SO₄ (Csol) e respectivos coeficientes de correlação.

Sistemas de Manejo	ECO ₂ x COT	
	Equação Ajustada	R ²
Todos	$\hat{E} = -0,0018\text{COT} + 2,8909$	- 0,0006 ^{ns}
semMATA	$\hat{E} = -0,2522\text{COT} + 6,4011$	- 0,7086 ^{**}
ECO ₂ x CBM		
Todos	$\hat{E} = -0,7244\text{CBM} + 3,0211$	- 0,0206 ^{ns}
semMATA	$\hat{E} = -3,4961\text{CBM} + 3,4539$	- 0,2799 ^{ns}
ECO ₂ x Cext		
Todos	$\hat{E} = -6,7764\text{Cext} + 3,2853$	- 0,1725 ^{ns}
semMATA	$\hat{E} = -11,475\text{Cext} + 3,4399$	- 0,4936 [*]

\hat{E} = emissão de CO₂ estimada; ** significativo a 1% e *significativo a 5% pelo teste T, e ns = não significativo.

5. DISCUSSÃO

A mata por se tratar de um ambiente mais estabilizado com grande aporte de matéria orgânica, através do acúmulo de serrapilheira, possui os maiores valores de COT e NT. Segundo LEITE et al. (2003), a decomposição dos resíduos orgânicos depositados ao longo do tempo é essencial no processo de adição de carbono orgânico no solo. O aumento de C orgânico é importante para a sustentabilidade do sistema, pela influência da matéria orgânica nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (SPARLING, 1997).

Em comparação com o trabalho de THOMAZINI et al. (2011), que avaliou o COT e NT para a mesma área florestal e sistemas de manejo, observamos que após 2 anos, em relação ao COT, houve aumento de 82,2% para a Mata, 18,9% para o Pasto, 7,7% para o SAF e redução de 9,2%, para o Café Convencional considerando a profundidade de 0-10 cm. Está redução nos teores de COT no Café Convencional está relacionada com a oxidação do C por meio do revolvimento do solo, a exposição solar das camadas superficiais, a retirada da vegetação pela capina química e a aplicação de fertilizantes de alta solubilidade.

A maior quantidade de NT no café convencional se comparado ao SAF está relacionada à aplicação de adubos nitrogenados neste sistema. No Café Convencional, o N é liberado de forma rápida, já no SAF, a liberação de N ocorre através da decomposição de resíduos, de forma mais lenta, mesmo assim não houve diferença significativa se compararmos as barras de desvio padrão da Figura 6.

A relação C/N do solo entre todos os sistemas variou de 8 a 17, estes valores indicam que o processo dominante nos agroecossistemas estudados é a mineralização. A baixa relação C/N favorece a decomposição da matéria orgânica e a liberação de nutrientes. PILON (2013); MATIAS (2009); PASSOS et al. (2007) encontraram valores semelhantes estudando diferentes sistemas agroflorestais agroecológicos, convencionais e naturais (Floresta Nativa).

De forma geral os estoques de C e N não variaram entre os sistemas de manejo, o SAF possui 16 anos de adoção e não apresentou efeito em relação aos estoques de C e N, podemos relacionar isto com o histórico de degradação área que foi café

convencional durante 20 anos (Figura 6 e Tabela 3). PILON (2013) e MATIAS (2009) em estudo de curto prazo também não encontraram diferenças significativas em relação ao aumento do estoque de C e N decorrentes do aporte de matéria orgânica presente no sistemas, já em estudos de longo prazo ÁVILA et al. (2001); DOSSA et al. (2008); HARMAND et al. (2006) mostraram que sistemas agroflorestais armazenam mais carbono do que solos sob sistemas convencionais.

Maiores valores de CBM indicam que a ciclagem de nutrientes deve ser intensa, possibilitando a fixação dos mesmos nesse compartimento da matéria orgânica, o que pode acarretar menores perdas de nutrientes. Diferentes sistemas de manejo do solo provocam mudanças nas formas de carbono orgânico do solo, o que altera a biomassa microbiana que é sensível a estas modificações (JÚNIOR & MELO, 1999; GLAESER et al., 2010; BAYER & BERTOL, 1999).

