

**CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA
ORGÂNICA COMO SUBSÍDIO AO ESTUDO
DA FORMAÇÃO DE HORIZONTE
SUPERFICIAL EM SOLOS SOB CULTIVO
MÍNIMO DE EUCALIPTO**

ELEN ALVARENGA DE JESUS

2009

ELEN ALVARENGA DE JESUS

**CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA
COMO SUBSÍDIO AO ESTUDO DA FORMAÇÃO DE
HORIZONTE SUPERFICIAL EM SOLOS SOB
CULTIVO MÍNIMO DE EUCALIPTO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, para a obtenção do título de “Mestre”.

Orientador
Prof. Dr. Nilton Curi

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL
2009

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Jesus, Elen Alvarenga de.

Caracterização da matéria orgânica como subsídio ao estudo da formação de horizonte superficial em solos sob cultivo mínimo de eucalipto / Elen Alvarenga de Jesus. – Lavras : UFLA, 2009.

54 p. : il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2009.

Orientador: Nilton Curi.

Bibliografia.

1. Matéria orgânica do solo. 2. Eucalipto. 3. Horizonte superficial. 4. Recuperação de áreas degradadas. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 631.417

ELEN ALVARENGA DE JESUS

**CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA
COMO SUBSÍDIO AO ESTUDO DA FORMAÇÃO DE
HORIZONTE SUPERFICIAL EM SOLOS SOB
CULTIVO MÍNIMO DE EUCALIPTO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, para a obtenção do título de “Mestre”.

Aprovada em 20 de fevereiro de 2009

Prof. Dr. Carlos Alberto Silva	UFLA
Prof. Dr. João José Granate de Sá e Melo Marques	UFLA
Prof. Dr. Mário César Guerreiro	UFLA

Prof. Dr. Nilton Curi
UFLA
(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL

A DEUS,
toda honra, toda glória e todo louvor.

Aos meus pais, **Nelson e Maria**, por todo amor e dedicação e por acreditarem nos meus sonhos e aos meus irmãos, **Tamar e Heider**, eu amo vocês.

Ao meu esposo, **Elias Jr.**, por toda a paciência, carinho e por estar ao meu lado em todos os momentos.

Ofereço

AGRADECIMENTOS

A Deus, meu Senhor, guia e protetor. OBRIGADA!

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Ciência do Solo, pela oportunidade.

À Fapemig, pela concessão da bolsa de estudos e à Aracruz Celulose S. A., unidade Guaíba na pessoa do pesquisador Elias Frank de Araújo, pelo financiamento e apoio na pesquisa.

Ao professor Nilton Curi, pela paciência, credibilidade, orientação e valiosas sugestões.

Ao professor Carlos Alberto Silva, pela co-orientação e auxílio nos trabalhos de laboratório.

Aos professores João José Marques, Carlos Alberto Silva e Mário César Guerreiro, membros da banca examinadora, pelas valiosas sugestões.

Ao professor da UFV, Ivo Ribeiro Silva, pelo apoio no fornecimento de material bibliográfico e na realização de análises de ¹³C.

Aos meus fiéis ajudantes Samara e Sérgio Henrique, pela dedicação e responsabilidade nos trabalhos.

Ao João Gualberto, Carlinhos e Hilton, pela ajuda nos trabalhos de laboratório e a Daniela Andrade, pela dedicação e amizade.

A todos os funcionários do Departamento de Ciência do Solo que contribuíram para a realização deste trabalho

A todos os colegas de pós-graduação, pela amizade, consideração e também pelos momentos de descontração.

Aos amigos Geila, Ana Luiza, Michele, Luiz Gustavo, Ênio, Euzelina, Gabriela e Cezar, pelo companheirismo e ajuda nos momentos especiais.

A minha família, por ser meu porto seguro e ao meu esposo, por acreditar nos meus sonhos e fazer parte das minhas conquistas.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS.....	i
LISTA DE FIGURA.....	ii
RESUMO.....	iv
ABSTRACT.....	v
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	3
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	9
3.1 Determinação do teor de carbono orgânico.....	13
3.2 Fracionamento de substâncias húmicas.....	13
3.3 Determinação do teor de carbono nas frações ácido húmico e ácido fúlvico.....	14
3.4 Determinação do teor de carbono na fração humina.....	15
3.5 Tratamento dos resíduos gerados.....	16
3.6 Análise estatística.....	16
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	18
5 CONCLUSÕES.....	40
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	41
ANEXOS.....	47

LISTA DE TABELAS

Tabela		Página
1	Histórico de uso das áreas de coletas de amostras de solo nos diferentes hortos florestais.....	12
2	Quadrados médios residuais, de parcela e sub-parcela, para cada uma das variáveis em estudo e razão entre maior e menor variância.....	17
3	Atributos químicos dos hortos florestais, matas e pastagens estudadas.....	19
4	Análise de micronutrientes e nitrogênio dos solos dos HF, matas e pastagens estudados.....	23
5	Características Granulométricas dos solos estudados.....	27
6	Índice de humificação calculados para os solos dos diferentes HFs, matas e pastagens.....	39

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Foto de um perfil de coleta de amostras de solo. Circulado em vermelho, horizonte A em formação; logo abaixo, horizonte ntermediário.....	10
2	Teores de Carbono Orgânico dos HFs Terra Dura, Canafistula e matas adjacentes. Situações TI = 1, TMI = 2, TMS = 3, TS = 4 e Mata nativa = 5. Médias seguidas de mesma letra minúscula nas três profundidades de cada situação e maiúscula entre as situações com mesma profundidade não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott com nível nominal de significância de 5%.....	31
3	Teores de Carbono Orgânico dos HFs Sanga das Pedras, mata adjacente e pastagens. Situações TI = 1, TMI = 2, TMS = 3, TS = 4, Mata nativa = 5, PN = Pastagem nativa.e PP = Pastagem plantada. Médias seguidas de mesma letra minúscula nas três profundidades de cada situação e maiúscula entre as situações com mesma profundidade não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott com nível nominal de significância de 5%.....	32
4	Porcentagem de carbono na forma de ácido fúlvico e húmico em relação ao CO para o HF Terra Dura. Situações TI = 1, TMI = 2, TMS = 3, TS = 4 e Mata nativa = 5. Médias seguidas de mesma letra minúscula nas três profundidades de cada situação e maiúscula entre as situações com mesma profundidade não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott com nível nominal de significância de 5%.....	35

5	Porcentagem de carbono na forma de ácido fúlvico e húmico em relação ao CO para o HF Canafistula. Situações TI = 1, TMI = 2, TMS = 3, TS = 4 e Mata nativa = 5. Médias seguidas de mesma letra minúscula nas três profundidades de cada situação e maiúscula entre as situações com mesma profundidade não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott com nível nominal de significância de 5%.....	36
6	Porcentagem de carbono na forma de ácido fúlvico e húmico em relação ao CO para o HF Sanga das Pedras. Situações TI = 1, TMI = 2, TMS = 3, TS = 4 e Mata nativa = 5. Médias seguidas de mesma letra minúscula nas três profundidades de cada situação e maiúscula entre as situações com mesma profundidade não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott com nível nominal de significância de 5%.....	37
7	Porcentagem de carbono na forma de ácido fúlvico e húmico em relação ao CO para a pastagem nativa e plantada. PN = Pastagem nativa e PP = Pastagem plantada	38

RESUMO

JESUS, Elen Alvarenga. **Caracterização da matéria orgânica como subsídio ao estudo da formação de horizonte superficial em solos sob cultivo mínimo de eucalipto**. 2009. 54p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG¹.

No Brasil, boa parte dos plantios florestais tem sido realizada em áreas nas quais o solo se encontra em algum grau de degradação física, química ou biológica. A proteção fornecida pelas copas das árvores dessas plantações florestais e pela cobertura do solo, em função da deposição de serrapilheira, constitui um dos processos mais importantes na recuperação de áreas degradadas e, como a matéria orgânica controla muitas das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, ela se caracteriza como um fator-chave na manutenção de sistemas florestais. Neste contexto, este trabalho foi realizado com o objetivo caracterizar a matéria orgânica como apoio à hipótese da formação de horizonte superficial em solos sob cultivo mínimo de eucalipto. O estudo foi realizado em hortos florestais (HFs) plantados com eucalipto no estado do Rio Grande do Sul. As amostras foram coletadas em três hortos com diferentes históricos de uso, nas profundidades de 0-5, 5-20 e 20-40 cm. Na profundidade de 0-5 cm, a maioria dos Argissolos dos HFs apresentou teores de CO superiores aos de referência (mata nativa adjacente), indicando a formação de um novo horizonte A devido ao aporte de serrapilheira. Os Cambissolos do HF Canafístula não seguiram esta tendência devido apresentarem um horizonte A húmico sob mata nativa adjacente. Ocorreu um incremento nos teores de C-FAH na maior parte dos solos dos HFs em profundidade, corroborando as observações e medições de campo que apontaram para a ocorrência de um horizonte A enterrado. As observações e medições de campo, os dados de CO e de fracionamento químico da matéria orgânica do solo (C-FAH) evidenciaram a importância do cultivo mínimo na busca da sustentabilidade da exploração florestal.

¹Comitê Orientador: Nilton Curi – DCS/UFLA, Carlos Alberto Silva – DCS/UFLA e João José Marques – DCS/UFLA.

ABSTRACT

JESUS, Elen Alvarenga. **Characterization of organic matter as support to the study of the formation of surface horizon in soils under minimum cultivation of eucalyptus.** 2009. 54p. Dissertation (M. Sc. in Soil Science) – Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, Brazil¹.

In Brazil, a substantial part of the forest plantations has been undertaken in areas in which the soil presents some degree of physical, chemical or biological degradation. The protection provided by tree canopy of forest plantations and soil cover, as a function of the deposition of litter, is one of the most important processes in the recovery of degraded areas, and as the organic matter controls much of the physical, chemical and biological soil properties, it is characterized as a key factor in the maintenance of forest ecosystems. In this context, this study aimed to characterize the organic matter as support to the hypothesis of the formation of surface horizon in soils under minimum cultivation of eucalyptus. The study was conducted in forest gardens planted with eucalyptus in Rio Grande do Sul. The samples were collected in three gardens with different historicals of use, at 0-5, 5-20 and 20-40 cm depths. At the 0-5 cm depth, the majority of Argisols (Ultisols) from the forest gardens presented OC contents higher than those from the native vegetation (referential), indicating the formation of a new A horizon due to the litter contribution. The Cambisols (Inceptisols) of Canafístula garden did not follow this trend because they present an humic horizon under native vegetation. These was an increment in C-HAF in depth in the major part of the garden soils, corroborating the field observations and measurements which pointed out for the occurrence of a buried A horizon. The field observations and measurements, the OC and chemical fractionation of organic matter (C-HAF) data evidenced the importance of the minimum cultivation in searching the forestry exploration sustainability.

¹ Guiddance Commite: Nilton Curi – DCS/UFLA, Carlos Alberto Silva – DCS/UFLA e João José Marques – DCS/UFLA.

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, boa parte dos plantios florestais é realizada em áreas nas quais os solos apresentam algum grau de degradação física, química ou biológica. O cultivo de eucalipto e de outras espécies florestais, portanto, pode representar uma alternativa de recuperação dessas áreas. Isso porque a cobertura do solo, pelo aporte de serrapilheira, constitui um dos processos mais importantes na recuperação de áreas degradadas e a entrada e o incremento da matéria orgânica no solo têm ação direta e efetiva na busca da sustentabilidade ambiental.

A matéria orgânica controla, em grande parte, as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, sendo citada como um dos principais indicadores da qualidade do solo. Por isso, caracteriza-se como um fator-chave na manutenção de sistemas florestais. O incremento de matéria orgânica depende, principalmente, do balanço de processos que levam à decomposição do carbono (C) em relação aos que propiciam maior aporte do elemento no solo.

A matéria orgânica do solo é constituída por uma mistura de resíduos em vários estágios de decomposição e a separação química torna-se de grande ajuda na sua caracterização. Das formas de carbono encontradas no solo, destacam-se as frações ácidos húmicos, ácidos fúlvicos e humina, cujas quantidades regulam a qualidade do solo, pela sua interação com as frações minerais.

Por ocasião do levantamento de solos em vários hortos florestais (HFs) no Rio Grande do Sul, realizados pela equipe do DCS-UFLA, notou-se a presença de um horizonte A enterrado em alguns desses HFs. Essas observações indicam que, antes do plantio do eucalipto, os mesmos estavam em estado de degradação, mas, com o plantio do eucalipto, está ocorrendo a formação de um novo horizonte A, ainda incipiente (5 cm), às custas da serrapilheira. Dessa forma, é bastante razoável admitir que o reflorestamento, com adoção do cultivo

mínimo, nessas áreas anteriormente degradadas, está contribuindo para a recuperação dessas áreas, gerada, principalmente, pelo aumento do teor de carbono, pela maior infiltração de água e pela restauração da atividade microbiana do solo. Segundo Chaer & Tótola (2007), a sustentabilidade da atividade florestal está diretamente relacionada à conservação do solo e o acúmulo de carbono traz benefícios, pois pode restaurar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (Vezzani et al., 2008; Siqueira et al., 2008).

