

ISSN 1678-2518

Dezembro, 2010

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Clima Temperado
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 123

Estoque e Caracterização por FTIR e DRUV-
VIS da Fração Grosseira da Matéria Orgânica
em Agregados de um Argissolo sob Eucalipto
e Pastagem

*Daiane Carvalho dos Santos
Cláudia Liane Rodrigues de Lima
Jaqueline Nicolini
Jeniffer Vanelle dos Santos
Betânia Fraga Pereira
Antonio Salvio Mangrich
Clenio Nailto Pillon*

Embrapa ClimaTemperado
Pelotas, RS
2010

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Clima Temperado

Endereço: BR 392 Km 78
Caixa Postal 403, CEP 96010-971 - Pelotas, RS
Fone: (53) 3275-8199
Fax: (53) 3275-8219 - 3275-8221
Home page: www.cpact.embrapa.br
E-mail: sac@cpact.embrapa.br

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: Ariano Martins de Magalhães Júnior

Secretária-Executiva: Joseane Mary Lopes Garcia

Membros: Ana Paula Schneid Afonso, Márcia Vizzotto, Giovanni Theisen, Luis Antônio Suita de Castro, Flávio Luiz Carpena Carvalho, Christiane Rodrigues Congro Bertoldi e Regina das Graças Vasconcelos dos Santos

Suplentes: Isabel Helena Verneti Azambuja e Beatriz Marti Emygdio

Supervisão editorial: Antônio Heberlê

Revisão de texto: Bárbara Chevallier Cosenza

Normalização bibliográfica: Graciela Olivella Oliveira

Editoração eletrônica e capa: Bárbara Neves de Britto

Foto da capa: Cláudia Liane Rodrigues de Lima

1ª edição

1ª impressão (2010): 50 exemplares

Todos os direitos reservados

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

Estoque e caracterização por FTIR e DRUV-VIS da fração grosseira da matéria orgânica em agregados de um argissolo sob eucalipto e pastagem / Daiane Carvalho dos Santos... [et al.]. — Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2010.
31 - p. : il. ; 21 cm . — (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Clima Temperado, ISSN 1678-2518 ; 123)

1. Qualidade do solo. 2. Solo. 3. Pastagem. I. Santos, Daiane Carvalho.
II. Série.

CDD 631.4

Sumário

Resumo.....	5
Abstract.....	7
Introdução.....	9
Material e Métodos.....	12
Resultados e Discussão.....	14
Conclusões.....	27
Referências.....	29

Estoque e Caracterização por FTIR e DRUV-VIS da Fração Grosseira da Matéria Orgânica em Agregados de um Argissolo sob Eucalipto e Pastagem

Daiane Carvalho dos Santos¹
Cláudia Liane Rodrigues de Lima²
Jaqueline Nicolini³
Jeniffer Vanelle dos Santos⁴
Betânia Fraga Pereira⁵
Antonio Salvio Mangrich⁶
Clenio Nailto Pillon⁷

Resumo

Estudos envolvendo o estoque de carbono e a caracterização da fração grosseira da matéria orgânica fornecem subsídios importantes para avaliação da qualidade do solo. Diante do exposto, o objetivo deste estudo foi avaliar os estoques de carbono na fração grosseira da matéria orgânica, os estoques de carbono associado aos minerais e a fração grosseira avaliada por espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) e espectroscopia de ultravioleta visível por refletância difusa (DRUV – VIS) em classes de agregados de um Argissolo Vermelho distrófico latossólico sob eucalipto após 13 e 20 anos de implantação, pastagem e mata nativa. As amostras de solo coletadas nas camadas de 0 m - 0,05 m e de 0,05 m - 0,10 m, foram secas ao ar, peneiradas em classes de agregados (8,00 mm - 4,76 mm; 4,76 mm - 2,00 mm; 2,00 mm

¹ Bióloga, Doutoranda da Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, santos.daianec@gmail.com

² Eng. Agríc. Doutora, professora do Departamento de Solos da UFPel, Pelotas, RS, clirlima@yahoo.com.br

³ Química, Doutoranda da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, jaquenicolini@gmail.com

⁴ Química, Mestre, pesquisadora FAPEG/Embrapa Clima Temperado, je_quimica@hotmail.com

⁵ Eng. Agrôn. Doutora, pesquisadora FAPEG/Embrapa Clima Temperado, betaniapereira@yahoo.com.br

⁶ Químico, Doutor, professor Senior, Departamento de Química da UFPR, mangrich@quimica.ufpr.br

⁷ Eng. Agrôn. Doutor, pesquisador da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS, pillon@cpact.embrapa.br

- 1,00 mm; 1,00 - 0,50 mm; 0,50 - 0,25 mm e < 0,25 mm) e submetidas ao *fracionamento* físico granulométrico da matéria orgânica. Concluiu-se que a produção de eucalipto com 20 anos e de pastagem permitiu a manutenção dos estoques totais de carbono da fração grosseira (CFG) e de carbono associado aos minerais (CAM) na camada superficial. A pastagem permitiu o acúmulo de CFG e CAM na camada de 0,05 m – 0,10 m em todas as classes de agregados. Os maiores estoques de CFG e do CAM ocorreram nas classes de agregados de maior tamanho. Por espectroscopias de FTIR e DRUV-VIS observou-se que os sistemas de uso do solo foram similares entre si. Por FTIR verificou-se a presença das bandas de absorção em 3.446 cm^{-1} e 1.080 cm^{-1} , características de estruturas de celulose. Bandas em 1.385 e 1.450 cm^{-1} foram relacionadas a estruturas de lignina. Bandas em 780 cm^{-1} foram atribuídas à presença de Si-O-Al e Si-O-Fe. Por DRUV-VIS, verificou-se que os íons de Fe^{3+} estão predominantemente em estruturas de goetita ($\alpha\text{-FeOOH}$), conforme indicado pela maior intensidade das bandas em torno de 300 nm, devidas a transições d-d do tipo ${}^6A_1 \rightarrow {}^4T_1$ (4P) nessa estrutura.

Termos para indexação: qualidade do solo, uso do solo, sistema florestal

Stock and Characterization by FTIR and DRUV-VIS of the Coarse Fraction of Organic Matter in aggregates of an Alfisol under Eucalyptus and Pasture

Daiane Carvalho dos Santos
Cláudia Liane Rodrigues de Lima
Jaqueline Nicolini
Jeniffer Vanelle dos Santos
Betânia Fraga Pereira
Antonio Salvio Mangrich
Clenio Nailto Pillon

Abstract

Studies involving the carbon stock and the coarse fraction characterization of organic matter provide important information for assessing soil quality. The objective of this study was to evaluate stocks of carbon in the coarse fraction of organic matter, the carbon associated to minerals and the coarse fraction characterization by FTIR and DRUV-VIS in aggregate classes of an Alfisol under eucalyptus after 13 to 20 years, pasture and native forest. Soil samples were collected in layers of 0 m to 0.05 m, 0.05 m to 0,10 m depth. Samples were air-dried, sieved into different aggregate classes (8.00 mm to 4.76 mm, 4.76 mm to 2.00 mm, 2.00 mm to 1.00 mm, 1.00 mm, to 0.50 mm to 0.50 mm to 0.25 mm and 0.25 < mm) and submitted to physical granulometric fragmentation of the organic matter. It was concluded that the commercial production of eucalyptus (20 years) and pasture maintained the total stocks of CFG and CAM in the surface layer. Pasture allowed the accumulation of CFG and CAM in the layer of 0.05 m to 0.10 m for all classes of aggregates. The largest stocks of CFG and CAM occurred in the classes of aggregates of larger size. By FTIR spectroscopy and DRUV-VIS it was observed that the

soil use systems were similar. FTIR analysis resulted in the presence of absorption bands at 3.446 cm^{-1} and 1.080 cm^{-1} , characterizing the existence of cellulose structures. Bands at 1.385 and 1.450 cm^{-1} were related to relative for lignin structures. Bands at 780 cm^{-1} were attributed to the presence of Si-O-Al and Si-O-Fe. The DRUV-VIS showed that Fe^{3+} ions prevail in goethite structures ($\alpha\text{-FeOOH}$) as indicated by increase of bands intensity around 300 nm due to d-d transitions of type ${}^6\text{A}_1 \rightarrow {}^4\text{T}_1$ (${}^4\text{P}$) in this structure .