Os valores encontrados na Figura 7 indicam que a incorporação de resíduos vegetais, a diversificação, a manutenção da serrapilheira e o não revolvimento do solo nos sistemas Mata e SAF influenciaram positivamente no aumento do CBM, e contribuíram com a manutenção da umidade e temperatura do solo (GLAESER et al., 2010). Para os sistemas Café e Pasto a menor cobertura vegetal, o baixo aporte de matéria orgânica provenientes dos componentes arbóreos e a aplicação de agrotóxicos, limita o crescimento e atividade dos microorganismos (GLAESER et al., 2010; MATIAS, 2009; PILON, 2013; PASSOS et al., 2007).

Segundo MENDONÇA et al. (2001) pode-se comparar os valores de carbono extraível em K_2SO_4 (Cext) aos de carbono solúvel em água, devido a baixa capacidade do extrator de retirar C de compartimentos estáveis da matéria orgânica do solo. Os valores de Cext para Mata e SAF estão relacionados à elevada atividade da biomassa microbiana e o aporte constante de resíduos orgânicos. Os baixos valores de Cext no Café e Pasto na camada 0-10 cm estão relacionados ao menor aporte orgânico e à menor atividade microbiana causada pelos distúrbios sofridos pela capina química e a exposição solar direta. Os trabalhos de PASSOS et al. (2007) e PILON (2013) corroboram com estes resultados (Figura 8)

Para a camada 10-20 cm não houve diferença significativa entre os teores de Cext para todos os sistemas de manejo, devido a sua facilidade em ser lixiviado.

O Café e Pasto obtiveram o maior valor de emissão de C-CO₂ em relação ao SAF (Figura 9), isto se deve ao fato de que estes sistemas possuem menor biomassa microbiana e esta se encontra em desequilíbrio, liberando maiores teores de C para a atmosfera. Este comportamento é ampliado pela falta de cobertura vegetal, revolvimento do solo e a aplicação de fertilizantes e agrotóxicos de alta solubilidade no cafeeiro (BAYER e BERTOL, 1999; BALOTA et al., 1998; INSAM & DOMSCH, 1988).

Os dados indicam que os sistemas Café e Pastagem estão sob grande desequilíbrio (Figura 10 e 11), com distúrbios causados na biomassa microbiana devido à utilização de capina química, revolvimento do solo e a exposição solar, fazendo com que os microorganismos aumentem sua atividade celular desviando maior energia para este ciclo, o que acarreta em maior liberação de C-CO₂.

Este estresse do sistema pode ser caracterizado pela falta de cobertura vegetal, fazendo com que a incidência de raios solares seja maior acarretando em elevadas temperaturas e diminuição da umidade (MATIAS, 2009; INSAM & DOMSCH, 1988; GLAESER et al., 2010; PILON, 2013; XAVIER et al, 2006).

Altos teores de qMic (Figura 11) refletem alta atividade do compartimento vivo da matéria orgânica do solo, a eficiência do sistema em converter CBM em carbono disponível para o solo, e a contribuição da serrapilheira para aumentar a fração ativa da matéria orgânica (MATIAS, 2009; BALOTA et al. 1998; JÚNIOR & MELO, 1999; XAVIER et al. 2006; GLAESER et al., 2010; INSAM & DOMSCH, 1988). O SAF e a Mata apresentaram maior qMic, este resultado indica a eficiência destes sistemas na manutenção da ciclagem orgânica e de nutrientes do solo, contribuindo para maior disponibilidade de nutrientes para as plantas.

No Café e Pasto a falta de cobertura vegetal, a utilização de capina química e o revolvimento do solo associado aos ciclos de umedecimento e secagem são fatores que podem ter influenciado a redução da biomassa microbiana do solo, resultando em baixos valores de qMic. Estudando diferentes sistemas de manejo MATIAS (2009), BALOTA et al. (1998), JÚNIOR & MELO (1999), XAVIER et al. (2006) e GLAESER et al. (2010) encontraram valores semelhantes aos encontrados para a maioria dos sistemas de manejo.

De acordo com a Figura 12 e Tabela 4, dentro de cada sistema de manejo há correlação positiva da emissão do C-CO₂ com a temperatura do solo, mostrando que o aumento da temperatura acarreta aumento da emissão de C-CO₂. Estas correlações indicam que a manutenção da temperatura do solo em condições mais amenas devido ao acúmulo de serrapilheira no SAF e a consequente não exposição do solo aos raios solares favorece menor emissão de CO₂ do solo.