Assim este trabalho foi realizado com o objetivo de caracterizar a matéria orgânica como apoio à hipótese da formação de horizonte superficial em solos sob cultivo mínimo de eucalipto.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

As florestas plantadas são fundamentais, do ponto de vista ecológico, principalmente no Brasil, onde boa parte dos plantios são realizados em áreas já algo devastadas pelo cultivo agrícola ou pastagens e o solo se encontra em algum grau de degradação física, química e biológica, em função da remoção total ou parcial do horizonte superficial, juntamente com a matéria orgânica. Portanto, essas florestas plantadas representam uma alternativa de recuperação dessas áreas, além de colaborar com o sequestro de gás carbônico da atmosfera (Barros & Comerford, 2002; Duda et al., 1999).

Entre as espécies florestais plantadas no Brasil, o eucalipto tem sido a principal nos programas de reflorestamento (Gama-Rodrigues, 2005). A área total com florestas plantadas chega a 5,6 milhões de hectares, dos quais 3,7 milhões são cultivados com eucalipto (Associação Brasileira de Produtores de Florestas, ABRAF, 2008). Segundo dados desta agência houve um aumento de 10,1%, de 2005 para 2007, no plantio de eucalipto em todo o território brasileiro, sendo Minas Gerais o estado com maior área plantada, com cerca de 1,1 milhão de hectares, seguido de São Paulo, Bahia e Rio Grande do Sul, com 813, 550 e 222 mil hectares, respectivamente.

O valor bruto da produção do setor de florestas plantadas alcançou 49,8 bilhões de reais, em 2007. Somente esse setor gerou, no mesmo ano, aproximadamente 4,6 milhões de empregos diretos e indiretos (ABRAF, 2008). Esses dados demonstram o fortalecimento desse setor na atividade econômica do país.

No Brasil, o plantio de florestas é destinado, principalmente, à produção de madeira para o uso industrial. Assim, fica clara a importância de se ter a floresta plantada como principal fonte de madeira e produtos para transformação industrial e, dessa forma, proteger as florestas nativas ainda existentes. Diante

desse fato, a manutenção da qualidade do solo é vital para se atingir a sustentabilidade florestal e atender à demanda crescente de produtos, bens e serviços da plantação florestal (Barros & Comerford, 2002).

A degradação do solo ocorre quando a camada superficial é removida ou enterrada e o sistema hídrico é alterado, causando mudanças no ecossistema e tornando difícil a exploração sócio-econômica e ambiental da área. Segundo dados da Food and Agriculture Organization, FAO (2003), 28% da área total do Brasil se encontra em estado de degradação severa a muito severa, causada, principalmente, pelo desflorestamento e pela agricultura. Todos esses processos degradadores estão associados à deterioração dos atributos físicos, químicos e biológicos que garantem a qualidade do solo (Siqueira et al., 2008).

A sustentabilidade das plantações florestais depende, principalmente, do sistema e da intensidade de manejo a elas aplicadas. O manejo dessas florestas tem forte efeito, por exemplo, na quantidade e na qualidade de água que penetra e é armazenada no solo. Ao estudar o impacto do manejo de resíduos orgânicos durante a reforma de plantios de eucalipto sobre os indicadores da qualidade do solo, Chaer & Tótola (2007) concluíram que as áreas submetidas a sistemas de implantação que priorizam a manutenção da camada orgânica do solo agruparam-se mais próximas da área referência de qualidade contendo vegetação nativa. Bayer et al. (2000) também ressaltaram que o aumento dos estoques de matéria orgânica do solo (MOS), gerado pela adoção de sistemas de manejo sem revolvimento do solo, além da expressiva melhoria da qualidade do solo, resulta na retirada de gás carbônico da atmosfera.

A adoção do cultivo mínimo, com o preparo do solo restrito às linhas de plantio, mantém a cobertura vegetal sobre o solo e, como a matéria orgânica controla muitas das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, ela se caracteriza como um fator-chave na manutenção de sistemas florestais. O declínio da quantidade e da qualidade da matéria orgânica afeta a qualidade do

solo, aumentando o risco de compactação, erosão e também gera alterações no suprimento de água e nutrientes (Siqueira et al., 2008; Silva et al., 2006; Barros & Comerford, 2002).

A proteção fornecida pelas copas das árvores dessas plantações florestais e a cobertura do solo, pelo aporte de serrapilheira, constituem processos importantes na recuperação de áreas degradadas. A entrada e o incremento da matéria orgânica no solo têm ação direta e efetiva na redução da erosão hídrica, pois promove a dissipação da energia cinética das gotas de chuva, diminuindo a desagregação das partículas de solo e o encrostamento e, conseqüentemente, aumenta a infiltração de água (Barbosa & Faria, 2006; Pires et al., 2006).

Ao avaliar as perdas de solo e água em diferentes sistemas de manejo de florestas de eucalipto, Pires et al. (2006) constataram valores muito baixos de perdas de solo no eucalipto plantado em nível, aproximando-se dos da floresta nativa, indicando a sustentabilidade desse sistema de manejo quanto à erosão hídrica. Da mesma forma, Leite et al. (1997), ao compararem o conteúdo de água do solo sob eucalipto e sob mata secundária nativa, não verificaram diferença significativa entre os valores encontrados. Braida et al. (2008), estudando a recuperação da estrutura do solo em função da umidade e do teor de carbono, concluíram que o aumento da resistência à compactação está associado ao aumento do teor de C do solo.

Em plantações florestais, o fluxo de água e de nutrientes se mostra dependente do ciclo do carbono e o teor de matéria orgânica do solo é, com muita frequência, citado como um dos principais indicadores da sua qualidade, uma vez que as funções que ela exerce estão intimamente associadas com as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (Vezzani et al., 2008; Siqueira et al., 2008; Barros & Comerford, 2002).

A matéria orgânica do solo atua diretamente na estruturação e na estabilidade dos agregados e contribui para aumentar a retenção de água,

complexar metais pesados, estabilizar o pH do solo e aumentar a capacidade de troca catiônica (CTC) (Barros & Comerford, 2002; Siqueira et al., 2008). Devido ao conjunto desses fatores benéficos, a perda da matéria orgânica compromete as funções vitais do solo, levando à queda da produtividade e à degradação das terras agrícolas. Por isso, a adoção de práticas que resultem em deposição de carbono ao solo pode reverter a tendência de degradação e promover a recuperação de áreas degradadas (Siqueira et al., 2008).

Em solos sob vegetação nativa, o conteúdo de matéria orgânica encontra-se estável. Todavia, o uso agrícola altera esse conteúdo, causando redução acentuada no teor de matéria orgânica, quando se utiliza o preparo intensivo, revolvimento e sistemas de cultura com baixa adição de resíduos (Leite et al., 2003; Andréa et al., 2004; Rangel & Silva, 2007; Bayer & Mielniczuk, 2008). Como, no Brasil, boa parte dos reflorestamentos tem sido feita em áreas já algo degradadas pela agricultura ou pastagens, a implementação do reflorestamento em sistemas de cultivo mínimo pode contribuir para o aumento do teor de matéria orgânica.

Os estoques de matéria orgânica presentes no solo são dependentes do balanço entre os processos de aporte e de decomposição de resíduos orgânicos. A velocidade de decomposição da matéria orgânica nativa ou adicionada ao solo varia em função de diversos fatores, tais como teor de água no solo, pH, grau de estruturação e textura do solo, composição química e relação carbono/nitrogênio (C/N) da serrapilheira, atividade e diversidade microbiana, entre outros fatores (Garay et al., 2003; Leite et al., 2003).

As florestas de eucalipto mostram um grande potencial de acumulação de carbono no solo. Zancada et al. (2003), estudando a qualidade do húmus em reflorestamentos de eucalipto no norte da Espanha, verificaram que o coeficiente de mineralização decresceu significativamente nessas áreas, em comparação com a mata nativa. Também Corazza et al. (1999), em seu estudo, destacam que,

após 12 anos, solos de áreas manejadas sob reflorestamento de eucalipto apresentaram um balanço de carbono mais favorável que o observado na área sob vegetação nativa de cerrado.

Em plantações de eucalipto, a taxa de decomposição da serrapilheira tende a ser menor que em outras coberturas, devido ao baixo valor nutricional do material. Essa baixa taxa de decomposição provoca o acúmulo de matéria orgânica na camada superficial do solo, levando à redução do pH, o que favorece a predominância de fungos sobre bactérias, que são menos eficientes no processo de mineralização da matéria orgânica. Há também um aumento da CTC do solo, fato importante para solos brasileiros, nos quais predominam minerais do tipo 1:1 (Barros & Comerford, 2002), característicos de baixa CTC.

Como a matéria orgânica do solo é constituída de frações em vários estágios de decomposição, a separação química pode ser de grande ajuda na sua caracterização. Entre as formas de carbono total do solo, destacam-se as substâncias húmicas, que são divididas em função da sua solubilidade em meio alcalino nas seguintes frações: ácidos fúlvicos (FAF), ácidos húmicos (FAH) e humina (FHM). As quantidades encontradas dessas frações são indicadoras da qualidade do solo, pela sua interação com as frações minerais, interferindo, portanto, na dinâmica de nutrientes no sistema solo-planta (Fontana et al., 2001).

Os ácidos fúlvicos são os compostos de maior solubilidade, sendo os principais responsáveis por mecanismos de transporte de cátions dentro do perfil do solo. Por outro lado, os ácidos húmicos apresentam baixa solubilidade nas condições de pH encontradas nos solos e são responsáveis pela maior parte da CTC de origem orgânica nas camadas superficiais. Já a humina consiste em um aglomerado de materiais húmicos e não humificados, e apresenta baixa reatividade, mas é responsável por mecanismos de agregação de partículas e, nos solos tropicais, representa a maior parte do carbono humificado (Benites et al., 2003).

Para determinar a mobilidade da FAF no solo, pode-se calcular a relação FAH/FAF, em que os maiores valores representam perda seletiva da fração mais solúvel. De acordo com Benites et al.(2001), a redução da relação FAH/FAF em profundidade evidencia a maior mobilidade da FAF e a concentração da FAH na superfície, processo que se torna ainda mais evidente em solos com textura mais arenosa.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O levantamento pedológico de vários HFs no Rio Grande do Sul, realizado pela equipe do DCS-UFLA, evidenciou em alguns deles a formação de um novo horizonte A (0-5 cm), às custas da serrapilheira, acima do horizonte A enterrado (20-40 cm), e gerou a base para este trabalho.

Para a realização deste estudo, amostras de solo foram coletadas em plantações de eucalipto pertencentes à Aracruz Celulose S.A., no estado do Rio Grande do Sul, nos municípios de Eldorado do Sul e Pantano Grande. O clima da região é o Cfa subtropical, úmido sem estiagem. A temperatura do mês mais quente é superior a 22°C e a do mês mais frio varia de 3 ° a 18°C, de acordo com a classificação de Köppen (Brasil, 1973), com precipitação média anual de 1.500 a 1.600 mm (Rio Grande do Sul, 2002). As amostras foram coletadas em três hortos florestais (HFs), com diferentes históricos de uso, Terra Dura, Canafistula e Sanga das Pedras e, para cada horto, coletaram-se também amostras no solo sob mata nativa (MN) adjacente (referencial). Amostraram-se também uma área sob pastagem nativa (PN) e uma sob pastagem plantada (PP) com azevém.

As coletas foram realizadas da seguinte maneira: em cada horto, foram amostradas quatro situações de paisagem dispostas numa topossequência (terço inferior, terço médio, terço médio superior e terço superior de encosta), que seguiram as seguintes identificações: situações TI, TMI, TMS e TS, respectivamente nas seguintes profundidades 0-5, 5-20, e 20-40 cm. Essas profundidades corresponderam, nos hortos, ao novo horizonte A (recém-formado à custa da serrapilheira) (Figura 1), horizonte intermediário e ao horizonte A enterrado, respectivamente. Para comparação, as profundidades de coleta nas matas nativas e pastagens foram as mesmas ora citadas.