Index terms: soil quality, land use, forest system

Introdução

A matéria orgânica (MO) representa um indicador de qualidade do solo, porque é sensível às práticas de manejo. Vários atributos do solo e do ambiente apresentam relação com a MO, como estabilidade de agregados, infiltração e retenção de água, susceptibilidade do solo à erosão, atividade biológica, nutrientes para as plantas, capacidade de troca de cátions (CTC) e a liberação de CO₂ e outros gases para atmosfera (MIELNICZUK, 2008).

Alterações na distribuição e estabilidade de agregados, nos estoques de carbono orgânico total (COT) e de nitrogênio total (NT) podem ser indicadores sensíveis às práticas de manejo em médio e longo prazo. Em curto prazo, alterações na proporção das frações lábeis da MO, como o carbono da matéria orgânica particulada (MOP), também conhecido como carbono orgânico particulado (COP) ou carbono da fração grosseira (CFG), obtido por técnica de fracionamento físico granulométrico, podem fornecer informações importantes sobre a sustentabilidade ambiental e sobre a qualidade do solo em agroecossistemas, permitindo correções na adoção de estratégias de uso e de manejo.

No monitoramento ambiental e de áreas agricultáveis, o uso de análises espectroscópicas, como espectroscopia de ultravioleta visível por refletância difusa (DRUV-VIS) e espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), apresentam vantagens por serem técnicas rápidas, econômicas e não destrutivas. A espectroscopia de FTIR é aplicada a estudos de análises químicas estruturais, sendo baseada na absorção de radiação infravermelha pelos modos de vibração das ligações entre os átomos. Amostras de solo são utilizadas para analisar estruturas químicas orgânicas e inorgânicas,

- 10 *Estoque e Caracterização por FTIR e DRUV-VIS da Fração Grosseira da Matéria Orgânica em Agregados de um Argissolo sob Eucalipto e Pastagem*

identificando grupos carboxilas, hidroxilas, aminas, amidas, estruturas alifáticas e aromáticas, silicatos e óxidos-hidróxidos metálicos. No entanto, pela espectroscopia de DRUV-VIS, há contribuição da policondensação aromática em moléculas isoladas e também a contribuição destas moléculas “empacotadas” (GUIMARÃES, 2006). Além disso, tem-se utilizado a espectroscopia de DRUV-VIS para avaliar a presença de estruturas inorgânicas, principalmente as relacionadas com a presença de íons de Fe^{3+} (FUKAMACHI et al., 2007).

Diante deste contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar os estoques de carbono na fração grosseira da matéria orgânica, carbono orgânico associado aos minerais e a caracterização por FTIR e DRUV-VIS da fração grosseira

Material e Métodos

O presente estudo foi realizado em áreas de produção florestal de eucalipto com diferentes tempos de implantação, pertencentes à CMPC Celulose Riograndense, em área sob pastagem e em uma área de mata nativa, localizadas no município de Butiá - RS.

O clima da região é classificado, segundo Köppen, como “Cfa”, clima subtropical, úmido e sem estiagem. A temperatura média anual desta região é de 18°C, com temperaturas médias máximas e mínimas no ano de 24 e 14°C, respectivamente. O solo foi classificado como Argissolo Vermelho distrófico latossólico Tb A moderado, textura média/argilosa com cascalhos, relevo suave ondulado e ondulado (SANTOS et al., 2006).

A área E1, localizada entre as coordenadas 30°06’06’’ S e 51°52’22’’ W, apresentava cultivo comercial de *Eucalyptus saligna* com 13 anos de implantação. Para todas as áreas, os dados são válidos para o mês de setembro de 2006, época em que foram realizadas as coletas. O solo desta área foi preparado com uso do escarificador e de grade pesada, sendo o primeiro corte do eucalipto efetuado aos 8,5 anos de idade. Um segundo plantio foi efetuado nas entrelinhas, no ano de 2002. Esta área

mede aproximadamente 17 hectares. A distância entre linhas de plantio é de 3 m, e de 2 m entre plantas. Por ocasião do plantio, utilizou-se fosfato natural no sulco de plantio na dose de 200 kg ha⁻¹. Em cobertura, efetuou-se a aplicação de adubo da fórmula NPK 20-0-20 na dose de 200 g planta⁻¹. Ressalta-se, ainda, que não foi realizada queima de resíduos vegetais nesta área (Figura 1a).

A área E2, localizada entre as coordenadas 30°06'11'' S e 51°52'42'' W, compreende cultivo de *Eucalyptus saligna* com 20 anos, em uma área de aproximadamente 3 hectares. Esta área apresenta manejo similar à área anterior, sendo que, neste plantio, não foi realizado o corte das plantas (Figura 1b).

A pastagem (PAST), localizada entre as coordenadas 30°06'13'' S e 51°52'34'' W, apresenta braquiária brizanta (*Brachiaria brizantha*) consorciada com pensacola (*Paspalum lourai*) e trevo (*Trifolium sp.*). A pastagem foi implantada em uma área de 1.200 hectares sob preparo convencional, contemplando cinco anos no mês de coleta das amostras. Historicamente, a área era utilizada para pecuária extensiva (Figura 1c).

A mata nativa (MN), adjacente às demais áreas, está localizada entre as coordenadas 30°06'14'' S e 51°52'27'' W e representa um remanescente de vegetação nativa da região, composta por diversas espécies arbóreas e arbustivas, com altura de aproximadamente quatro metros (Figura 1d).

Para a coleta foram utilizadas, aleatoriamente, três trincheiras em cada área, localizadas próximas uma das outras. Foram coletadas amostras com estrutura deformada e indeformada para a quantificação de COT e de densidade do solo, respectivamente, nas camadas de 0 m - 0,05 m e de 0,05 m - 0,10 m. A densidade do solo disponível em Suzuki (2008) foi utilizada para o cálculo do estoque de COT.

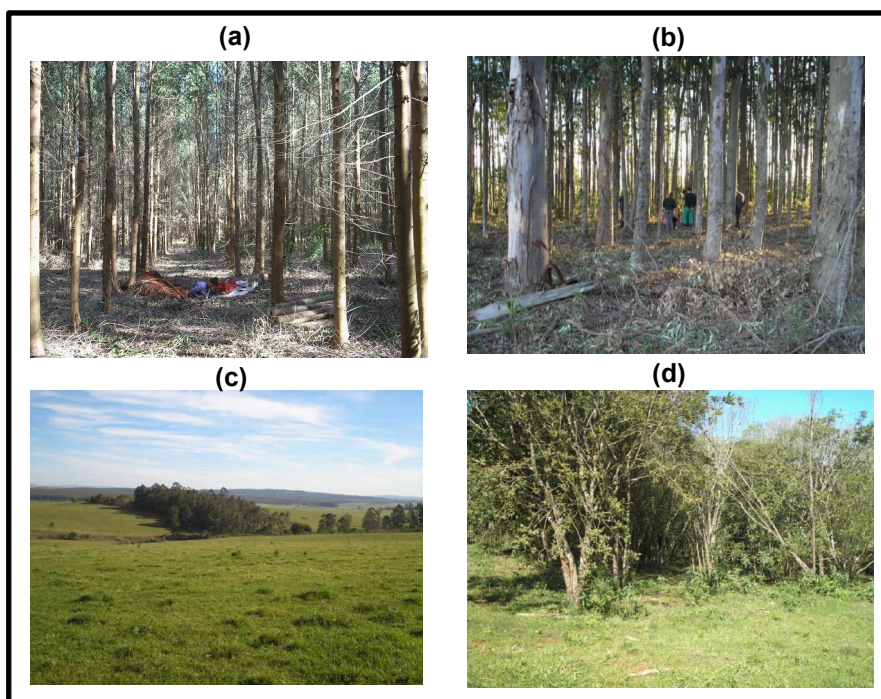


Figura 1. (a) Área de eucalipto por 13 anos (E1); (b) Área de eucalipto por 20 anos (E2); (c) Área de pastagem (PAST) e (d) Mata nativa (MN).

Fotos: Cláudia Liane Rodrigues de Lima

As amostras deformadas foram destorroadas e secas ao ar por aproximadamente 72 horas e, posteriormente, pesadas e peneiradas para a separação do solo em classes de tamanho de agregados (8,00 mm - 4,76 mm; 4,76 mm - 2,00 mm; 2,00 mm - 1,00 mm; 1,00 mm - 0,50 mm; 0,50 mm - 0,25 mm e < 0,25 mm). O processo de peneiramento foi realizado manualmente, agitando-se horizontalmente o conjunto de peneiras por 15 vezes, girando-se em 90° e repetindo-se o processo por mais 15 vezes.