Quando correlacionado todos os sistemas juntos (Tabela 5), não há correlação significativa, devido à mata apresentar baixa temperatura e alta emissão de CO₂ se comparado ao Café. Esse comportamento indica que não é só a temperatura que influencia na emissão de CO₂, mas também o COT e o CBM, sendo que a Mata apresentou altos teores de COT e CBM. Quando correlacionado somente os sistemas de manejo sem a Mata, observamos uma correlação positiva significativa (Figura 13 e Tabela 3). Em estudo em solos na Antártica, MENDONÇA (2010) e CARVALHO (2012), e no Espírito Santo, PILON (2013) encontraram semelhanças nas correlações entre emissão de CO₂ e temperatura do solo.

Para os sistemas da Tabela 5 (Todos e sem Mata) podemos inferir que a dinâmica do COT e do Cext são decorrentes das práticas de manejo cada sistema em separado (Mata, Café, Pasto e SAF), o que altera os teores COT e do CBM dos mesmo, acarretando outro padrão de resposta na emissão de CO₂ nos sistemas e consequentemente na liberação de C do solo para a atmosfera. Podemos observar que para o sistema Todos da Tabela 5 não há relação significativa, mas para o semMata possui, corroborando que a mudança em sistemas de manejo altera a dinâmica de liberação de C do solo.

6. CONCLUSÕES

O SAF estudado apresentou teores de carbono orgânico total, relação C/N, carbono da biomassa microbiana, carbono solúvel, emissão de CO₂, quociente microbiano e quociente metabólico semelhante ao dos sistemas naturais. Para o estoque de C e N são necessários estudos de longo prazo para determinar se os SAF's contribuem para o aumento destes.

O acúmulo de serrapilheira, a manutenção da cobertura vegetal, o baixo revolvimento do solo, a diversificação de espécies e a não utilização de insumos químicos são formas de manejo que favorecem o aumento da atividade microbiana. Esse acúmulo promove aumento nos teores das frações orgânicas do carbono do solo, contribuindo para a manutenção da biota, e, conseqüente, aumento na qualidade biológica, química e física dos solos.

Há correlação positiva para os sistemas de manejo entre a temperatura do solo e a emissão de CO₂, sendo a serrapilheira um importante fator para diminuir a temperatura do solo. Para a Mata essa correlação pode ser alterada por outros fatores como o carbono orgânico total e o carbono da biomassa microbiana.

Os diferentes sistemas de manejo estudados influenciaram na emissão de CO₂ pelo solo, o SAF se mostrou eficiente para diminuir as emissões de CO₂, liberando menos carbono do solo, sendo uma alternativa de manejo que relaciona produção de alimentos e mitigação das causas do efeito estufa.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, L. M. **Sistemas Agroflorestais (SAF's) na restauração de ambientes degradados**. 2009. 18 pg. Estágio Docência - Programa de Pós-graduação em Ecologia Aplicada ao Manejo e Conservação de Recursos Naturais, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2009.
- ANDERSON, J.P.E. & DOMSCH, K.H. The metabolic quotient for CO₂ (qCO₂) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology & Biochemistry**, v.25,p.393-395, 1996.
- ANDERSON, L. S. & SINCLAIR, F. L. Ecological interactions in agroforestry systems. **Forestry Abstracts**. Wallingford, v. 54, n. 6, p. 489-523, June 1993.
- BATOLA, E. L. et al. Biomassa Microbiana e sua Atividade em Solos sob Diferentes Sistemas de Preparo e Sucessão de Culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v 22, pg 641-649, 1998.
- BAYER, C. & BERTOL, I. Características Químicas de um Cambissolo Húmico Afetadas por Sistemas de Preparo, Com Ênfase à Matéria Orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v 23, pg 687-694, 1999.
- BAYER, C. et al. **Potencial de Acúmulo de Matéria Orgânica no Solo em Sistemas Conservacionistas de Manejo na Região Sul do Brasil**. 2004. Disponível em: <[http://www.ipni.org.br/ppiweb/pbrazil.nsf/926048f0196c9d4285256983005c64de/4383886f1e5cffcc83256c700057f5dd/\\$FILE/Anais%20Cim%C3%A9rio%20Bayer.doc](http://www.ipni.org.br/ppiweb/pbrazil.nsf/926048f0196c9d4285256983005c64de/4383886f1e5cffcc83256c700057f5dd/$FILE/Anais%20Cim%C3%A9rio%20Bayer.doc)> . Acesso em: 22 fev. 2013.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – EMBRAPA. **Coleção 500 Perguntas 500 Respostas: Produção Orgânica de Hortaliças**. 1º Ed, 308 pg. Brasília – DF, 2007.
- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Agrário. Manual Agroflorestal para a Mata Atlântica. 2008. Disponível em: <http://portal.mda.gov.br/portal/saf/arquivos/view/ater/livros/Manual_Agroflorestal.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2013.
- BRASIL. Ministério de Ciência e Tecnologia. **Inventário brasileiro das emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa**. 2009. Disponível em: <[http://www.cntdespoluir.org.br/Documents/PDFs/Invent%C3%A1rio%20brasileiro%20de%20emiss%C3%B5es%20de%20GHG%20\(2009\)%20-%20Preliminar.pdf](http://www.cntdespoluir.org.br/Documents/PDFs/Invent%C3%A1rio%20brasileiro%20de%20emiss%C3%B5es%20de%20GHG%20(2009)%20-%20Preliminar.pdf)>. Acesso em: 22 fev. 2013.
- BRUCE, J.P. et al. **Carbon sequestration in soils**. Journal Soil Water and Conservation, v.54, p.382-389, 1999.
- CARVALHO, J. V. de S. et al. CO₂-C losses and carbon quality of selected Maritime Antarctic soils. **Antarctic Science**. n.1, p.1-8, 2012.