Os solos coletados foram assim classificados, HF Terra Dura e mata adjacente, Argissolo Vermelho Distrófico típico, HF Canafistula e mata

adjacente, Cambissolo Háptico Tb Distrófico típico e HF Sanga das Pedras e mata adjacente Argissolo Vermelho Distrófico típico (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-Embrapa, 2006). Na área de pastagem plantada, o solo foi classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico e, na pastagem nativa, como Argissolo Amarelo Distrófico típico (Embrapa, 2006).



FIGURA 1 Foto de um perfil de coleta de amostras de solo. Circulado em vermelho, horizonte A em formação; logo abaixo, horizonte intermediário.

As amostras de solo foram secas ao ar e passadas em peneira de malha de 2 mm e, então, encaminhadas para o laboratório, para a realização das seguintes análises: pH em água obtido na relação solo-solução de 1:2,5 por determinação potenciométrica; alumínio trocável extraído com KCl 1 mol L⁻¹ e titulado com NaOH 0,025 mol L⁻¹; Ca e Mg trocáveis também extraídos com KCl 1 mol L⁻¹ e determinados por espectrofotometria de absorção atômica; potássio trocável

extraído com HCl 0,05 1 mol L⁻¹ e quantificado por fotometria de chama; S disponível extraído com HCl na proporção 1:1 precipitado com BaCl₂ e determinado por gravimetria; micronutrientes (Cu, Zn, Fe e Mn) extraídos por solução quelante (DTPA) e determinados por espectrofotometria de absorção atômica; acidez potencial (H+Al) extraída com acetato de cálcio tamponado a pH 7 e titulada com NaOH 0,0606 1 mol L⁻¹; fósforo disponível extraído pela solução de Mehlich-1 (HCl 0,05 1 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,0125 1 mol L⁻¹) e quantificado por colorimetria; N-total determinado pela oxidação com uma mistura de CuSO₄, H₂SO₄ e Na₂SO₄, todos segundo metodologia da Embrapa (1997). A análise granulométrica foi realizada pelo método da pipeta (Day, 1965).

Os hortos florestais (HFs) estudados apresentavam épocas diferentes de plantio, sendo que, no período da coleta das amostras de solo, tinham 9, 6 e 4 anos de implantação do eucalipto. Para melhor caracterização deste estudo, o histórico de uso de cada horto florestal foi levantado e é apresentado na Tabela 1.

TABELA 1 Histórico de uso das áreas de coletas de amostras de solo nos diferentes hortos florestais.

Horto	Ano de plantio do eucalipto	Sistema de condução	Adubação no plantio	Calagem	Adubação de cobertura	Uso anterior ao eucalipto
HF Terra Dura	2001	Reforma	100 g/planta NPK 06:30:06	2000 kg/ha de calcário	200 kg/ha 15:05:30	Pecuária (pastagem nativa) depois cultivo agrícola e, em seguida, plantio de acácia negra, até ser implantado o eucalipto.
HF Canafístula	1998	Rebrota	100 g/planta NPK 06:30:06	-	200 kg/ha 15:05:30	Inicialmente, pastagem nativa seguida de plantio com acácia negra
HF Sanga das Pedras	2003	Rebrota	100 g/planta NPK 04:14:08	-	-	Pastagem nativa seguida de plantio de soja.

3.1 Determinação do teor de carbono orgânico

Na determinação do carbono orgânico (CO) foi utilizada a metodologia modificada por Yeomans & Bremner (1988). Foram pesados 300 mg de solo seco ao ar em tubos de digestão e adicionados 5mL de $K_2Cr_2O_7$ 0,167 mol L⁻¹ e 10 mL de H_2SO_4 concentrado. Posteriormente, as amostras foram levadas no bloco digestor, sob temperatura de 170°C, por 30 minutos e, após esfriar, foram transferidas para erlenmeyers, sendo adicionados 5 mL de H_3PO_4 para facilitar a visualização do ponto de viragem da titulação. Em seguida, foram adicionadas três gotas do indicador difenilamina 1%, sendo as amostras tituladas com sulfato ferroso amoniacal 0,4 mol L⁻¹. O teor de CO foi determinado pela seguinte equação:

$$CO (g kg^{-1}) = (A \times M \times 0,003 \times 1000)/p$$

em que:

$$A = \{[(CD - S) \times (CND - CD)]/ CND\} + (CD - S)$$

CD- volume da solução titulante gasto para titular os brancos digeridos; CND - volume da solução titulante gasto para titular os brancos não digeridos; S - volume da solução titulante gasto para titular as amostras; M- molaridade da solução de sulfato ferroso amoniacal; 0,003, em g mmol⁻¹, refere-se à razão $[(0,001 \times 12)/4]$, em que 12 é a massa molar do carbono (g mol⁻¹), 0,001 é o fator para transformar em g mmol⁻¹ e 4 é o número de elétrons na oxidação da matéria orgânica $[C(0) \rightarrow C(IV), \text{ na forma de } CO_2]$ e p - peso da amostra, em gramas.

3.2 Fracionamento químico de substâncias húmicas

Para o fracionamento das substâncias húmicas, utilizou-se a metodologia descrita por Benites et al. (2003), em que 1 g de solo seco ao ar e macerado foi

pesado e 10 mL de NaOH 0,1 mol L⁻¹ foram adicionados em tubo de centrifuga. Posteriormente, as amostras foram agitadas manualmente, por 30 segundos e deixadas em repouso, por 24 horas. Após o término desse período, as amostras foram centrifugadas a 18.109 g, por 10 minutos, e os sobrenadantes foram colocados em copos plásticos e armazenados. Ao precipitado foram adicionados 10 mL de NaOH 0,1 mol L⁻¹, seguindo-se agitação manual e repouso por 1 hora. Após esse período, as amostras foram novamente centrifugadas e o sobrenadante adicionado ao extrato anterior. A fração precipitada foi levada ao liofilizador para secar.

Ao sobrenadante separado em copos plásticos foram adicionados 2 mL de H₂SO₄ 20%, no intuito de ajustar o pH para aproximadamente 2, e as amostras foram deixadas em repouso por 18 horas, para a decantação da fração ácido húmico. Decorridas 18 horas de repouso, o sobrenadante foi filtrado em membrana de 0,45 mm no sistema de filtragem a vácuo. Após essa etapa, o filtrado, ácido fúlvico, foi recolhido e o volume completado para 50 mL com água destilada. A fração ácido húmico aderida ao filtro foi lavada com NaOH 0,1 mol L⁻¹ e, em seguida, completou-se o seu volume para 50 mL, com água destilada.

3.3 Determinação do teor de carbono nas frações ácido fúlvico e ácido húmico

Para a determinação do teor de carbono nessas frações, uma alíquota de 5 mL foi retirada de cada fração e colocada em tubos de digestão. Posteriormente, 1 mL de K₂Cr₂O₇ 0,042 mol L⁻¹ e 5 mL de H₂SO₄ concentrado foram adicionados a cada amostra em seis tubos de digestão contendo 5 mL de água destilada para se fazer os brancos. Em seguida, os tubos foram levados ao bloco digestor, por 30 minutos, à temperatura de 150°C, e três dos seis brancos não foram levados ao bloco digestor, para se fazer os brancos não aquecidos.

Decorridos 30 minutos de digestão, as amostras foram transferidas para erlenmeyers de 250 mL, completando-se seu volume para 50 mL com água destilada e cerca de 0,3 mL do indicador ferroína foram adicionados. Em seguida, as amostras foram tituladas com sulfato ferroso amoniacal 0,0125 mol L⁻¹. O volume gasto na titulação de cada amostra foi anotado e o cálculo do teor de carbono nas frações ácido húmico e ácido fúlvico foi realizado com base na seguinte equação:

$$X = (V_{b_{aq}} - V_{am}) \times MSF_{A_{corr}} \times 12/4 \times 50/\text{aliquota(mL)} \times 1/\text{peso da amostra(g)}$$

em que:

X = mg C na forma de ácido húmico (ou fúlvico), por grama de solo; V_{baq} = volume (mL) de sulfato ferroso amoniacal consumido na titulação do branco aquecido; V_{am} = volume (mL) de sulfato ferroso amoniacal consumido na titulação da amostra; e MSF_{A_{corr}} = molaridade do sulfato ferroso amoniacal corrigida pela equação:

$$MSF_{A_{corr}} = \frac{2 \times (\text{volume de dicromato} \times \text{molaridade do dicromato})}{\text{Volume de SFA consumido na titulação do branco sem aquecimento}}$$

3.4 Determinação do teor de carbono na fração húmica

Após a secagem das amostras no liofilizador, 0,3g de solo foram pesados em tubos de digestão e foram adicionados 5mL de K₂Cr₂O₇ 0,167 mol L⁻¹ e 10 mL de H₂SO₄ concentrado. Posteriormente, os tubos foram levados ao bloco digestor, à temperatura de 150°C, por 30 minutos. Decorrido o período de digestão, as amostras foram transferidas para erlenmeyers de 250mL e o volume foi completado para 50mL. Cerca de 0,3mL da solução indicadora de ferroína foram adicionados e as amostras foram tituladas com sulfato ferroso amoniacal

0,25mol. L⁻¹. Os resultados dos teores de carbono nessa fração são apresentados no anexo A.

3.5 Tratamento dos resíduos gerados

Todos os resíduos de cromo gerados foram tratados e a metodologia de tratamento se encontra no anexo B.

3.6 Análise estatística

Os experimentos foram conduzidos segundo delineamento inteiramente casualizado com duas repetições, em que os tratamentos estavam arrançados em um esquema de parcela subdividida. Os locais de amostragem constituíram os tratamentos de parcela (locais TI, TMI, TMS, TS e mata) e a profundidade de amostragem, os tratamentos da subparcela (0-5, 5-20 e 20-40 cm). O experimento foi conduzido em três diferentes hortos (Terra Dura, Canafístula e Sanga das Pedras). Considerando cada um dos hortos, o modelo estatístico que descreve as observações é dado por:

$$y_{ijk} = \mu + l_i + e_{ij} + p_k + lp_{ik} + \varepsilon_{ijk}$$

em que:

y_{ijk} é o valor da variável resposta na j-ésima repetição do i-ésimo local e k-ésima profundidade, com $j = 1, 2$; μ é uma constante inerente a todas as observações; l_i é o efeito do i-ésimo local, com $i = 1, \dots, 5$; e_{ij} é o erro experimental associado à parcela, considerado independente e identicamente distribuído de uma normal com média zero e variância constante σ_a^2 ; p_k é o efeito da k-ésima profundidade de amostragem, com $k = 1, 2, 3$; lp_{ik} é o efeito da interação entre o i-ésimo local e k-ésima profundidade de amostragem; e ε_{ijk} é o erro experimental associado à subparcela, considerado independente e

identicamente distribuído de uma normal com média zero e variância constante σ_b^2 .

No intuito de realizar uma análise conjunta dos experimentos, foi verificada a variância residual, que é a razão entre o maior e menor quadrado médio residual (parcela e subparcela). Box (1954) sugere que a análise conjunta só deve ser realizada se esta razão for inferior a quatro, ou seja, quando o maior quadrado médio do resíduo (QMR) não diferir em mais de quatro vezes do menor QMR, tanto para a parcela como para a subparcela. Os resultados para esta razão são apresentados na Tabela 2.

TABELA 2 Quadrados médios residuais, de parcela e subparcela, para cada uma das variáveis em estudo e razão entre maior e menor variância.

Fonte de variação	Terra Dura	Canafistula	Sanga das Pedras	Variâncias residuais
Carbono Orgânico (%)				
Erro parcela	0,0097	0,0243	0,0087	2,79
Erro subparcela	0,0195	0,0256	0,0086	2,97
Fração ácido fúlvico (%)				
Erro parcela	0,4309	0,1057	0,3151	4,08
Erro subparcela	0,7251	0,0562	0,0979	7,40
Fração ácido húmico (%)				
Erro parcela	0,5452	0,0657	0,1459	8,30
Erro subparcela	1,3599	0,3254	0,0961	14,15

Os resultados da Tabela 2 mostram que, para as variáveis fração ácido fúlvico e fração ácido húmico, as variâncias residuais não são homogêneas, levando à impossibilidade de realização da análise conjunta dos experimentos. Desse modo, os resultados serão discutidos para cada horto.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os Argissolos apresentam, tipicamente, um gradiente textural, em que o horizonte B é sempre mais argiloso em comparação ao horizonte A (Streck et al., 2008). Ainda segundo os mesmos autores, os Argissolos, em termos percentuais, ocupam a maior parte da área territorial do Rio Grande do Sul e neste trabalho englobam quatro dos cinco ambientes de solos estudados.

Nas Tabelas 3 a 5, são apresentados os resultados das análises químicas e físicas dos solos estudados. A saturação por bases (Valor V), um bom índice de fertilidade do solo, tende a diminuir substancialmente em profundidade e a ser mais elevada nas matas adjacentes aos HFs, com exceção das posições TMS e TS no HF Sanga das Pedras (Tabela 3). Chama a atenção os baixos valores de saturação por K, inclusive nas pastagens nativa e plantada, esta última com valores relativamente mais elevados.