Após a distribuição em classes de agregados, parte do solo foi moída em almofariz de ágata para a determinação do carbono. A outra parte do solo, em cada uma das classes de agregados, foi destinada ao fracionamento físico granulométrico para a obtenção do carbono da fração grosseira (CFG > 53 μm) e do carbono associado aos minerais (CAM < 53 μm), segundo Cambardella e Elliott (1992).

Os teores de COT e de CFG em cada classe de agregados foram quantificados pela oxidação a seco. A quantificação do estoque de carbono foi estabelecida pelo produto de carbono correspondente à quantidade de agregados retidos em cada peneira pela massa de solo, considerando a densidade e o volume de cada camada. O CAM foi obtido pela diferença entre o carbono do solo e o CFG.

Para o cálculo do estoque total de cada sistema e uso, somaram-se os estoques obtidos em cada classe de agregados.

Visando reduzir a interferência da matriz mineral e de metais, e aumentar a concentração de carbono, as amostras provenientes de CFG foram submetidas a tratamento com solução aquosa de HF 10%, segundo metodologia descrita em Dick et al. (2005, 2006).

Os espectros de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) por transmitância foram registrados em espectrofotômetro Bomem FTIR, série MB100, utilizando-se pastilhas preparadas com misturas de aproximadamente 1 mg de amostra e 99 mg de KBr de grau espectroscópico. Para cada espectro foram somadas 32 varreduras com resolução de 4 cm^{-1} na região de 4.000 a 400 cm^{-1} .

As análises de Espectroscopia no Ultravioleta e Visível por Reflectância Difusa (DRUV-VIS) das amostras sólidas foram realizadas utilizando-se espectrofotômetro Shimadzu UV-2401PC com acessório para integração de área. Os espectros de reflectância foram convertidos para a função de reemissão Kubelka-Munk, definida por $f(KM) = (1 - R)^2 / 2R = k/s$ (SHERMAN; WAIT, 1985), em que R é a reflectância, k é o coeficiente de absorção e s é o coeficiente de dispersão. Admitindo-se que o coeficiente de dispersão varia ligeiramente, regiões da função de reemissão e as regiões de absorção do espectro devem ser idênticas.

Convencionou-se utilizar as amostras do CFG da camada de 0 m a 0,05 m dos sistemas E1, PAST e MN para as análises de FTIR e DRUV-VIS. Estas análises foram realizadas no laboratório de Projetos e Processos Ambientais do Departamento de Química da UFPR, Curitiba (PR).

Foi estabelecida a relação linear entre a porcentagem de agregados secos retidos em cada peneira e a concentração de CFG e CAM.

14 *Estoque e Caracterização por FTIR e DRUV-VIS da Fração Grosseira da Matéria Orgânica em Agregados de um Argissolo sob Eucalipto e Pastagem*

Os resultados de CFG e do CAM nas diferentes classes de agregados foram avaliados utilizando-se a técnica de contrastes ortogonais em nível de 5% de probabilidade, com o auxílio do software SAS.

Resultados e Discussão

Com base nos contrastes ortogonais da camada superficial (0 m – 0,05 m) foi verificada diferença no estoque de CFG nas classes de diâmetro que compreendem de 4,76 mm a < 0,25 mm (Tabela 1). Na classe de agregados de 4,76 mm – 2,00 mm, o estoque de CFG decresceu na ordem PAST > E2 > MN > E1, sendo verificadas diferenças nos contrastes ortogonais somente entre a PAST e o E1, representada respectivamente em 0,72 Mg ha⁻¹ e 0,37 Mg ha⁻¹ de CFG (Figura 2).

Tabela 1. Contrastes ortogonais, valor de F e significância para o estoque de carbono da fração grosseira (CFG) sob sistemas de uso e camadas de um Argissolo Vermelho. Butiá, RS, setembro/2006.

Contrastes ¹	Classes de diâmetro (mm)						Total
	8,00 – 4,76	4,76 – 2,00	2,00 – 1,00	1,00 – 0,50	0,50 - 0,25	< 0,25	
----- 0 m – 0,05 m -----							
E1 vs E2	0,20 ^{ns}	2,05 ^{ns}	13,30*	0,91 ^{ns}	26,53*	6,37*	8,68*
E1 vs PAST	4,84 ^{ns}	6,09*	0,69 ^{ns}	0,00 ^{ns}	7,55*	3,29 ^{ns}	5,07 ^{ns}
E1 vs MN	2,43 ^{ns}	1,12 ^{ns}	3,18 ^{ns}	2,82 ^{ns}	27,25*	1,59 ^{ns}	4,14 ^{ns}
PAST vs E2	3,06 ^{ns}	1,07 ^{ns}	7,93*	0,97 ^{ns}	62,38**	0,50 ^{ns}	0,46 ^{ns}
PAST vs MN	0,41 ^{ns}	1,99 ^{ns}	0,91 ^{ns}	2,72 ^{ns}	6,11*	0,30 ^{ns}	0,05 ^{ns}
MN vs E2	1,23 ^{ns}	0,14 ^{ns}	3,47 ^{ns}	6,94*	107,55**	1,59 ^{ns}	0,83 ^{ns}
----- 0,05 m – 0,10 m -----							
E1 vs E2	5,86*	0,54 ^{ns}	4,21 ^{ns}	2,11 ^{ns}	3,69 ^{ns}	2,22 ^{ns}	3,39 ^{ns}
E1 vs PAST	82,79**	13,12*	26,30*	12,52*	7,93 ^{ns}	10,76*	34,43*
E1 vs MN	2,26 ^{ns}	5,30*	12,48*	4,35 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,36 ^{ns}	6,24*
PAST vs E2	44,60*	8,33*	9,47*	4,35 ^{ns}	0,80 ^{ns}	3,20 ^{ns}	16,22*
PAST vs MN	57,71**	1,74 ^{ns}	2,55 ^{ns}	2,11 ^{ns}	7,23*	7,20*	11,35*
MN vs E2	0,84 ^{ns}	2,45 ^{ns}	2,19 ^{ns}	0,40 ^{ns}	3,21 ^{ns}	0,80 ^{ns}	0,43 ^{ns}

¹E1 - Eucalipto de 13 anos; E2 - Eucalipto de 20 anos; PAST - Pastagem e MN - Mata Nativa.

vs - versus; ^{ns} - não-significativo; * - significativo a 5% de probabilidade e ** - significativo a 1% de probabilidade.

Na classe de agregados de 2,00 mm – 1,00 mm, 0,50 mm – 0,25 mm e <0,25 mm, na camada superficial (0m – 0,05 m), maiores estoques foram verificados em E2 e E1 respectivamente (Figura 2). Mendham et al. (2004) encontraram valores mais elevados de CFG em plantações de eucalipto, em comparação a sistemas com pastagens, e atribuíram essa diferença à natureza química e física dos resíduos do eucalipto (material mais grosseiro), onde a serrapilheira e as raízes mais lenhosas apresentam maiores quantidades de lignina e tanino, em comparação à pastagem (espécie herbácea), sendo os resíduos culturais das pastagens mais susceptíveis aos processos de decomposição.