CERRI, C. C. & CERRI, C. E. P. Agricultura e Aquecimento Global. **Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 32, p. 40-44, 2007.

CHAVEZ, L. F. **Emissões de CO₂ do Solo sob Preparo Convencional e Plantio Direto Em Latossolo Vermelho do Rio Grande Do Sul**. 2008. 80 pg. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Programa de Pós- Graduação em Ciência do solo, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

COUTO, L. O estado da arte de sistemas agroflorestais no Brasil. In: **CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO**, 6., 1990, Campos do Jordão. Anais. Campos do Jordão: SBS/SBEF, 1990. p. 94-98.

CORAZZA, E. J. et al. Comportamento de Diferentes Sistemas de Manejo como Fonte ou depósito de Carbono Em Relação à Vegetação de Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v 23, pg. 425-432, 1999.

DANIEL, O. et al. Proposta de um Conjunto Mínimo de Indicadores Biofísicos para o Monitoramento da Sustentabilidade em Sistemas Agroflorestais. **CERNE**, V.7, N.1, P.041-053, 2001.

DEFELIPO, B.V. & RIBEIRO, A.C. Análise química do solo. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1981. 17p. (Boletim Extensão, 29).

DOSSA, E.L.; FERNANDES E.C.M.; REID W.S. Above- and belowground biomass, nutrient and carbon stocks contrasting an open-grown and a shaded coffee plantation. **Agroforestry Systems**, v.72, p.103–115, 2008.

ESCOBAR, L. F. **Emissão de Gases de Efeito Estufa em Sistemas de Manejo em Solo do Planalto médio do Rio Grande do Sul**. 2008. 130 pg. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Programa de Pós- Graduação em Ciência do solo, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

FERNANDES, F. A. & FERNANDES, A. H. B. M. **Cálculo dos estoques de carbono do solo sob diferentes condições de manejo**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2009. 4 p. (Embrapa Pantanal. Comunicado Técnico, 69). Disponível em: <http://www.cpap.embrapa.br/publicacoes/download.php?arq_pdf=COT69>. Acesso em: 27 fev. 2009

GLAESER, D. F. et al. Biomassa Microbiana do Solo sob Sistemas de Manejo Orgânico em Cultivos de Café. **Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde**, v 14, nº 2, pg. 103-114, 2010.

HARMAND, J.M. et al. **Carbon sequestration in coffee agroforestry plantations of Central America**. In: Proceedings of the 21st international conference on coffee science (ASIC). CIRAD, Montpellier, France, 2006.

HERNANI L. C. et al. Sistemas de Manejo de Solo e Perdas de Nutrientes e Matéria Orgânica por Erosão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v 23, pg. 145-154, 1999.

INSAM, H. & DOMSCH, K.H. Relationship between soil organic carbon and microbial biomass on chronosequences of reclamation sites. **Microb. Ecol.**, 15:177-188, 1988.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL OF CLIMATE CHANGE. The Physical Science Basis **Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Paris, 2007, 21 p.