Na profundidade de 0-5 cm, os solos apresentaram valores muito mais baixos de Al^{3+} e de saturação por este cátion ácido (Valor m), o que está relacionado com a complexação deste íon por compostos orgânicos (Furtini et al., 2001), em consonância com os valores mais elevados de carbono orgânico nesta profundidade (Figuras 2 e 3).

A maioria dos locais amostrados nos três HFs apresentou, na profundidade de 20-40 cm, valores de CTC elevados (Tabela 3), não acompanhando os menores teores de carbono orgânico (Figuras 2 e 3). Conforme Sidiras & Pavan (1985), a matéria orgânica contribui majoritariamente para a CTC do solo, principalmente em solos nos quais predominam minerais do tipo 1:1. No contexto deste trabalho, a presença de minerais intemperizáveis (feldspatos, minerais 2:1 e inter-estratificados) nestes solos (Castro, 2006) ajuda a explicar os resultados aqui encontrados.

TABELA 3 Atributos químicos dos solos dos hortos florestais, matas e pastagens estudados.

Horto Florestal Terra Dura																
Prof. Cm	pH	P	K ⁺	S- sulfato	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	¹ SB	² t	³ T	⁴ V	⁵ m	⁶ Sat. Ca	⁷ Sat. Mg	⁸ Sat. K
-----mg.dm ⁻³ -----				-----cmol _c .dm ⁻³ -----							-----%-----					
TI																
0-5	5,1	2,8	98	14,9	0,8	0,9	0,7	4,0	1,9	2,6	6,0	33	26	13	15	4
5-20	5,0	1,7	84	9,3	0,2	0,5	1,3	4,5	0,9	2,2	5,4	17	59	4	9	4
20-40	5,3	0,6	70	6,6	0,1	0,5	1,4	5,0	0,8	2,2	5,8	14	64	2	9	3
TMI																
0-5	5,5	3,1	119	10,8	2,7	1,0	0,2	3,6	4,0	4,2	7,6	53	5	36	13	4
5-20	4,7	0,9	47	8,4	0,5	0,4	1,7	6,3	1,0	2,7	7,3	14	63	7	5	2
20-40	4,8	1,2	56	6,2	0,4	0,3	2,1	8,8	0,8	2,9	9,6	9	71	4	3	1
TMS																
0-5	4,9	4,6	112	16,6	3,5	1,2	0,3	5,6	5,0	5,3	10,6	47	6	33	11	3
5-20	4,6	1,2	47	6,6	1,0	0,5	1,9	7,0	1,6	3,5	8,6	19	54	12	6	1
20-40	4,8	0,4	47	11,3	0,2	0,5	3,8	17,1	0,8	4,6	18,0	4	82	1	3	1
TS																
0-5	5,2	4,9	181	13,3	3,7	1,5	0,2	4,5	5,7	5,9	10,2	56	3	36	15	5
5-20	4,7	0,9	53	7,1	0,2	0,6	2,8	9,8	0,9	3,7	10,7	9	75	2	6	1
20-40	4,8	0,4	44	27,7	0,3	0,9	3,6	19,1	1,3	4,9	16,5	6	73	2	5	1
MN																
0-5	5,5	4,9	206	16,6	6,0	2,7	0,0	2,6	9,3	9,3	11,9	78	0	50	23	4
5-20	4,7	1,2	90	8,4	1,0	0,7	1,6	7,0	1,9	3,5	8,9	22	45	11	8	3
20-40	5,1	0,4	45	7,5	1,1	0,9	1,3	5,6	2,1	3,4	7,7	28	38	14	12	1

“...continua...”

TABELA 3, Cont.

Horto Florestal Canafístula																	
Prof. cm	pH	P	K ⁺	S- sulfato	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	¹ SB	² t	³ T	⁴ V	⁵ m	⁶ Sat. Ca	⁷ Sat. Mg	⁸ Sat. K	
-----mg.dm ⁻³ -----				-----cmol _c .dm ⁻³ -----								-----%-----					
TI																	
0-5	5,4	7,1	175	27,7	7,0	1,8	0,2	4,5	9,9	10,1	14,4	69	2	49	12	3	
5-20	4,8	1,4	80	9,8	0,9	0,5	1,3	6,3	1,6	2,9	7,9	20	45	11	6	3	
20-40	4,7	1,7	44	4,1	0,3	0,3	2,1	5,6	0,7	2,8	6,3	11	75	5	5	2	
TMI																	
0-5	5,4	9,6	181	16,6	11,2	10,3	0,2	5,0	23,8	24,0	26,9	83	1	42	38	2	
5-20	4,4	2,5	80	5,8	0,2	0,1	2,3	8,8	0,5	2,8	9,3	5	82	2	1	2	
20-40	4,4	2,3	80	9,3	0,5	0,1	3,8	15,3	0,8	4,6	15,9	5	83	3	1	1	
TMS																	
0-5	5,2	14,1	231	24,1	10,0	2,4	0,2	5,0	13,0	13,2	18,0	72	2	56	13	3	
5-20	4,7	10,0	95	8,4	0,4	0,4	1,7	6,3	1,0	2,7	7,3	14	62	5	5	3	
20-40	4,8	2,0	59	8,4	0,3	0,3	2,8	12,3	0,8	3,6	13,1	6	79	2	2	1	
TS																	
0-5	5,1	14,1	181	22,7	10,0	2,4	0,3	6,3	13,7	13,9	20,0	68	1	50	12	2	
5-20	4,5	4,6	101	10,3	0,8	0,4	1,9	8,8	1,5	3,4	10,3	14	57	8	4	3	
20-40	5,0	1,2	100	12,8	2,6	0,4	1,8	8,8	3,3	5,1	12,1	27	36	21	3	2	
MN																	
0-5	5,9	25,6	253	33,5	17,4	5,1	0,2	3,2	24,9	25,1	25,1	89	1	69	20	3	
5-20	5,4	14,1	119	9,3	2,1	1,2	1,0	6,3	3,6	4,6	9,9	36	22	21	12	3	
20-40	4,7	19,4	97	9,3	0,3	0,3	3,1	13,7	0,9	4,0	14,6	6	78	2	2	2	

“... continua...”

TABELA 3, Cont.

Horto Florestal Sanga das Pedras																
Prof. Cm	pH	P	K ⁺	S- sulfato	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	¹ SB	² t	³ T	⁴ V	⁵ m	⁶ Sat. Ca	⁷ Sat. Mg	⁸ Sat. K
-----mg.dm ⁻³ -----				-----cmol _c .dm ⁻³ -----							-----%-----					
TI																
0-5	5,5	2,5	117	14,3	8,0	1,8	0,2	4,5	10,9	11,1	15,4	71	2	52	12	2
5-20	5,3	1,2	31	4,1	4,6	1,1	0,3	5,6	5,8	6,1	11,4	51	5	40	10	1
20-40	4,9	0,9	23	4,5	2,2	1,1	2,4	12,3	3,4	5,8	15,7	22	42	14	7	0
TMI																
0-5	5,8	6,8	133	33,5	14,0	2,8	0,2	3,6	17,5	17,7	21,1	83	1	66	13	2
5-20	5,0	1,2	51	6,6	2,8	1,7	1,4	8,8	4,6	6,0	13,4	35	23	21	13	1
20-40	4,8	0,6	23	9,3	0,3	0,9	5,1	23,9	1,3	6,4	22,9	5	80	1	4	0
TMS																
0-5	5,2	3,7	112	30,9	9,5	2,8	0,2	7,0	12,7	12,9	19,7	64	2	48	14	1
5-20	4,5	0,9	37	13,3	0,5	1,6	4,1	21,4	2,2	6,3	21,2	9	65	2	8	0
20-40	4,7	0,4	14	11,8	0,1	0,9	5,8	29,9	1,0	6,8	27,9	3	85	0	3	0
TS																
0-5	5,2	4,0	119	22,0	3,8	2,4	0,3	7,0	6,5	6,8	13,5	48	4	28	18	2
5-20	4,5	1,2	39	12,8	0,2	0,5	3,5	19,1	0,8	4,3	18,0	4	81	1	3	1
20-40	4,9	0,4	22	11,8	0,1	0,3	5,6	26,7	0,5	6,1	24,4	2	92	0	1	0
MN																
0-5	5,2	3,1	203	15,4	4,6	3,4	0,2	4,5	8,6	8,8	13,1	66	2	35	26	4
5-20	5,0	0,9	41	6,6	1,2	1,0	2,6	12,3	2,3	4,9	14,6	16	53	8	7	1
20-40	5,1	0,4	23	7,5	1,1	0,8	4,1	21,4	2,0	6,1	23,4	8	68	5	3	0

“... continua...”

TABELA 3, Cont.

Pastagem Nativa																
Prof. cm	pH	P	K ⁺	S- sulfato	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	¹ SB	² t	³ T	⁴ V	⁵ m	⁶ Sat. Ca	⁷ Sat. Mg	⁸ Sat. K
-----mg.dm ⁻³ -----				-----cmol _c .dm ⁻³ -----								-----%-----				
0-5	5,4	5,2	337	30,9	12,0	8,9	0,8	11,0	21,9	22,7	32,9	67	4	36	27	3
5-20	5,5	2,5	243	10,3	12,4	8,4	1,6	13,7	21,4	23,0	35,1	61	7	35	24	2
20-40	5,3	0,9	134	12,3	8,8	7,4	16	37,3	16,5	32,5	53,8	31	49	16	14	1
Pastagem Plantada																
0-5	5,5	30,1	262	9,8	4,9	2,9	0,0	2,3	8,5	8,5	10,8	79	0	45	27	6
5-20	5,3	5,5	197	7,1	3,1	1,7	0,3	4,0	5,3	5,6	9,3	57	5	33	18	5
20-40	5,0	0,9	129	16,0	2,0	1,3	2,4	8,8	3,6	6,0	12,4	29	40	16	10	3

¹ SB= soma de bases trocáveis; ² t= capacidade de troca catiônica efetiva; ³ T= capacidade de troca catiônica a pH 7,0; ⁴ V= saturação por bases; ⁵ m= saturação por alumínio; ⁶ Sat. Ca = saturação por Ca; ⁷ Sat. Mg= saturação por MG; ⁸ Sat. K = saturação por K.

TABELA 4 Valores de micronutrientes e de nitrogênio dos solos dos hortos florestais, matas e pastagens estudados.

Horto Florestal Terra Dura							
	Mn	Cu	Zn	Fe	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	N-Total
	-----mg.dm ⁻³ -----						----%----
TI							
0-5 cm	62,0	0,7	0,9	98,5	53,3	13,3	0,16
5-20 cm	51,5	1,0	1,3	70,5	26,6	13,3	0,18
20-40 cm	10,5	1,1	0,9	37,5	26,6	20,0	0,22
TMI							
0-5 cm	150,0	0,9	1,1	106,5	13,3	13,3	0,20
5-20 cm	42,5	1,5	1,0	52,0	26,6	20,0	0,14
20-40 cm	23,0	1,7	0,8	43,0	26,6	20,0	0,16
TMS							
0-5 cm	97,5	1,0	1,3	66,0	20,0	53,3	0,24
5-20 cm	13,0	1,4	0,9	46,0	20,0	26,6	0,12
20-40 cm	1,5	1,2	0,8	25,5	20,0	20,0	0,12
TS							
0-5 cm	57,5	0,9	1,3	49,0	20,0	46,6	0,18
5-20 cm	8,0	1,5	1,0	35,5	20,0	13,3	0,12
20-40 cm	1,0	1,2	0,7	20,5	13,3	20,0	0,12
MN							
0-5 cm	100,0	1,0	3,7	35,5	26,6	93,2	0,44
5-20 cm	225,0	1,4	1,2	67,5	13,3	20,0	0,18
20-40 cm	62,5	1,7	0,9	54,5	20,0	20,0	0,12

“... continua...”

TABELA 4, Cont.