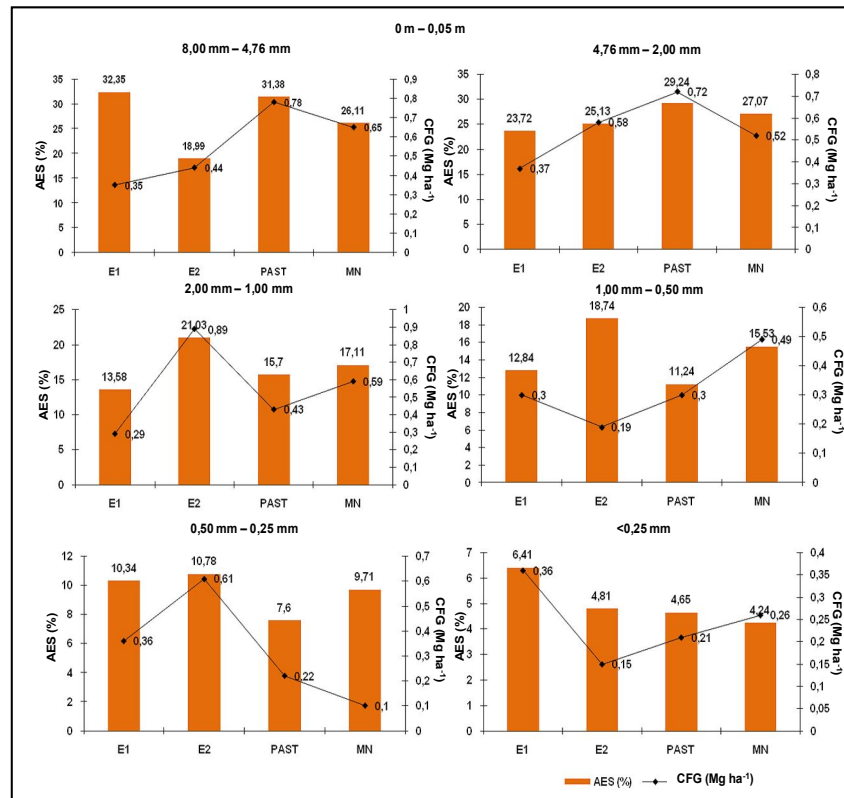


Figura 2. Estoque de carbono da fração grosseira (CFG) em classes de agregados sob sistemas de uso em um Argissolo Vermelho na camada de 0 m a 0,05 m. E1 - Eucalipto de 13 anos; E2 - Eucalipto de 20 anos; PAST - Pastagem e MN - Mata Nativa.

Na camada de 0,05 m a 0,10 m, foram observadas diferenças entre os sistemas de uso do solo nas classes de 8,00 mm a <0,25 mm. Os maiores estoques para todas as classes de diâmetro de agregados foram observados no sistema PAST (Tabela 1 e Figura 3). Salton et al. (2008) observaram agregados estáveis nas classes de maior diâmetro nos sistemas que apresentavam pastagens e atribuíram o fato ao aporte de COT via sistema radicular das gramíneas, fundamental para a existência de agregados estáveis. Para camadas subsuperficiais, Neves et al. (2004) observaram estoques de COT em pastagens iguais aos da mata natural, o que pode ser atribuído à alta densidade do sistema radicular das gramíneas. As gramíneas são ricas em celulose, hemicelulose e lignina, sendo, por isso, importantes para uso em cobertura de solo (SOUZA; MELO, 2003).

Bronick e Lal (2005) relataram importantes efeitos das raízes na formação e estabilidade de agregados. As gramíneas têm recebido atenção especial, diante do efeito que apresentam na maior agregação e na maior estabilidade dos agregados. Este efeito pode ser proporcionado pela liberação de exsudados, cujos compostos orgânicos podem contribuir para o acúmulo de MO (GOLCHIN et al., 1994; PALADINI; MIELNICZUK, 1991; SALTON et al., 2008; SILVA; MIELNICZUK, 1997).

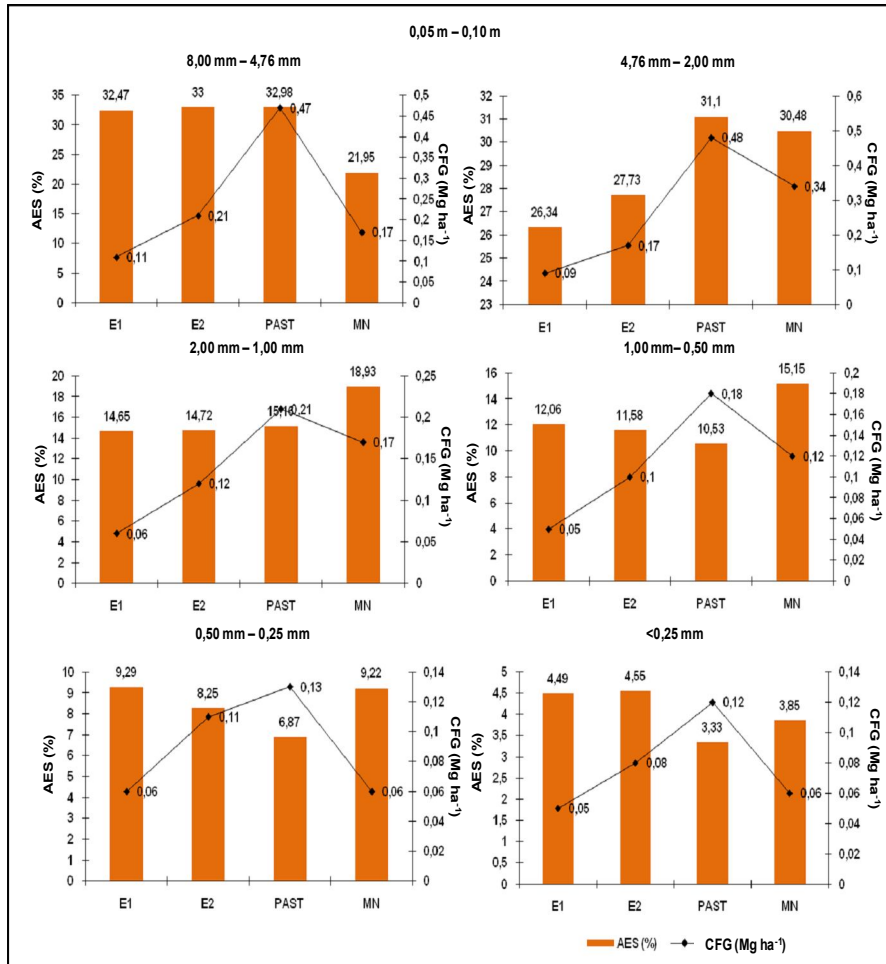


Figura 3. Estoque de carbono da fração grosseira (CFG) em classes de agregados sob sistemas de uso em um Argissolo Vermelho na camada de 0,05 m a 0,10 m. E1 - Eucalipto de 13 anos; E2 - Eucalipto de 20 anos; PAST - Pastagem e MN - Mata Nativa.

Na camada de 0 m – 0,05 m (Tabela 2), os contrastes ortogonais indicam diferenças entre os estoques de CAM, nas classes entre 4,76 mm a 0,50 mm, sendo, de modo geral, os valores mais elevados observados na MN e no E2 (Figura 4), possivelmente em função da MN ser um sistema natural e o E2 um sistema de histórico de operações florestais mais antigo. O CAM compreende moléculas orgânicas que apresentam forte interação com os minerais presentes nas frações silte e argila, com alto grau de humificação (MARTIN-NETO et al., 1994) e maior recalcitrância (CATROUX; SCHNITZE, 1987).

Tabela 2. Contrastes ortogonais, valor de F e significância para o estoque de carbono associado aos minerais (CAM) da matéria orgânica entre sistemas de uso e camadas de um Argissolo Vermelho. Butiá, RS, setembro/2006.

Contrastes ¹	Classes de diâmetro (mm)						Total
	8,00 – 4,76	4,76 – 2,00	2,00 – 1,00	1,00 – 0,50	0,50 - 0,25	< 0,25	
----- 0 m – 0,05 m -----							
E1 vs E2	0,69 ^{ns}	2,43 ^{ns}	7,90*	13,84*	0,56 ^{ns}	0,03 ^{ns}	2,96 ^{ns}
E1 vs PAST	0,11 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,38 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,76 ^{ns}	4,84 ^{ns}	0,01 ^{ns}
E1 vs MN	0,18 ^{ns}	8,74*	10,10*	2,49 ^{ns}	1,10 ^{ns}	2,94 ^{ns}	4,37 ^{ns}
PAST vs E2	1,35 ^{ns}	0,95 ^{ns}	4,83 ^{ns}	16,45*	2,63 ^{ns}	4,10 ^{ns}	3,29 ^{ns}
PAST vs MN	0,01 ^{ns}	5,52*	6,58*	3,66 ^{ns}	3,69 ^{ns}	0,23 ^{ns}	4,76 ^{ns}
MN vs E2	1,58 ^{ns}	1,95 ^{ns}	0,14 ^{ns}	4,59 ^{ns}	0,09 ^{ns}	2,37 ^{ns}	0,14 ^{ns}
----- 0,05 m – 0,10 m -----							
E1 vs E2	0,01 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,61 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,53 ^{ns}	0,79 ^{ns}	0,18 ^{ns}
E1 vs PAST	1,48 ^{ns}	7,04*	3,14 ^{ns}	1,91 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,52 ^{ns}	7,15*
E1 vs MN	0,78 ^{ns}	7,22*	11,22*	7,16*	0,71 ^{ns}	0,21 ^{ns}	4,12 ^{ns}
PAST vs E2	1,78 ^{ns}	6,05*	6,52*	1,38 ^{ns}	0,56 ^{ns}	0,03 ^{ns}	9,55*
PAST vs MN	4,42 ^{ns}	0,00 ^{ns}	2,49 ^{ns}	1,68 ^{ns}	0,68 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,41 ^{ns}
MN vs E2	0,59 ^{ns}	6,22*	17,07*	6,09*	2,48 ^{ns}	0,19 ^{ns}	6,01*

¹E1 - Eucalipto de 13 anos; E2 - Eucalipto de 20 anos; PAST - Pastagem e MN - Mata Nativa.

vs - versus; ^{ns} - não-significativo; * - significativo a 5% de probabilidade e ** - significativo a 1% de probabilidade.