JÚNIOR, M. M. & MELO, W. J. Carbono, Carbono da Biomassa Microbiana e Atividade Enzimática em um Solo sob Mata Natural, Pastagem e Cultura do Algodoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v 23, pg. 257-263, 1999.

LEITE, L. F. C. et al. Total C and N storage and organic C pools of a Red-Yellow podzolic under conventional and no tillage at the Atlantic forest zone, Southeastern Brazil. **Australian Journal of Soil Research**, v. 41, n. 4, p. 717-730, 2003.

MARENGO, J. & SOARES, W.: **Impacto das modificações da mudança climática- Síntese do Terceiro Relatório do IPCC**. Condições climáticas e recursos hídricos no Norte do Brasil. Chapter 6 in *Clima e Recursos Hídricos 9*. Associação Brasileira de Recursos Hídricos/FBMC-ANA. Porto Alegre, Brasil, 2003, pp 209-233.

MATIAS, M. da C. B. da S. Biomassa microbiana e estoques de C e N do solo em diferentes sistemas de manejo, no Cerrado do Estado do Piauí. **Acta Scientiarum. Agronomy**. V. 31, n. 3, p. 517-521, 2009.

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

MENDONÇA, E. S. et al. Spatial variability models of CO₂ emissions from soils colonized by grass (*Deschampsia antarctica*) and moss (*Sanionia uncinata*) in Admiralty Bay, King George Island. **Antarctic Science**. v. 23, n.1, p.27-33, 2010.

MENDONÇA, E. S. et al. Carbono orgânico extraído por soluções salinas y su relación con otras formas de carbono de suelos tropicales. **Agrociencia**, Texcoco. v.35, n.4, p.397-406, 2001.

NEMA. Núcleo de Educação e Monitoramento Ambiental - **Agroecologia: um caminho amigável de conservação da natureza e valorização da vida**. Rio Grande: NEMA, 2008.

OLIVEIRA, T. L. C. **Sistemas Agroflorestais: Perspectivas de Uso em Propriedades Rurais na Região de Caciaia, Piraí-Rj**. 2011. 54 pg. Monografia (Curso Engenharia Florestal) – Instituto de Floresta, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2011.

PAIVA, A. O. & FARIA, G. E. Estoque de carbono do solo sob cerrado sensu stricto no Distrito Federal, Brasil. **Revista Trópica – Ciências Agrárias e Biológicas**. v.1, n. 1, p. 59, 2007.

PASSOS, R. R. et al. Carbono Orgânico e Nitrogênio em Agregados de um Latossolo Vermelho Distrófico Sob duas Coberturas Vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v 32, pg. 1109-1118, 2007.

PILON, L. C. **Atributos de um Argissolo Amarelo Coeso sob Cultivo de Cafeeiro a Pleno Sol e Consorciado com Espécies Arbóreas**. 2013. 102 pg. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal), Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2013.

PULROLNIK, K. **Transformações do carbono no solo**. Documentos, Embrapa Cerrados, 36p. Planaltina – DF, 2009.

SPARLING, G. P. Soil microbial biomass, activity and nutrient cycling as indicators of soil health. In: PANKHURST, C.; DOUBE, B. M.; GUPTA, V. V. S. R. (Ed.). **Biological indicators of soil health**. Cambridge: CAB International, p. 97-120, 1997.

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

STEVENSON, F.J. **Humus Chemistry: genesis, composition and reactions**. 2.ed. New York, Willey & Sons Inc., 1994. 496p.

SWIFT, R.S. **Sequestration of carbon by soil**. Soil Science, v.166, p.858-871, 2001.

TANIMOTO, A. H. et al., **As Emissões Antropogênicas Pré-Revolução Industrial Afetando o Clima do Planeta**. In: Encontro Nacional da Anppas, IV, 2008. Brasília, Distrito Federal.

THOMAZINI, A. et al. In: Encontro Latino Americano de Iniciação Científica, 15, 2011. **Determinação de Alguns Atributos Químicos do Solo em Diferentes Sistemas de Manejo no Sul Capixaba**.

VALERI, S.V. et al (Ed.). **Manejo e recuperação Florestal**. Jaboticabal, Funep. 2003, 180p.

XAVIER, F. A. S. et al. Biomassa Microbiana e Matéria Orgânica Leve em Solos sob Sistemas Agrícolas Orgânico e Convencional na Chapada da Ibiapaba – CE. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v 30, pg. 247-258, 2006.