Horto Florestal Canafístula							
	Mn	Cu	Zn	Fe	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	N-Total
	-----mg.dm ⁻³ -----						----%----
TI							
0-5 cm	212,5	0,7	3,4	118,5	99,9	20,0	0,40
5-20 cm	50,0	0,6	1,2	82,5	20,0	20,0	0,16
20-40 cm	6,5	0,9	1,3	33,5	13,3	20,0	0,08
TMI							
0-5 cm	187,5	0,6	5,4	83,5	33,3	93,2	0,54
5-20 cm	11,5	0,9	1,4	167,5	20,0	20,0	0,14
20-40 cm	2,5	0,9	1,0	202,5	20,0	26,6	0,14
TMS							
0-5 cm	225,0	1,0	8,5	59,0	40,0	107,0	0,7
5-20 cm	5,5	0,5	1,0	127,5	26,6	20,0	0,12
20-40 cm	1,5	0,3	0,7	115,0	26,6	20,0	0,14
TS							
0-5 cm	150,0	0,8	6,0	67,0	33,3	113,2	0,78
5-20 cm	6,5	0,5	1,0	242,5	20,0	33,3	0,18
20-40 cm	1,0	0,4	0,7	62,0	20,0	20,0	0,14
MN							
0-5 cm	52,5	0,4	6,7	21,0	26,6	159,8	1,80
5-20 cm	13,0	0,2	1,2	192,5	20,0	26,6	0,18
20-40 cm	3,0	0,2	0,7	92,0	20,0	20,0	0,20

“... continua...”

TABELA 4, Cont.

Horto Florestal Sanga das Pedras							
	Mn	Cu	Zn	Fe	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	N-Total
	-----mg.dm ⁻³ -----						----%----
TI							
0-5 cm	137,5	1,1	1,7	58,0	40,0	53,3	0,24
5-20 cm	57,3	1,3	0,7	47,0	20,0	13,3	0,14
20-40 cm	6,0	1,7	0,5	50,0	13,3	13,3	0,12
TMI							
0-5 cm	137,5	1,5	1,9	39,0	93,2	33,3	0,8
5-20 cm	40,0	1,7	1,0	37,0	20,0	13,3	0,12
20-40 cm	1,0	1,0	0,6	12,5	20,0	13,3	0,12
TMS							
0-5 cm	175,0	1,3	2,8	88,0	79,9	53,3	0,64
5-20 cm	4,0	1,1	0,6	26,5	20,0	20,0	0,16
20-40 cm	0,5	0,4	0,5	6,0	20,0	13,3	0,12
TS							
0-5 cm	175,0	1,1	3,7	232,5	93,2	46,6	0,38
5-20 cm	4,0	1,5	0,7	145,0	26,6	20,0	0,18
20-40 cm	0,3	0,7	0,6	28,5	20,0	20,0	0,12
MN							
0-5 cm	42,5	1,2	3,5	54,5	33,3	33,3	0,32
5-20 cm	16,0	1,3	1,5	41,0	20,0	20,0	0,14
20-40 cm	1,5	1,0	0,5	12,0	20,0	13,3	0,12

“... continua...”

TABELA 4, Cont.

Pastagem nativa							
	Mn	Cu	Zn	Fe	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	N-Total
	-----mg.dm ⁻³ -----					-----%-----	
0-5 cm	37,5	1,0	2,6	127,5	20,0	13,3	0,30
5-20 cm	22,5	1,0	1,9	100,5	20,0	13,3	0,24
20-40 cm	2,0	0,2	0,7	18,5	26,6	20,0	0,18
Pastagem plantada							
0-5 cm	75,0	0,7	5,3	44,5	26,6	79,9	0,24
5-20 cm	75,0	0,9	2,7	68,0	20,0	26,6	0,18
20-40 cm	16,0	0,6	1,1	39,5	20,0	20,0	0,12

TABELA 5 Características granulométricas dos solos estudados.

Profundidade	HF Terra Dura				HF Canafístula				Hf Sanga das Pedras			
	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	Areia grossa	Areia Fina	Silte	Argila	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila
-----g kg ⁻¹ -----												
TI												
0 – 5 cm	560	130	180	130	490	170	240	100	190	130	400	280
5 – 20 cm	550	110	150	180	470	180	180	170	170	150	410	280
20 – 40 cm	700	60	120	120	660	70	180	90	150	130	380	340
TMI												
0 – 5 cm	560	140	170	130	450	170	250	130	370	200	310	120
5 – 20 cm	530	130	170	170	440	150	200	210	130	140	330	400
20 – 40 cm	530	100	180	190	340	120	220	320	110	90	300	510
TMS												
0 – 5 cm	400	190	210	200	590	190	140	80	220	180	380	220
5 – 20 cm	410	170	220	200	490	170	200	150	110	120	290	480
20 – 40 cm	240	110	190	460	170	50	630	150	90	60	240	620
TS												
0 – 5 cm	330	230	210	230	600	180	140	80	180	110	450	260
5 – 20 cm	340	180	220	260	450	160	190	200	160	120	410	300
20 – 40 cm	190	100	200	510	260	80	240	420	120	90	340	450
MN												
0 – 5 cm	600	120	190	80	570	200	160	70	140	120	270	480
5 – 20 cm	470	150	220	170	490	190	160	170	120	130	320	430
20 – 40 cm	470	160	220	150	760	60	80	110	110	80	260	550

“... continua...”

TABELA 5, Cont.

Profundidade	Pastagem plantada				Pastagem nativa			
	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila
	-----g kg ⁻¹ -----							
0 – 5 cm	290	220	320	170	20	30	450	500
5 – 20 cm	310	250	280	160	20	30	210	740
20 – 40 cm	250	130	240	380	130	50	280	530

Dentre os micronutrientes analisados (Tabela 4), vale a pena ressaltar os teores bastantes elevados de Fe e Mn. Os de Fe podem estar associados ao material de origem e os de Mn, os quais tendem a ser consistentemente maiores na profundidade de 0-5 cm, parecem estar associados a reações de complexação com substâncias orgânicas, devido à translocação a longo prazo em direção à superfície do solo pelas raízes das plantas e subsequente incorporação na camada superficial através da decomposição da serrapilheira (Stevenson, 1994).

Os valores mais elevados de N-total e $N-NH_4^+$ na camada mais superficial do solo estão associados aos maiores teores de carbono orgânico no primeiro caso e ao consequente balanço mais favorável de cargas negativas no segundo caso (Cantarella, 2007).

A análise textural dos solos evidenciou um menor incremento do teor de argila em profundidade na mata em comparação aos HFs, nos quais, particularmente nas situações TMS e TS do horto Terra Dura, e TMI, TMS e TS dos hortos Canafistula e Sanga das Pedras, tal incremento foi abrupto (Tabela 5). Tal comportamento diferencial coloca ênfase na possibilidade de ter ocorrido erosão e redeposição nos solos destes hortos, em consonância com a hipótese central deste trabalho.

Nas Figuras 2 e 3 são apresentados os teores de carbono orgânico (CO) dos solos. Com exceção do HF Canafistula e da situação TI no HF Sanga das Pedras (Figuras 2 e 3), a profundidade de 0-5 cm revelou valores significativamente maiores de carbono orgânico nos HFs em relação às respectivas matas adjacentes. Esta constatação corrobora a hipótese da formação de um novo horizonte A, originado da decomposição e transformação da serrapilheira em compostos mais elaborados que estão constituindo a matéria orgânica do solo. Rangel & Silva (2007) verificaram que os estoques de carbono foram afetados pelos sistemas de uso e manejo do solo e que os maiores valores foram encontrados nos sistemas de mata nativa e eucalipto.

O solo da mata adjacente ao HF Canafistula apresentou um horizonte A húmico (horizonte espesso, escuro e rico em matéria orgânica), com 50 cm de profundidade, conforme observações e medições de campo. Por isso, ele revelou um altíssimo teor de CO, principalmente na profundidade de 0-5 cm, sendo superior estatisticamente a todas as situações e profundidades em relação ao horto. A consequência desta constatação é que os dados de laboratório relativos ao carbono orgânico dos solos deste HF não suportaram as observações de campo relativas à formação do novo horizonte A, uma vez que no sistema mata nativa tais valores são bastante altos, indicando uma elevadíssima concentração de compostos orgânicos, impedindo a manifestação do aporte de novos materiais oriundos da decomposição e transformação da serrapilheira nos solos do horto em questão.

Todas as áreas de mata nativa apresentaram uma diminuição no teor de carbono total com a profundidade, fato comum relatado na literatura (Canellas et al., 2000; Vezzani et al., 2001; Andrea, 2004; Neves et al., 2004; Portugal et al., 2008). Nas pastagens, tanto na nativa quanto na plantada (Figura 3), o teor de carbono orgânico diminuiu com a profundidade, sendo o teor de CO maior na pastagem plantada que na pastagem nativa. De acordo com Portugal et al. (2008), a pastagem demonstra um potencial limitado de preservação de C no solo, em concordância com os resultados obtidos neste trabalho, onde os valores de CO são bem inferiores aos dos HFs e matas nativas adjacentes.

O menor teor de CO encontrado na pastagem nativa, provavelmente, está relacionado com algum processo de degradação do solo. Ao estudar as frações da matéria orgânica após três décadas de cultivo de eucalipto, Lima et al. (2008) concluíram que o cultivo do eucalipto em áreas anteriormente ocupadas com pastagens mal manejadas promoveu a recuperação nos estoques de CO. Estes resultados indicam que a adoção do cultivo mínimo e práticas que preservem a MOS contribuem para a recuperação de áreas degradadas.

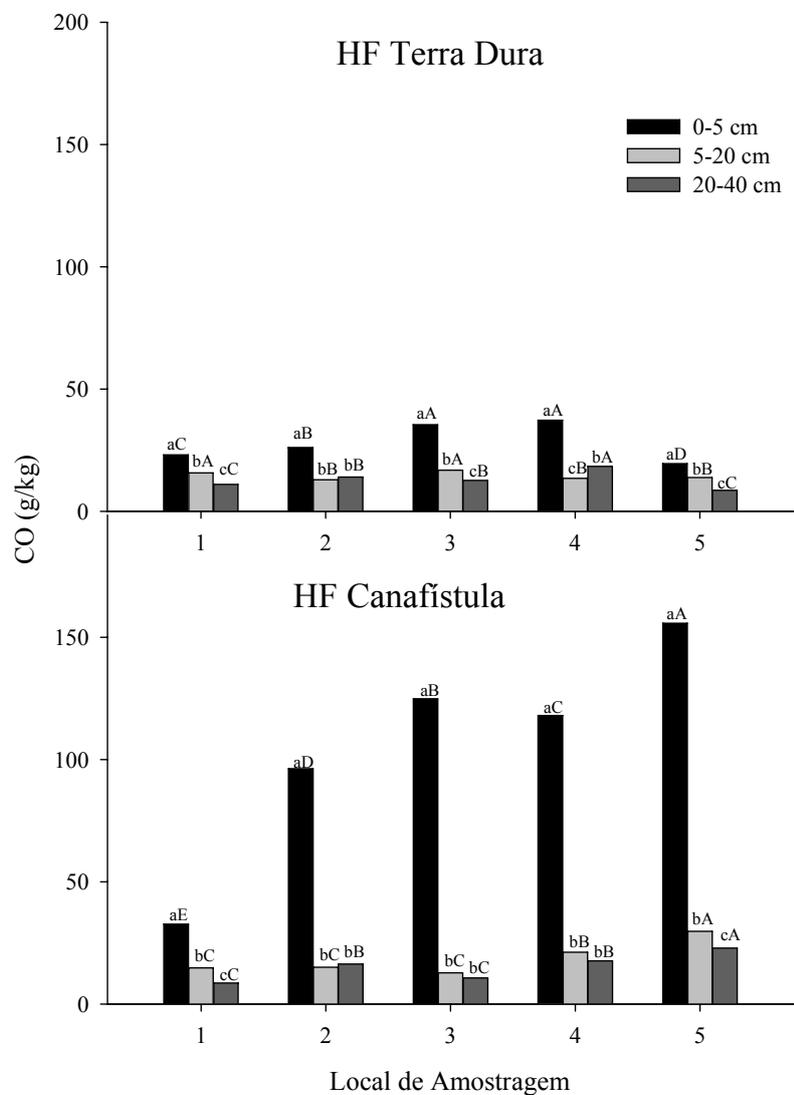


FIGURA 2 Teores de carbono orgânico dos HFs Terra Dura, Canafistula e matas adjacentes. Situações TI = 1, TMI = 2, TMS = 3, TS = 4 e Mata nativa = 5. Médias seguidas de mesma letra minúscula, nas três profundidades de cada situação e maiúscula entre as situações com mesma profundidade não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de significância.