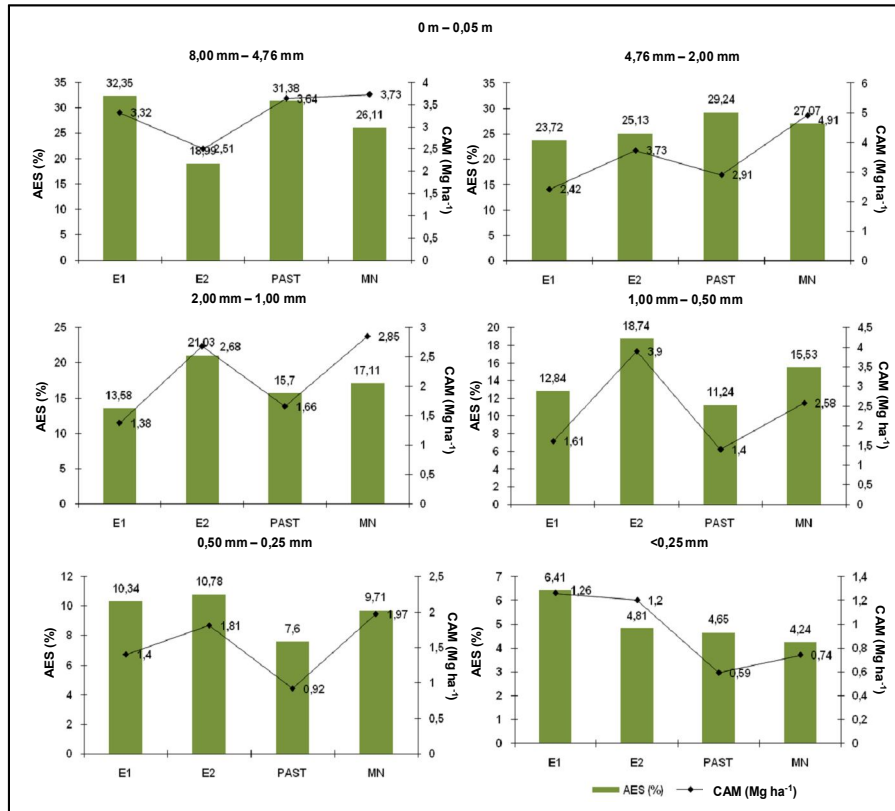


Figura 4. Estoque de carbono da fração associada aos minerais (CAM) em classes de agregados sob sistemas de uso em um Argissolo Vermelho na camada de 0 m a 0,05 m. E1 - Eucalipto de 13 anos; E2 - Eucalipto de 20 anos; PAST - Pastagem e MN - Mata Nativa.

20 *Estoque e Caracterização por FTIR e DRUV-VIS da Fração Grosseira da Matéria Orgânica em Agregados de um Argissolo sob Eucalipto e Pastagem*

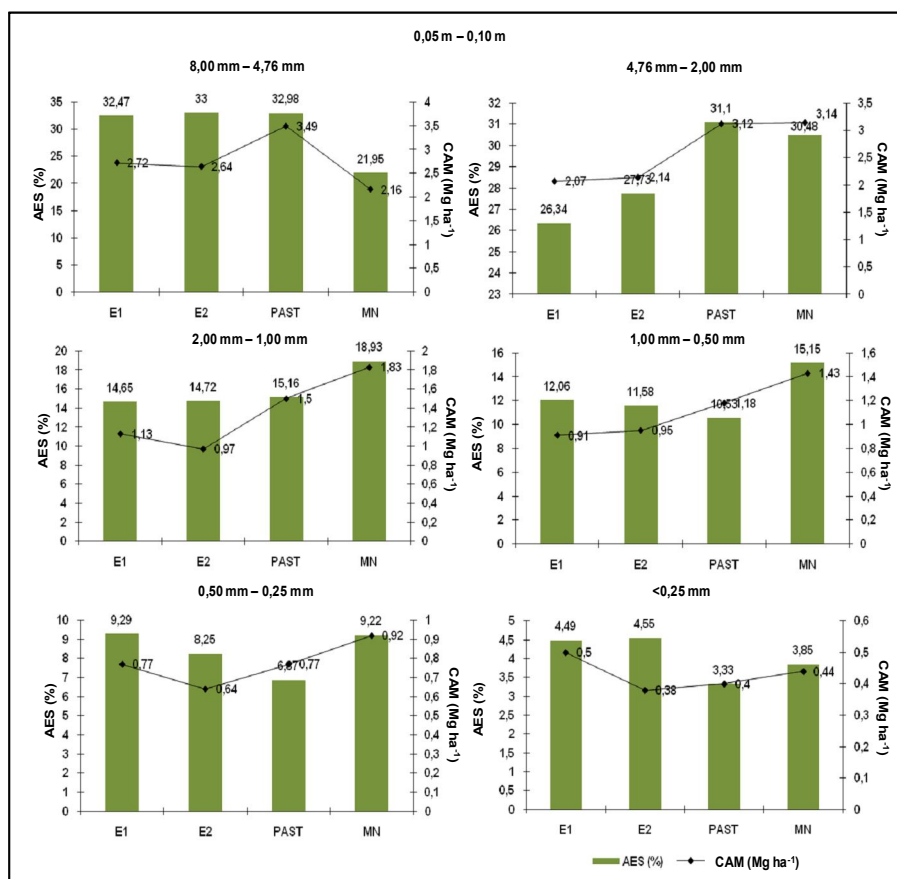


Figura 5. Estoque de carbono da fração grosseira (CFG) em classes de agregados sob sistemas de uso em um Argissolo Vermelho na camada de 0,05 m a 0,10 m. E1 - Eucalipto de 13 anos; E2 - Eucalipto de 20 anos; PAST - Pastagem e MN - Mata Nativa.

A camada de 0,05 m a 0,10 m apresentou diferenças nos contrastes nas classes de diâmetro entre 4,76 mm a 0,50 mm. Os estoques mais elevados de CAM foram observados nos sistemas MN e PAST (Figura 5). O maior estoque de COT em sistemas naturais pode ser explicado pela não utilização agrícola, havendo, neste caso, uma maior estabilização da MO (AMADO et al., 2006).

Analisando os resultados absolutos, os maiores estoques de CFG e CAM, de modo geral, em todos os sistemas de uso avaliados, foram verificados nas classes de agregados de maior diâmetro (Figuras 2, 3, 4 e 5). O maior estoque de carbono determina maior estabilidade de agregados, que, por sua vez, promove maior proteção física à MO (COSTA et al., 2004). Wright e Hons (2005) também observaram maiores estoques de COT nas maiores classes de tamanho de agregados sob diferentes sistemas de manejo do solo.

Com base nos contrastes ortogonais da camada superficial (0 m – 0,05 m) foi verificada diferença no estoque total de CFG. O E2 (2,86 Mg ha⁻¹) foi superior estatisticamente ao E1 (2,04 Mg ha⁻¹) (Tabela 1 e Figura 6). Concentrações mais elevadas de MO em camadas superficiais estão diretamente relacionadas ao processo de adição de resíduos vegetais pela parte aérea das culturas na superfície do solo (BAYER, 1996; BAYER et al., 2000; BURLE et al., 1997; DIEKOW, 2003; PILLON, 2000). Por ser a mesma cultura, o tempo de cultivo pode estar influenciando no maior estoque total de CFG no E2 (20 anos) em comparação ao E1 (13 anos).

O estoque total de CFG foi influenciado pelo sistema de uso do solo também na camada de 0,05 m – 0,10 m, conforme indicam os contrastes na Tabela 1. A pastagem (PAST) foi superior ao E1, ao E2 e à MN. A MN foi superior somente ao E1 (Figura 6). Possivelmente, a pastagem (PAST), nesta camada, foi favorecida pelo sistema radicular das gramíneas que, mesmo implantadas recentemente (cinco anos), devem ter contribuído para o maior aporte de resíduos culturais ao solo e/ou a redistribuição da MO em profundidade durante a implantação da pastagem.

Os estoques totais de CAM foram influenciados pelo uso do solo na camada de 0,05 m a 0,10 m, conforme demonstram os contrastes ortogonais na Tabela 2. O maior estoque total de CAM foi verificado na PAST, sendo superior ao E1 e ao E2 (Figura 6). Possivelmente, este maior estoque de CAM na pastagem (PAST) pode estar relacionado à liberação de compostos orgânicos via sistema radicular das gramíneas (GOLCHIN et al., 1994; PALADINI; MIELNICZUK, 1991; SALTON et al., 2008; SILVA; MIELNICZUK, 1997).

22 *Estoque e Caracterização por FTIR e DRUV-VIS da Fração Grosseira da Matéria Orgânica em Agregados de um Argissolo sob Eucalipto e Pastagem*

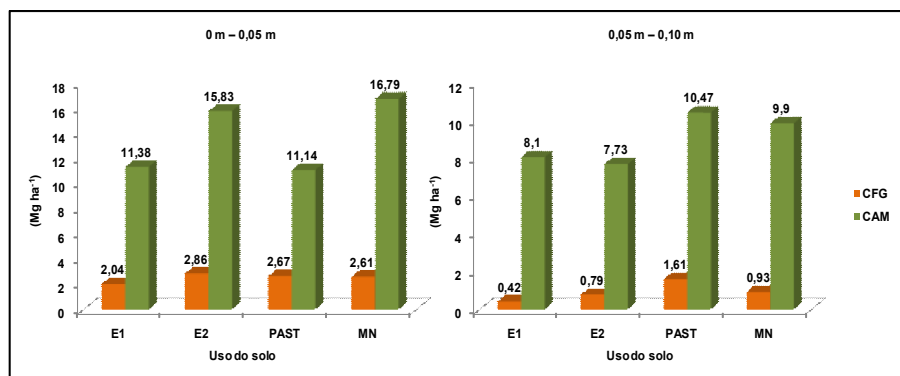


Figura 6. Estoque de carbono da fração grosseira (CFG) e carbono associado aos minerais sob sistemas de uso e camadas de um Argissolo Vermelho. E1 - Eucalipto de 13 anos; E2 - Eucalipto de 20 anos; PAST - Pastagem e MN - Mata Nativa.

A porcentagem de agregados estáveis a seco apresentou relação com o CAM (Figura 7). A proteção do CAM pelos agregados ocorre pela maior resistência à decomposição, uma vez que, além da interação organomineral, o acesso dos microrganismos e, principalmente, a aeração são restritos em comparação aos compostos orgânicos livres (fração grosseira). Sistemas conservacionistas de uso e manejo resultam, geralmente, em maior agregação do solo, pelo aporte de material vegetal e pela ausência de operações de preparo do solo, que promovem a perda de carbono do solo pela ruptura dos macroagregados (SIX et al., 2004). Segundo Six et al. (1998), a manutenção de MO protegida nos agregados do solo não cultivado e/ou em plantio direto aumenta o período de interação do material particulado com os argilominerais, devido ao maior tempo de ciclagem da MO nos macroagregados, permitindo que as reações de complexação ocorram mais efetivamente. Salton et al. (2005) relacionaram o CAM com o diâmetro médio ponderado de agregados (DMP) e encontraram $R^2 = 0,99, 0,83$ e $0,71$ em diferentes Latossolos na camada de 0 m a 0,20 m, respectivamente, nas cidades de Maracaju, Dourados e Campo Grande - MS.

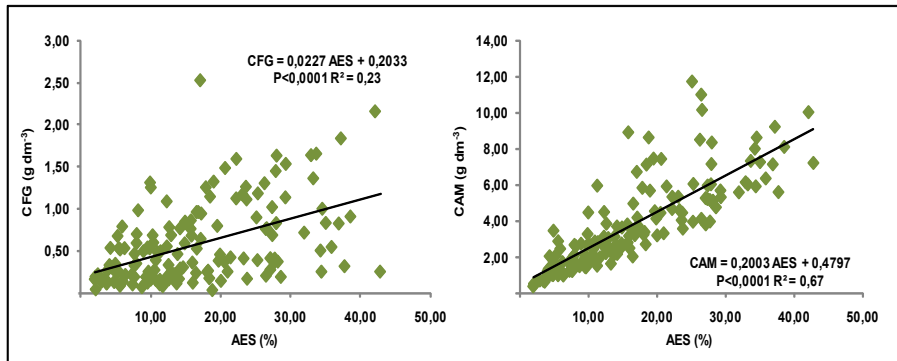


Figura 7. Relação entre os agregados estáveis seco (AES), carbono da fração grosseira (CFG) e o carbono associado aos minerais (CAM) de um Argissolo Vermelho, sob sistemas de uso do solo até 0,10 m.

As análises, realizadas por FTIR, dos sistemas E1, PAST e MN na camada superficial (0 m a 0,05 m), são apresentadas na Figura 8. De modo geral, os sistemas de uso do solo estudados não diferiram quanto aos tipos de grupos funcionais presentes (Figura 8 a, b e c). Bandas de absorção entre $3.500-3.250\text{ cm}^{-1}$ são relacionadas à vibração OH de ligação de hidrogênio de água proveniente da umidade das amostras, ou de hidroxila, ligada a estruturas aromáticas que compõem a matéria orgânica e as substâncias húmicas presentes no solo (SILVA et al., 2008), além de estiramento vibracional (ν) de grupos hidroxilas ligados a íons metálicos, classificados como ácidos duros (AlO-H, FeO-H e SiO-H) (NAYAK; SINGH, 2007; SILVERSTEIN; WEBSTER, 1998). Verifica-se, também, que as bandas de absorção em 3.446 cm^{-1} (ν O-H) e 1.080 cm^{-1} (ν C-O) são características da presença de celulose (ARTZ et al. 2008; COCOZZA et al. 2003). Em 2.925 cm^{-1} e 2.855 cm^{-1} , há a presença de bandas referentes ao estiramento dos grupos C-H de estruturas alifáticas. Essas bandas apresentam-se mais intensas no sistema E1 e menos intensas nos sistemas PAST e MN, sendo referentes à presença de MOS (Figura 8). Essas bandas são mais pronunciadas no E1 na classe de agregados de 8,00 mm a 4,76 mm. Possivelmente neste sistema (E1) esteja havendo maior adição de matéria orgânica alifática, ou seja, prontamente disponível à decomposição microbiana. A banda em 1.635 cm^{-1} refere-se basicamente à deformação angular de moléculas de água. Bandas em 1.385 e 1.450 cm^{-1} são

relativas a estruturas de lignina (ARTZ et al. 2008; COCOZZA et al. 2003).

Absorções entre $1.200 - 1.000 \text{ cm}^{-1}$ podem ser atribuídas ao estiramento de C-O de polissacarídeos (carboidratos) e estiramento de Si-O de silicatos. Bandas em 780 cm^{-1} são atribuídas a torções vibracionais (δ) de ligação Si-O-Al, Si-O-Fe (NAYAK; SINGH, 2007). Essas bandas são observadas nos três sistemas de uso do solo e em todas as classes de diâmetros de agregados (Figura 8).