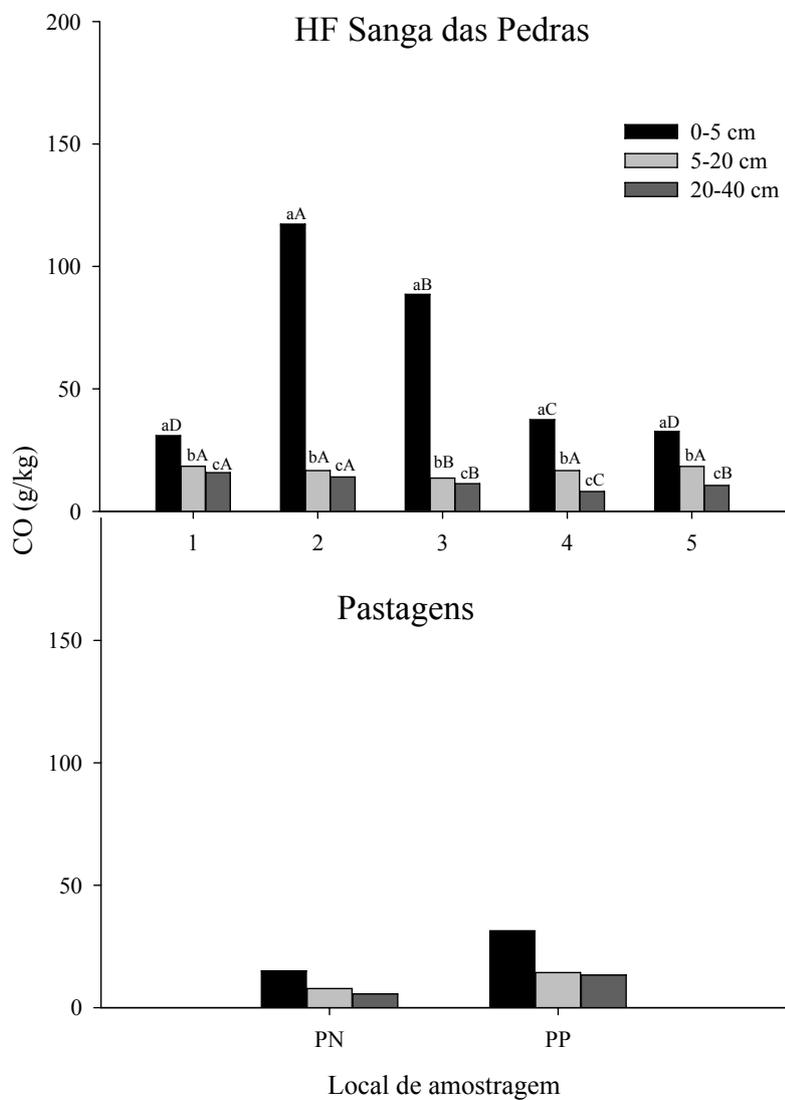


FIGURA 3 Teores de carbono orgânico dos HFs Sanga das Pedras, mata adjacente e pastagens. Situações TI = 1, TMI = 2, TMS = 3, TS = 4, Mata nativa = 5, PN = Pastagem nativa e PP = pastagem plantada. Médias seguidas de mesma letra minúscula nas três profundidades de cada situação e maiúscula entre as situações com mesma profundidade não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de significância.

Os teores de C na forma de fração ácido fúlvico (C-FAF) representaram de 0,24% a 10,43% do CO e os de fração ácidos húmicos (C-FAH), de 1,44% a 19,73%, dados estes apresentados nas Figuras 4 a 7.

Em geral, houve um enriquecimento da FAF em profundidade nos solos dos HFs, evidenciando a maior solubilidade e mobilidade desses ácidos no perfil do solo, distribuindo-se por todos os horizontes e representando o principal fluxo de carbono nestes sistemas (Canellas et al., 2000; Benites et al., 2001). A proteção fornecida ao solo pelo acúmulo de serrapilheira permitiu uma maior infiltração de água no perfil do solo, o que pode ter proporcionado uma maior movimentação da FAF no perfil (Figuras 4 a 6). Já nas pastagens, os teores de C-FAF apresentaram decréscimo sutil em profundidade (Figura 7). No tocante aos sistemas de matas nativas adjacentes aos HFs (Figuras 4 a 6), os teores de C-FAF somente aumentaram em profundidade no caso do Canafistula, decrescendo no demais.

As FAH são menos móveis no perfil do solo, isto devido à sua pouca solubilidade em água tendem a se acumular nas camadas superficiais (Benites et al., 2001 e 2003). Na maioria dos solos dos HFs e das matas nativas adjacentes aos mesmos, ocorreu um aumento dos teores de C-FAH em profundidade (Figuras 4 a 6). O valor relativamente mais elevado desta fração na profundidade de 20-40 cm nas situações TI, TMI e TMS do HF Terra Dura, TMI e TMS do HF Canafistula e TI e TMI do HF Sanga das Pedras indicam a possibilidade da ocorrência de horizonte A enterrado nesta profundidade, uma vez que esta fração é considerada pouco móvel no solo (Barretos et al., 2008). As observações de campo em vários cortes de solo expostos corroboram estes dados. Nos solos sob pastagens, esta fração revelou valores mais elevados na profundidade de 5-20 cm na PN e nas duas camadas mais superficiais na PP.

O índice de humificação foi calculado para cada HF, mata e pastagem. Os resultados são apresentados na Tabela 6. A relação FAH/FAF apresentou valores relativamente mais elevados, demonstrando a alta mobilidade da FAF, gerada, principalmente, pela maior infiltração de água promovida pela eficiente cobertura vegetal. Valores dessa relação superiores a 1,0 indicam que, nessas áreas, há predominância da FAH em relação a FAF, apresentando um material orgânico mais estável (Canellas et al., 2001; Barretos et al., 2008).

A diminuição do valor dessa relação em profundidade na maioria dos solos dos HFs estudados indica uma maior concentração da FAH em superfície (Benites et al., 2001). Os solos das situações TMI do HF Terra Dura e TI dos HFs Canafistula e Sanga das Pedras apresentaram um valor maior dessa relação na profundidade de 20-40 cm. Nestas situações, é possível pressupor a presença do horizonte A enterrado, uma vez que estas frações não se movimentam no perfil de solo e a posição mais receptora destes solos na paisagem local esta em consonância com os dados obtidos. Nos sistemas sob pastagens, os valores da taxa C-AH/C-AF tenderam a ser sempre superiores a 1, representando compostos orgânicos mais estáveis.

Muito se tem comentado na literatura não especializada acerca dos malefícios potenciais do cultivo do eucalipto ao solo e ambiente. Este trabalho demonstra que o cultivo mínimo desta espécie, ao propiciar a formação de um novo horizonte A às custas da serrapilheira, esta contribuindo para a busca da sustentabilidade de exploração florestal.

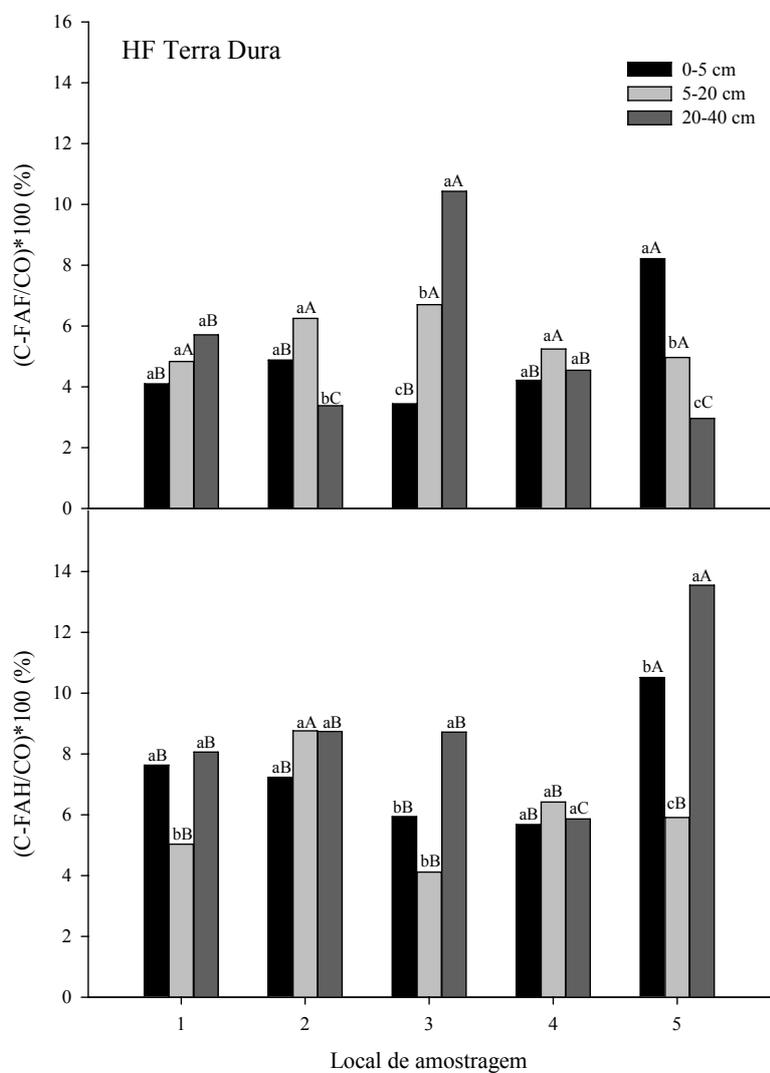


FIGURA 4 Porcentagem de carbono na forma de ácido fúlvico e húmico em relação ao CO para o HF Terra Dura. Situações TI = 1, TMI = 2, TMS = 3, TS = 4 e Mata nativa = 5. Médias seguidas de mesma letra minúscula, nas três profundidades de cada situação e maiúscula entre as situações com mesma profundidade, não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott, com nível nominal de significância de 5%.

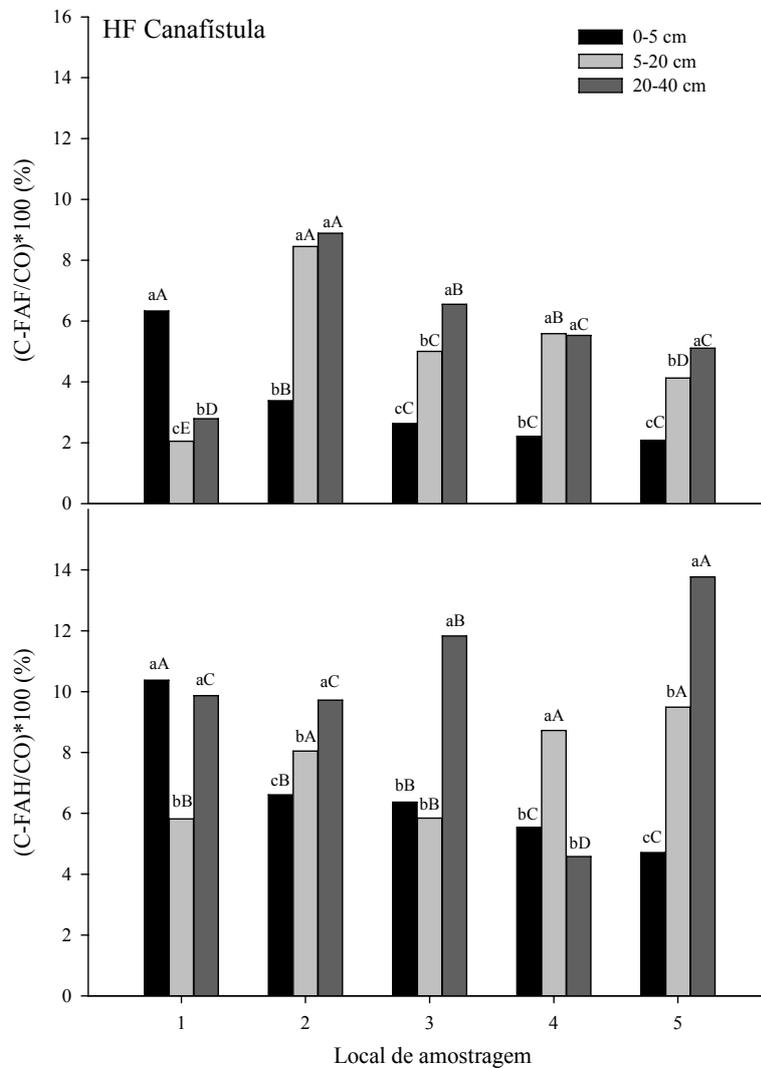


FIGURA 5 Percentagem de carbono na forma de ácido fúlvico e húmico em relação ao CO para o HF Canafistula. Situações TI = 1, TMI = 2, TMS = 3, TS = 4 e Mata nativa = 5. Médias seguidas de mesma letra minúscula nas três profundidades de cada situação e maiúscula entre as situações com mesma profundidade não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, com nível nominal de significância de 5%.