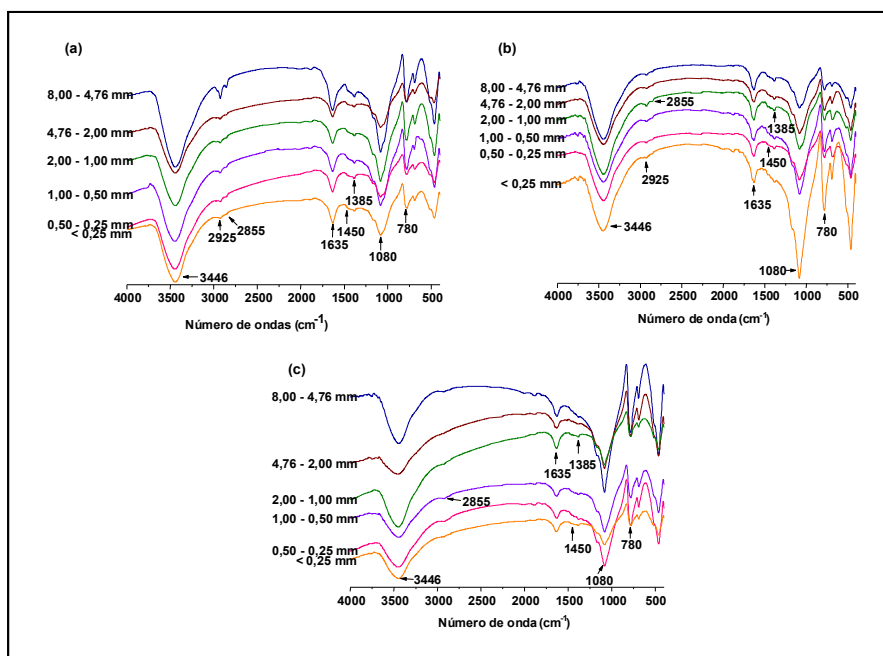


Figura 8. Espectros de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) do carbono da fração grosseira de um Argissolo sob (a) eucalipto de 13 anos (E1), (b) pastagem (PAST) e (c) mata nativa (MN) na camada de 0 m a 0,05 m.

Por espectroscopia de DRUV-VIS pode ser observada a ocorrência de transições em complexos de íons Fe^{3+} , em estruturas de hematita ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) e de goetita ($\alpha\text{-FeOOH}$) (Figura 9). São as transições eletrônicas entre orbitais d, nessas estruturas, as responsáveis pelas cores marrom, vermelha ou amarela dos perfis de solos, e não as bandas de transferência de

carga ligante-metal (CTLM) (FUKAMACHI et al., 2007; SHERMAN; WAITE, 1985).

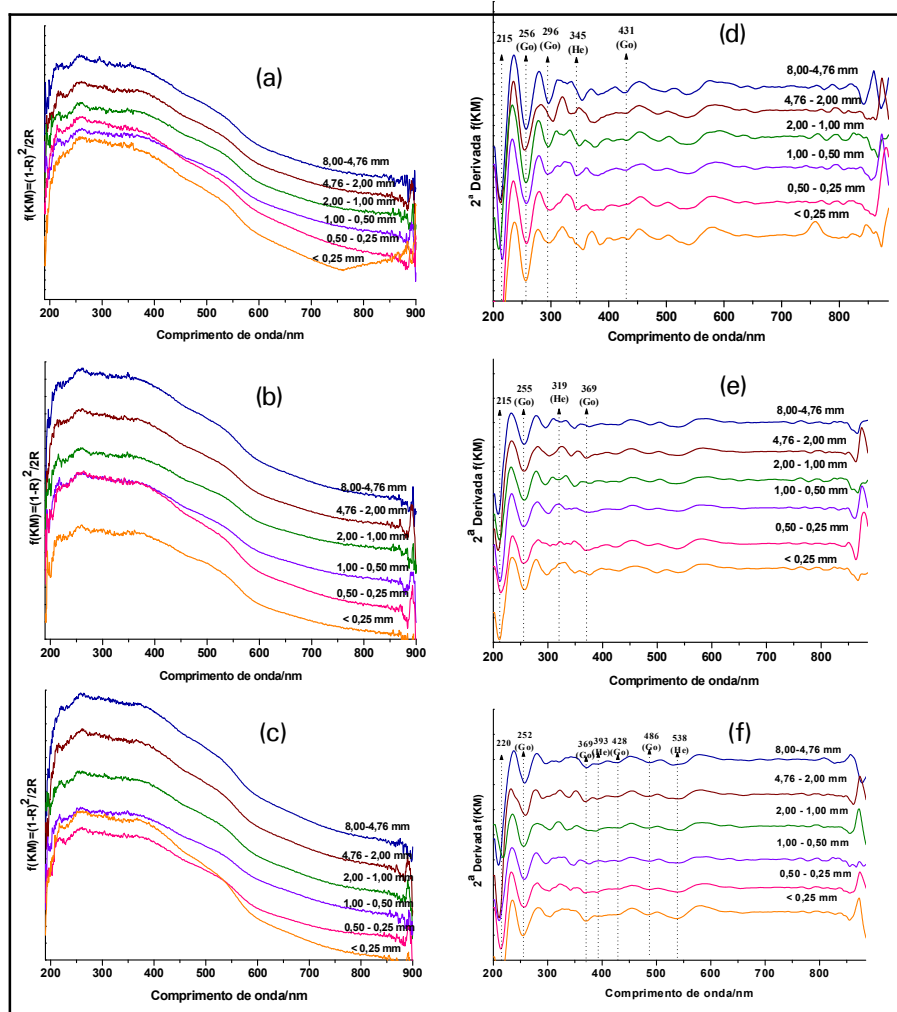


Figura 9. Espectros de ultravioleta visível por refletância difusa (DRUV-VIS) do carbono da fração grosseira do solo na camada superficial (0 m a 0,05 m) (a, b e c) em classes de agregados de um Argissolo Vermelho sob Eucalipto 13 anos, pastagem e mata nativa, respectivamente, entre 190 nm -900 nm. Segunda derivada da função Kubelka-Munk entre 200 nm e 885 nm (d, e e f).

α

A segunda derivada de modo de remissão da função Kubelka-Munk apresenta uma melhor resolução dos espectros de absorção de DRUV-VIS (NICOLINI et al., 2009), sendo possível avaliar a presença de hematita e goetita (Figura 9). Entre 215 nm e 220 nm observam-se transições do tipo CTLM ($O^{2-} \rightarrow Fe^{3+}$) em todas as amostras. São observadas, ainda, bandas de transições *d-d* de campo ligante de goetita nas regiões em torno de 300 nm do tipo ${}^6A_1 \rightarrow {}^4T_1$, em 393 nm do tipo ${}^6A_1 \rightarrow {}^4T_2$ e em 538 nm do tipo $2({}^6A_1) \rightarrow 2({}^4T_1)$. Embora para a hematita sejam observadas transições de campo ligante nas regiões de 369 nm do tipo ${}^6A_1 \rightarrow {}^4E({}^4D)$, entre 428 nm e 434 nm do tipo ${}^6A_1 \rightarrow {}^4E$ 4A_1 (4G) e em 486 nm do tipo $2({}^6A_1) \rightarrow 2({}^4T_1)$ (4G), as bandas para goetita aparecem mais intensas em todos os solos estudados (CORNELL; SCHWERTMANN, 2003; SHERMAN; WAIT, 1985). A formação de goetita pode ser resultado da oxidação de compostos de ferro divalentes, como a pirita (FeS_2), como na seguinte reação: $4 FeS_2 + 15 O_2 + 10 H_2O \rightarrow 4 FeOOH + 8 H_2SO_4$.

Outra consequência dessa reação química é a redução do pH do solo. De modo geral, são observadas bandas de absorção de hematita e goetita nos solos de MN, seguido de solo coletado em área PAST e da área E1 (Figura 9). Dessa forma, pode-se supor que o cultivo faz com que os processos de intemperismo, que ocorrem naturalmente, sejam intensificados com a utilização do solo para cultivo, influenciando na predominância, principalmente nos solos de MN, de transições de goetita em relação às transições de hematita.

Conclusões

A produção comercial de eucalipto com 20 anos e de pastagem permitiu a manutenção dos estoques totais de carbono da fração grosseira e de carbono associado aos minerais na camada superficial (0 m – 0,05 m).

A pastagem permitiu o acúmulo de carbono da fração grosseira e associada aos minerais na camada de 0,05 m – 0,10 m em todas as classes de agregados.

Os maiores estoques de carbono da fração grosseira e de carbono associado aos minerais foram verificados nas classes de agregados de maior tamanho.

Por espectroscopias de FTIR e DRUV-VIS observou-se que os solos e suas frações são similares entre si.

Por FTIR verificou-se a presença das bandas de absorção em 3.446 cm^{-1} e 1.080 cm^{-1} , características da ocorrência de celulose. Bandas em 1.385 e 1.450 cm^{-1} foram relacionadas a estruturas de lignina. Bandas em 780 cm^{-1} foram atribuídas a torções vibracionais de ligações, Si-O-Al e Si-O-Fe.

Por DRUV-VIS verificou-se que os íons de Fe^{3+} estão predominantemente em estruturas de goetita ($\alpha\text{-FeOOH}$), conforme indicado pela maior intensidade das bandas em torno de 300 nm, devidas a transições $d-d$ do tipo ${}^6A_1 \rightarrow {}^4T_1$ (4P).

Agradecimentos

Agradecemos ao pesquisador da CMPC Celulose Riograndense, Elias Frank Araújo, por auxiliar nossa equipe, e ceder as áreas experimentais para o desenvolvimento deste estudo; e aos técnicos, estagiários e bolsistas do Centro de Pesquisa Agropecuária de Clima Temperado (CPACT), pela colaboração nas amostragens de campo e avaliações laboratoriais.

Referências

- AMADO, T. J. C.; BAYER, C.; CONCEIÇÃO, P. C.; SPAGNOLLO, E.; CAMPOS, B. C.; VEIGA, M. Potential of carbon accumulation in no-till soils with intensive use and cover crops in southern Brazil. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 35, n. 4, p. 1599-1607, 2006.
- ARTZ, R. R. E.; CHAPMAN, S. J.; ROBERTSON, A. H. J.; POTTS, J. M.; DÉFARGE, F. L.; GOGO, S.; COMONT, L.; DISNAR, J. R.; FRANCEZ, A. J. FTIR spectroscopy can be used as a screening tool for organic matter quality in regenerating cutover peatlands. **Soil Biology Biochemistry**, Amsterdam, v. 40, n. 2, p. 515-527, Feb. 2008.
- BAYER, C. **Dinâmica da matéria orgânica em sistemas de manejo de solos**. 1996. 240 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; AMADO, T. J. C.; MARTIN-NETO, L.; FERNANDES, S. V. Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 54, n. 1-2, p. 101-109, Mar. 2000.
- BRONICK, C. J.; LAL, R. Soil structure and management: a review. **Geoderma**, Amsterdam, v. 124, n. 1-2, p. 3-22, Jan. 2005.
- BURLE, M. L.; MIELNICZUK, J.; FOCCHI, S. Effect of cropping systems on soil chemical characteristics, with emphasis on soil acidification. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 190, n. 2, p. 309-316, 1997.
- CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E. T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 56, n. 3, p. 777-783, May/June 1992.
- CATROUX, G.; SCHNITZER, M. Chemical, spectroscopic, and biological characteristics of the organic matter in particle size fractions separated from an Aquoll. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 51, n. 5, p. 1200-1207, Sept./Oct. 1987.
- COCOZZA, C.; D'ORAZIO, V.; MIANO, T. M.; SHOTYK, W. Characterization of solid and aqueous phases of a peat bog profile using molecular fluorescence spectroscopy, ESR and FT-IR, and comparison with physical properties. **Organic Geochemistry**, Amsterdam, v. 34, n. 1, p. 49-60, 2003.
- CORNELL, R. M.; SCHWERTMANN, U. **The Iron oxides: structure, properties, reactions, occurrences and uses**. Weinheim: WILEY-VCH, 2003. 664 p.

- COSTA, F. S.; BAYER, C.; ALBUQUERQUE, J. A.; FONTOURA, M. V. Aumento da matéria orgânica num Latossolo Bruno em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 2, p. 587-589, mar./abr. 2004.
- DICK, D. P.; GONÇALVES, C. N.; DALMOLIN, R. S. D.; KNICKER, H.; KLAMT, E.; KÖGEL-KNABER, I.; SIMÕES, M. L.; MARTIN-NETO, L. Characteristics of soil organic matter of different Brazilian Ferralsols under native vegetation as a function of soil depth. **Geoderma**, Amsterdam, v. 124, n. 3-4, p. 319-333, Feb. 2005.
- DICK, D. P.; KNICKER, H.; ÁVILA, L. G.; INDA JUNIOR, A. V.; GIASSON, E.; BISSANI, C. A. Organic matter in constructed soils from a coal mining area in southern Brazil. **Organic Geochemistry**, Amsterdam, v. 37, n. 11, p.1537-1545, Nov. 2006.
- DIEKOW, J. **Estoque e qualidade da matéria orgânica do solo em função de sistemas de culturas e adubação nitrogenada no sistema plantio direto**. 2003. 164 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- FUKAMACHI, C. R. B.; WYPYCH, F.; MANGRICH, A. S. Use of Fe³⁺ ion probe to study the stability of urea-intercalated kaolinite by electron paramagnetic resonance. **Journal of Colloid and Interface Science**, Amsterdam, v. 313, n. 2, p. 537-541, Sept. 2007.
- GOLCHIN, A.; OADES, J. M.; SKJEMSTAD, J. O.; CLARKE, P. Study of free and occluded particulate organic matter in soils by solid state ¹³C CP/MAS NMR spectroscopy and scanning electron microscopy. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v. 32, n. 2, p. 285-309, 1994.
- GUIMARÃES, E. **Caracterização de solos basálticos através de análises química e espectroscópica em laboratório e por satélite**. 2006. 117 f. Tese (Doutorado em Química) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- MARTIN-NETO, L.; ANDRIULO, A. E.; TRAGHETTA, D. G. Effects of cultivation on ESR spectra of organic matter from soil size fractions of a Mollisol. **Soil Science**, Baltimore, v. 157, n. 6, p. 365-372, 1994.
- MENDHAM, D. S.; HEAGNEY, E. C.; CORBEELS, M.; O'CONNELL, A. M.; GROVE, T. S.; McMURTRIE, R. E. Soil particulate organic matter effects on nitrogen availability after afforestation with *Eucalyptus globulus*. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 36, n. 7, p. 1067-1074, July 2004.

30 *Estoque e Caracterização por FTIR e DRUV-VIS da Fração Grosseira da Matéria Orgânica em Agregados de um Argissolo sob Eucalipto e Pastagem*

MIELNICZUK, J. Matéria orgânica e sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 1-5.

NAYAK, P. S.; SINGH, K. Instrumental characterization of clay by XRF, XRD and FTIR. **Bulletin of Materials Science**, Bangalore, v. 30, n. 3, p. 235–238, June 2007.

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

NICOLINI, K. P.; FUKAMACHI, C. R. B.; WYPYCH, F.; MANGRICH, A. S. Dehydrated halloysite intercalated mechanochemically with urea: thermal behavior and structural aspects. **Journal of Colloid and Interface Science**, Amsterdam, v. 338, n. 2, p. 474-479, Oct. 2009.

PALADINI, F. C. S.; MIELNICZUK, J. Distribuição de tamanho de agregados de um solo Podzólico vermelho–escuro afetado por sistemas de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 15, n. 1, p. 135–140, 1991.

PILLON, C. N. **Alterações no conteúdo e qualidade da matéria orgânica do solo, induzidas por sistemas de cultura em plantio direto**. 2000. 232 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P. C.; FABRÍCIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 11–21, jan./fev.2008.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; FABRÍCIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P. C. **Matéria orgânica do solo na integração lavoura-pecuária em Mato Grosso do Sul**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2005. 58 p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 29).

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; OLIVEIRA, J. B.; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. (Ed.). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

- SHERMAN, D. M.; WAIT, T. D. Electronic spectra of Fe³⁺ oxides and Oxide Hydroxides in the Near IR to Near UV. **American Mineralogist**, Washington, v. 70, n. 11-12, p. 1262-1269, Nov./Dec. 1985.
- SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, p. 113-117, 1997.
- SILVA, L. B.; DICK, D. P.; INDA JÚNIOR, A. V. Solos subtropicais de altitude: atributos químicos, teor de matéria orgânica e resistência à oxidação química. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 4, p. 1167-1171, jul. 2008.
- SILVERSTEIN, R. M.; WEBSTER F. X. **Spectrometric identification of organic compounds**. 6. ed. New York: Wiley, 1998. 559 p.
- SIX, J.; BOSSUYT, H.; DEGRYZE, S.; DENEFF, K. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 79, n. 1, p. 7-31, Sept. 2004.
- SIX, J.; ELLIOTT, E. T.; PAUSTIAN, K.; DORAN, J. W. Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and native grassland soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 62, n. 5, p.1367-1377, Sept./Oct. 1998.
- SOUZA, W. J. O.; MELO, W. J. Matéria orgânica de um Latossolo submetido a mais sistemas de produção de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 1113-1122, nov./dez. 2003.
- SUZUKI, L. E. A. S. **Qualidade físico-hídrica de um Argissolo sob floresta e pastagem no sul do Brasil**. 2008. 136 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
- WRIGHT, A. L.; HONS, F. M. Tillage impacts on soil aggregation and carbon and nitrogen sequestration under wheat cropping sequences. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 84, n. 1, p. 67-75, Nov. 2005.