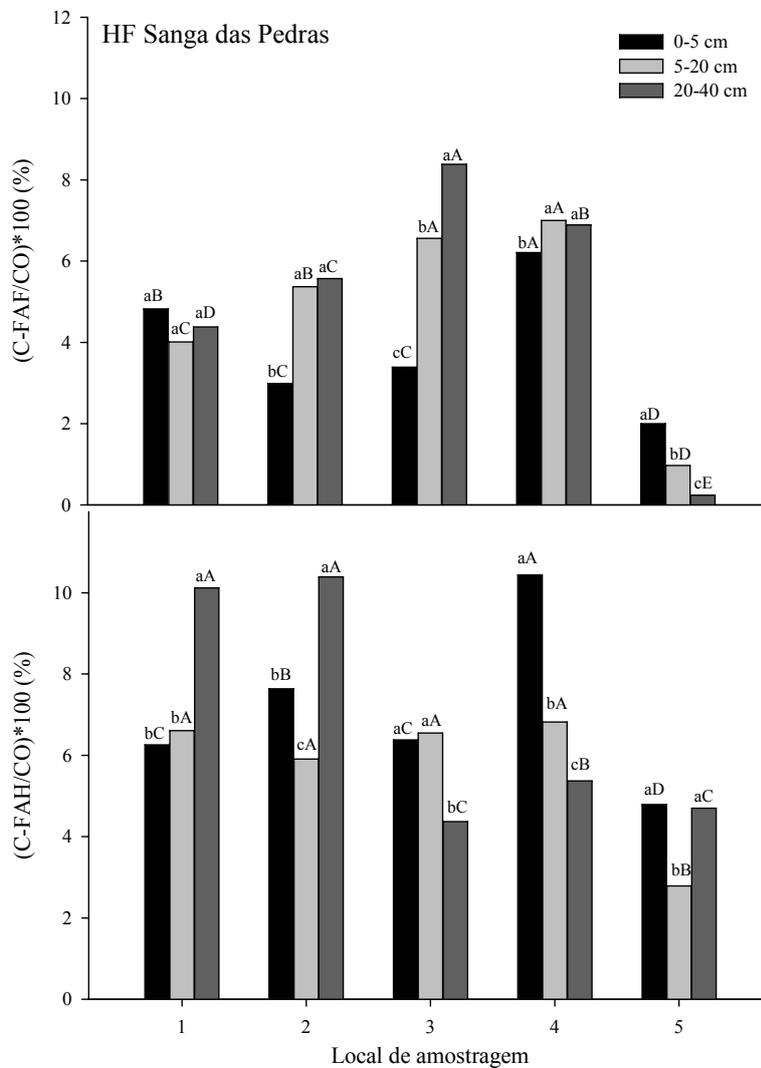


FIGURA 6 Porcentagem de carbono na forma de ácido fúlvico e húmico em relação ao CO para o HF Sanga das Pedras. Situações TI = 1, TMI = 2, TMS = 3, TS = 4 e Mata nativa = 5. Médias seguidas de mesma letra minúscula, nas três profundidades de cada situação e maiúscula entre as situações com mesma profundidade, não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott, com nível nominal de significância de 5%.

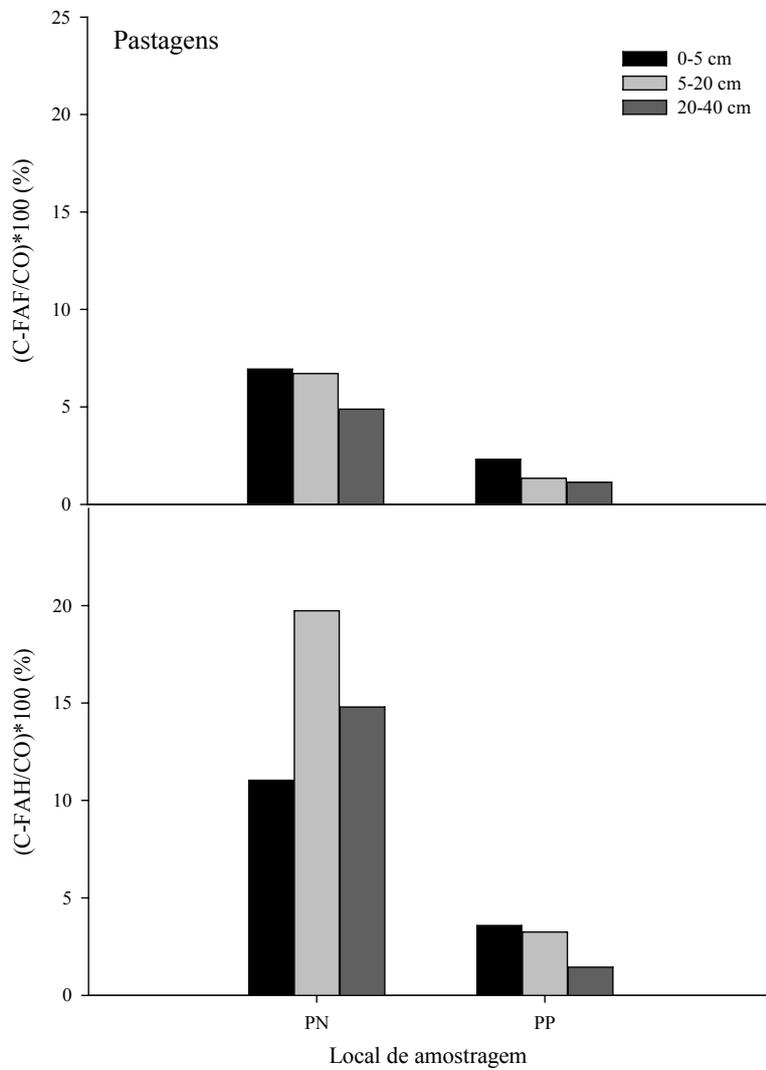


FIGURA 7 Porcentagem de carbono na forma de ácido fúlvico e húmico em relação ao CO para a pastagem nativa e plantada. PN = pastagem nativa e PP = pastagem plantada.

TABELA 6 Índice de humificação calculados para os solos dos diferentes HFs, matas e pastagens.

Profundidade de amostragem	HF Terra Dura	HF Canafístula	HF Sanga das Pedras
	C-AH/C-AF ¹		
	TI		
0-5 cm	1,9	1,6	1,3
5-20 cm	1,0	2,8	1,6
20-40 cm	1,4	3,5	2,3
	TMI		
0-5 cm	1,5	2,0	2,6
5-20 cm	1,4	1,0	1,1
20-40 cm	2,6	1,1	1,9
	TMS		
0-5 cm	1,7	2,4	1,9
5-20 cm	0,6	1,2	1,0
20-40 cm	0,8	1,8	0,5
	TS		
0-5 cm	1,4	2,5	1,7
5-20 cm	1,2	1,6	1,0
20-40 cm	1,3	0,8	0,8
	MN		
0-5 cm	1,3	2,3	2,4
5-20 cm	1,2	2,3	2,9
20-40 cm	4,6	2,7	2,9
	Pastagem nativa	Pastagem plantada	
0-5 cm	1,6	1,5	
5-20 cm	2,9	2,4	
20-40 cm	2,6	1,3	

¹ AH/AH= razão entre a porcentagem de carbono nas frações ácido húmico e fúlvico.

5 CONCLUSÕES

- Na profundidade de 0-5 cm, a maioria dos Argissolos dos HFs apresentou teores de CO superiores aos de referência (mata nativa adjacente), indicando a formação de um novo horizonte A devido ao aporte de serrapilheira. Os Cambissolos do HF Canafistula não seguiram esta tendência devido apresentarem um horizonte A húmico sob mata nativa adjacente.
- Ocorreu um incremento nos teores de C-FAH na maior parte dos solos dos HFs em profundidade, corroborando as observações e medições de campo que apontaram para a ocorrência de um horizonte A enterrado.
- As observações e medições de campo, os dados de CO e de fracionamento químico da matéria orgânica (C-FAH) do solo evidenciaram a importância do cultivo mínimo na busca da sustentabilidade da exploração florestal.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDREA, A. F.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; GUILHERME, L. R. G. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 2, p. 179-186, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário Estatístico da ABRAF 2008**. Disponível em: <<http://www.abraflor.org.br>>. Acesso em: 16 dez. 2008.

BARBOSA, J. H. C.; FARIA, S. M. Aporte de serrapilheira ao solo em estágios sucessionais florestais na reserva biológica de Poço das Antas, Rio de Janeiro, Brasil. **Rodriguésia**, Rio de Janeiro, v.57, n. 3, p. 46 – 476, 2006.

BARRETOS, A. C.; FREIRE, M. B. G. S.; NACIF, P. G. S.; ARAÚJO, Q. R.; FREIRE, J.; INÁCIO, E. S. B. Fracionamento químico e físico do carbono orgânico total em um solo de mata submetido a diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n.4, p. 1471-1478, jul./ago. 2008.

BARROS, N. F.; COMERFORD, N. B. Sustentabilidade da produção de florestas plantadas na região tropical. **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 2, p. 487-592, 2002.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO, L. Efeito de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO₂. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 24, n.3, p. 599-607, jul./set. 2000.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTO, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P., CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 2008. p. 7-16.

BENITES, V. M.; SCHAEFER, C. E. G. R.; MENDONÇA, E. S.; MARTIN-NETO; L. Caracterização da matéria orgânica e micromorfologia de solos sob campos de altitude no Parque Estadual da Serra do Brigadeiro (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 25, n. 3, p. 661-674, jul./set. 2001.

BENITES, V.M.; MÁDARI, B.; MACHADO, P.L.O.A. **Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo**: um procedimento simplificado e de baixo custo. Rio de Janeiro: Embrapa, 2003. 7p. (Comunicado Técnico, 16).

BOX, G.E.P. Some theorems on quadratic forms applied in the study of analysis of variance problems, I. **Annals Mathematical Statistics**, Hayward, v. 25, n.2, p. 290-302, 1954.

BRAIDA, J. A.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; SEQUINATO, L. Elasticidade do solo em função da umidade e do teor de carbono orgânico. **Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n.2, p. 477-485, mar./abr. 2008.

BRASIL. Ministério de Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão Pedológica. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul**. Recife, 1973. (Boletim Técnico DNPEA, 30).

CANELLAS, L. P.; BERNER, P. G.; SILVA, S. G.; SILVA, M. B.; SANTOS, G. A. Frações da matéria orgânica em seis solos de um topossequência no estado do Rio de Janeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 1, p. 133-143, jan. 2000.

CANELLAS, L. P.; SANTOS, G. A.; RUMJANEK, V. M.; MORAES, A. A. GURIDI, F. Distribuição da matéria orgânica e características de ácidos húmicos em solos com adição de resíduos de origem urbana. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 12, p. 1529-1538, dez. 2001.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R.F.; ALVARES V.; V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, v. 1, p. 375-470.

CASTRO, P. P. **Reserva e disponibilidade de nutrientes para o eucalipto em solos do Rio Grande do Sul**. 2006. 63p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)- Universidade Federal de Lavras, 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. **Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n.6, p. 1381-1396, Nov./dez. 2007.

- CORAZZA, E. J.; SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S. GOMES, A. C.
Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação a vegetação de cerrado. **Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, n.2, p. 425-432, abr./jun. 1999.
- DAY, P. R. Particle fractionation and particle-size analysis. In: BLACK, C. A.(Ed.). **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1965. v.1, p.545-566.
- DUDA, G. P.; CAMPELLO, E. F. C.; MENDONÇA, E. S.; LOURES J. L.; DOMINGOS M. Avaliação de frações de matéria orgânica do solo para caracterização de áreas degradadas. **Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, n.3, p. 723-728, jul./set. 1999.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análises de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: CNPS, 1997. 212p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação do solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: CNPS, 2006. 306p.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **Land degradation**. 2003. Disponível em: <<http://www.fao.org/ag/agl/agll/terrestat>>. Acesso em: 17 dez. 2008.
- FONTANA, A.; PEREIRA, M. G.; NASCIMENTO, G. B.; ANJOS, L. H. C.; EBELING, A. G. Matéria orgânica em solos de tabuleiros na região norte Fluminense-RJ. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 114-119, 2001.
- FURTINI NETO, A.E.; VALE, F.R.; RESENDE, A.V.; GUILHERME, L.R.G.; GUEDES, G.A.A. **Fertilidade do solo**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2001. 252p.
- GAMA-RODRIGUES, E. F.; BARROS, N. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; SANTOS, G. A. Nitrogênio, carbono e atividade da biomassa microbiana do solo em plantações de eucalipto. **Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 29, n. 6, p. 893-901, nov./dez. 2005.

GARAY, I.; KINDEL, A.; CARNEIRO, R.; FRANCO, A. A.; BARROS, E.; ABBADIE, L. Comparação da matéria orgânica e de outros atributos do solo entre plantações de *Acácia mangium* e *Eucalyptus grandis*. **Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 4, p. 705-712, jul./ago. 2003.

LEITE, F. P.; BARROS, N. F.; SANS, L. M. A.; FABRES, A. S. Regime hídrico do solo sob povoamentos de eucalipto, floresta nativa e pastagem na região de Guanhães-MG. **Revista Arvore**, v. 21, n. 4, p. 455-462, out./dez. 1997.

LEITE, L. F. C.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J. C. L.; MACHADO, P. L. O. A.; GALVÃO, J. C. C. Estoques totais de carbono orgânico e seus compartimentos em Argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. **Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 5, p. 821-832, set./out. 2003.

LIMA, A. M. N.; SILVA, I. R.; NEVES, J. C. L.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; MENDONÇA, E. S.; DEMOLINARI, M. S. M.; LEITE, F. P. Frações da matéria orgânica do solo após décadas de cultivo de eucalipto no vale do Rio Doce – MG. **Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 3, p. 1053-1063, maio/jun. 2008.

NEVES, C. M. N.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; MACEDO, R. L. G.; TOKURA, A. M. Estoque de carbono em sistema agrossilvopastoril, pastagem e eucalipto sob cultivo convencional na região noroeste do estado de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 5, p. 1038-1046, set./out. 2004.

PIRES, L. S.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; LEITE, F. P.; BRITO, L. F. Erosão hídrica pós-plantio em florestas de eucalipto na região centro leste de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 4, p. 687-695, abr. 2006.

PORTUGAL, A. F.; JUCKSCH, I. SCHAEFER, C. E. G. R.; WENDLING, B. Determinação de estoques totais de carbono e nitrogênio e suas frações em sistemas agrícolas implantados em Argissolo Vermelho-Amarelo. **Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 5, p. 2091-2100, set./out. 2008.

RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A. Estoque de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 6, p. 1609-1623, nov./dez. 2007.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria de Infra-Estrutura e Logística. **Atlas eólico**. Porto Alegre: SEMC, 2002. Disponível: <<http://www.semc.rs.gov.br>>. Acesso em: 2 mar. 2009.

SIDIRAS, N.; PAVAN, M. A. Influencia do sistema de manejo do solo no seu nível de fertilidade. **Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 9, n. 3, p. 249-254, set./out. 1985.

SILVA, M. A. S.; MAFRA, A. L.; ALBUQUERQUE, A.; ROSA, J. D.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Propriedades físicas e teor de carbono orgânico de um Argissolo Vermelho sob distintos sistemas de uso e manejo. **Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 30, n. 2, p. 329-337, abr./jun. 1999.

SIQUEIRA, J. O.; SOARES, C. R. F. S.; SILVA, C. A. Matéria orgânica em solos de áreas degradadas. In: SANTO, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P., CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. Porto Alegre: Gênese, 2008. p. 495-520.

STEVENSON, F.J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions**. New York: J. Wiley, 1994. 496 p.

STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C.; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; PINTO, L. F. S. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2. ed. rev. ampl. Porto Alegre: UFRGS, 2008. 222p.

VEZZANI, F. M.; TEDESCO, M. J.; BARROS, N. F. Alterações dos nutrientes no solo e nas plantas em consórcio de eucalipto e acácia negra. **Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 25, p. 225-231, 2001.

VEZZANI, F. M.; CONCEIÇÃO, P. C.; MELLO, N. A.; DIECKOW, J. Matéria orgânica e qualidade do solo. In: SANTO, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P., CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 2008. p.483-491.

YEOMANS, J.C.; BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.19, n.3, p.1467-1476, 1988.

ZANCADA, M. C.; ALMENDROS, G.; BALLESTA, R. J. Humus quality after eucalypt reforestations in Astúrias (Northern Spain). **The Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 313, n. 1-3, p. 245-258, Sept. 2003.

ANEXOS

Anexo A

TABELA 1 Resumo da análise de variância para a porcentagem de carbono total, em função dos tratamentos estudados.

Fonte de variação	gl	Quadrado médio (<i>valor-p</i>)		
		Terra Dura	Canafistula	Sanga das Pedras
Local (L)	4	0,8275 (p<0,0001)	20,3525 (p<0,0001)	10,2338 (p<0,0001)
Erro parcela	5	0,0097	0,0243	0,0087
Profund. (P)	2	7,0820 (p<0,0001)	261,5270 (p<0,0001)	74,3831 (p<0,0001)
L x P	8	0,3455 (p<0,0001)	11,7262 (p<0,0001)	10,5187 (p<0,0001)
Erro sub-parc.	10	0,0195	0,0256	0,0086
CV parcela (%)		5,30	3,36	3,11
CV sub-parc (%)		7,53	3,44	3,10
¹ Pr<W		0,9754	0,3969	0,5169

¹ Teste de normalidade de Shapiro-Wilk.

TABELA 2 Resumo da análise de variância para a porcentagem de ácido fúlvico, em função dos tratamentos estudados.

Fonte de variação	gl	Quadrado médio (<i>valor-p</i>)		
		Terra Dura	Canafistula	Sanga das Pedras
Local (L)	4	4,8346 (p=0,0103)	10,1146 (p<0,0001)	28,8205 (p<0,0001)
Erro parcela	5	0,4309	0,1057	0,3151
Profund. (P)	2	1,0383 (p=0,2839)	15,8157 (p<0,0001)	3,9734 (p<0,0001)
L x P	8	10,8722 (p<0,0001)	8,3758 (p<0,0001)	3,7994 (p<0,0001)
Erro sub-parc.	10	0,7251	0,0561	0,0978
CV parcela (%)		12,34	6,90	12,25
CV sub-parc (%)		16,00	5,03	6,83
¹ Pr<W		0,9403	0,4227	0,9978

¹ Teste de normalidade de Shapiro-Wilk.

TABELA 3 Resumo da análise de variância para a porcentagem de ácido húmico, em função dos tratamentos estudados.

Fonte de variação	gl	Quadrado médio (<i>valor-p</i>)		
		Terra Dura	Canafistula	Sanga das Pedras
Local (L)	4	16,4173 (p=0,0011)	7,7589 (p=0,0077)	16,3603 (p<0,0001)
Erro parcela	5	0,5452	0,6057	0,1459
Profund. (P)	2	21,6856 (p=0,0008)	28,0232 (p<0,0001)	5,7456 (p<0,0001)
L x P	8	6,4824 (p=0,0123)	15,4453 (p<0,0001)	8,1688 (p<0,0001)
Erro sub-parc.	10	1,3599	0,3254	0,0961
CV parcela (%)		9,88	9,63	5,78
CV sub-parc (%)		15,60	7,06	4,69
¹ Pr<W		0,9921	0,9998	0,1288

¹ Teste de normalidade de Shapiro-Wilk.

TABELA 4 Teores de fósforo remanescente dos solos dos hortos, matas e pastagens estudados.

Prof. cm	Horto Florestal Terra Dura	Horto Florestal Canafístula	Horto Florestal Sanga das Pedras
	¹ P-rem (mg.L ⁻¹)		
	TI		
0-5	32,9	44,7	25,2
5-20	24,4	27,7	27,9
20-40	21,7	23,0	14,7
	TMI		
0-5	30,3	48,8	46,0
5-20	21,1	24,4	15,6
20-40	14,7	9,1	6,5
	TMS		
0-5	26,8	53,7	27,7
5-20	19,4	27,7	9,7
20-40	5,2	9,9	5,2
	TS		
0-5	26,8	55,5	22,3
5-20	12,2	24,4	7,5
20-40	5,2	11,2	3,1
	MN		
0-5	43,4	50,4	27,2
5-20	22,3	28,7	8,8
20-40	24,4	18,3	4,7
	Pastagem nativa	Pastagem plantada	
	¹ P-rem (mg.L ⁻¹)		
0-5	17,4	46,0	
5-20	14,7	27,9	
20-40	2,2	5,4	

¹ P-rem= Fósforo remanescente

TABELA 5 Valores absolutos das substâncias húmicas para os solos dos hortos, matas e pastagens estudadas.

Horto Florestal Terra Dura			
Prof. cm	Fração ácido fúlvico	Fração ácido húmico	Fração humina
mg/g			
TI			
0-5	0,95	1,75	16,45
5-20	0,75	0,78	7,82
20-40	0,62	0,88	5,49
TMI			
0-5	1,27	1,87	15,64
5-20	0,81	1,13	6,84
20-40	0,47	1,22	6,44
TMS			
0-5	1,21	2,10	19,90
5-20	1,12	0,69	8,82
20-40	1,32	1,10	7,50
TS			
0-5	1,56	2,12	20,47
5-20	0,71	0,87	6,98
20-40	0,83	1,07	9,89
MN			
0-5	1,60	2,05	15,43
5-20	0,69	0,82	10,34
20-40	0,26	1,17	6,27

“...cont...”

TABELA 5, Cont.

Horto Florestal Canafístula			
Prof. cm	Fração ácido fúlvico	Fração ácido húmico	Fração humina
mg/g			
TI			
0-5	2,06	3,39	26,18
5-20	0,30	0,86	9,81
20-40	0,24	0,85	4,66
TMI			
0-5	3,25	6,36	75,26
5-20	1,28	1,21	9,65
20-40	1,46	1,59	9,36
TMS			
0-5	3,28	7,96	94,16
5-20	0,64	0,74	9,32
20-40	0,70	1,26	7,56
TS			
0-5	2,60	6,52	95,94
5-20	1,18	1,84	11,38
20-40	0,98	0,81	9,36
MN			
0-5	3,23	7,32	116,85
5-20	1,23	2,83	15,88
20-40	1,17	3,15	9,61

“...cont...”

TABELA 5, Cont.

Horto Florestal Sanga das Pedras			
Prof. cm	Fração ácido fúlvico	Fração ácido húmico	Fração humina
mg/g			
TI			
0-5	1,49	1,93	19,88
5-20	0,74	1,21	12,37
20-40	0,69	1,60	8,48
TMI			
0-5	3,50	8,95	90,51
5-20	0,89	0,98	11,58
20-40	0,78	1,46	7,85
TMS			
0-5	3,00	5,65	58,79
5-20	0,89	0,89	9,08
20-40	0,95	0,50	7,77
TS			
0-5	2,32	3,89	28,26
5-20	1,16	1,13	12,54
20-40	0,56	0,43	4,62
MN			
0-5	0,65	1,56	25,89
5-20	0,18	0,51	9,89
20-40	0,03	0,50	7,54
Pastagem nativa			
0-5	1,04	1,65	7,45
5-20	0,52	1,53	5,44
20-40	0,28	0,70	2,67
Pastagem plantada			
0-5	0,73	1,12	25,05
5-20	0,19	0,47	11,20
20-40	0,15	0,19	7,61

TABELA 6 Resultados de espectrometria de RMN para os solos dos hortos, matas e pastagens.

Horto Florestal Terra Dura			
Prof. cm	Nitrogênio	Carbono %	δ13C V-PDB
Média das situações de coletas			
0-5	1,2	3,4	-25,9
5-20	1,2	2,4	-24,1
20-40	1,1	1,7	-20,1
Mata Nativa Adjacente			
0-5	1,4	6,5	-26,3
5-20	1,2	2,6	-24,3
20-40	1,1	2,1	-23,5
Horto Florestal Canafístula			
Média das situações de coletas			
0-5	1,4	11,1	-27,6
5-20	1,2	4,4	-25,5
20-40	1,1	2,4	-21,7
Mata Nativa Adjacente			
0-5	1,8	17,2	-27,6
5-20	1,2	5,5	-25,5
20-40	1,3	7,7	-23,0
Horto Florestal Sanga das Pedras			
Média das situações de coletas			
0-5	1,3	6,3	-25,6
5-20	1,2	2,2	-20,7
20-40	1,1	1,7	-19,8
Mata Nativa Adjacente			
0-5	1,2	6,7	-25,5
5-20	1,1	2,5	-20,7
20-40	1,1	3,3	-21,8
Pastagem nativa			
0-5	1,2	4,0	-19,5
5-20	1,1	3,0	-20,1
20-40	1,1	1,3	-19,0
Pastagem plantada			
0-5	1,3	4,0	-22,7
5-20	1,1	2,5	-19,5
20-40	1,1	2,2	-19,2

Anexo B

Tratamento do resíduo de Cr

Para o tratamento do resíduo de Cr gerado durante as determinações de carbono, utilizou-se lã de aço comercial, numa proporção de 60g de lã de aço para 4L de resíduo contendo $12,2 \text{ g L}^{-1}$ de Cr, em média. Após o término da reação, que foi feita em capela, pois há liberação de gás hidrogênio, foi adicionado NaOH lentamente até que a solução ficasse com pH 14. Nesse pH ocorre a precipitação do Cr. No resíduo foi, então, filtrada a parte líquida, ajustou-se o pH para 7 e a mesma foi descartada; o resíduo sólido foi seco e estocado em local apropriado.