

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Solos



Tese

**Conteúdo e qualidade da matéria orgânica em sistemas de uso e
manejo do solo no Bioma Pampa**

Marla de Oliveira Farias

Pelotas, 2010

MARLA DE OLIVEIRA FARIAS

Conteúdo e qualidade da matéria orgânica em sistemas de uso e manejo do solo no Bioma Pampa

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ciências (área do conhecimento: Solos).

Orientador: Clenio Nailto Pillon

Co-orientadores: Cláudia Liane Rodrigues de Lima
Rosa Maria Vargas Castilhos

Pelotas, 2010

Dados de catalogação na fonte:
(Marlene Cravo Castillo – CRB-10/744)

F224c Farias, Marla de Oliveira

Conteúdo e qualidade da matéria orgânica em sistemas de uso e manejo do solo no Bioma Pampa / Marla de Oliveira Farias; orientador Clenio Nailto Pillon ; co-orientadores Cláudia Liane Rodrigues de Lima e Rosa Maria Vargas Castilhos . - Pelotas,2010.-103f. ; il.- Tese (Doutorado em Solos) –Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel . Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2010.

1.Substâncias húmicas 2.Fracionamento químico 3.Plantio direto 4.Preparo convencional I Pillon, Clenio Nailto (orientador)
II .Título.

CDD 631.42

Banca examinadora:

Pesquisador, Dr. Clenio Nailto Pillon – Embrapa Clima Temperado – (Presidente).

Dr^a. Carla Machado da Rosa – UFRGS.

Professora, Dr^a. Flavia Fontana Fernandes – UFPEL.

Professora, Dr^a. Tânia Beatriz Gamboa de Araújo Morselli – UFPEL.

A Deus

Dedico

“Confia no Deus eterno de todo o seu coração e não se apóie na sua própria inteligência. Lembre-se de Deus em tudo o que fizer, e ele lhe mostrará o caminho certo” (Provérbios 3.5-6).

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, Pai eterno, por me iluminar, por ter me sustentado nas horas de desânimo e permitir alcançar mais esta vitória.

A Universidade Federal de Pelotas, que possibilitou meus estudos por onze anos.

A Embrapa Clima Temperado e a Fundação de Apoio a Pesquisa e Desenvolvimento Edmundo Gastal pela concessão da área experimental e bolsa de estudos.

Ao meu orientador, pesquisador da Embrapa Clima Temperado Dr. Clenio Nailto Pillon pela contribuição na minha formação, confiança e amizade.

À professora Cláudia Liane Rodrigues de Lima e à professora Rosa Maria Vargas Castilhos pela co-orientação, amizade e ensinamentos transmitidos.

Aos demais professores do Departamento de Solos pela amizade, carinho, respeito e experiências compartilhadas.

À professora Deborah Pinheiro Dick da UFRGS, pelas contribuições no exame de qualificação.

À Dr^a Carla Machado da Rosa, professoras Flavia Fontana Fernandes e Tânia Beatriz Gamboa Araújo Morselli da UFPel por contribuírem na minha formação fazendo parte da banca examinadora.

Aos Pesquisadores Wilson Tadeu Lopes da Silva e Débora Marcondes B. P. Milori por disponibilizarem os laboratórios da Embrapa Instrumentação Agropecuária para a realização das análises espectroscópicas.

Ao professor Antônio Sálvio Mangrich, a Betânia Fraga Pereira, às estagiárias Estela Mari Cardoso, Jaqueline Nicolini, Alessandra Leal e Jennifer dos Santos, do laboratório de Projetos e Processos Ambientais do Departamento de Química da UFPR, Curitiba, PR, pelo apoio nas análises espectroscópicas.

À Patrícia Bianca Dupont, Tiago Matieski e Gabriela Jansen pela dedicação, amizade e ajuda nas análises.

À minha amiga Carla Machado da Rosa, pela amizade, por não medir esforços e colaborar incansavelmente com a minha formação.

Aos amigos Magali de Ávila Fortes, José Maria Barbat Parfitt e Rosângela Mattos pela grande amizade formada nesses anos de convivência, carinho e respeito.

A todos os colegas e amigos do Departamento de Solos pelos momentos de descontração, amizade e troca de experiências.

A Daiane Carvalho dos Santos, Katiúscia Strassburguer, Fernanda Sanes, Gláucia Islabão e Juliana Brito pelo carinho e amizade.

A todos os funcionários do Departamento de Solos (muitos para serem mencionados) pela amizade, respeito e auxílio técnico.

A minha filha Rafaela, que mesmo no meu ventre, me motivou a concluir este trabalho.

Ao meu esposo Eder Gomes da Silva pelo amor, compreensão e incentivo.

Aos meus pais Jorge Teixeira Farias e Luci Helena de Oliveira Farias, pelo amor incondicional, apoio e incentivo.

Ao meu avô e amigo inesquecível, *in memoriam*, João Francisco Gervini de Oliveira, pelo amor, confiança e toda felicidade que me proporcionou.

Aos meus sogros Almiro Silveira da Silva e Neuza Maria Gomes da Silva, a minha avó Vilma Dutra de Oliveira pelas orações, apoio e incentivo.

À minha cunhada Vanice Gomes da Silva e meu tio Francisco Adilson Réus Henrique pela amizade e carinho.

A toda minha família e amigos, pelo carinho e força.

Aos meus cães Ricky e Brad, pois cães são nosso elo com o paraíso, onde eles desconhecem a maldade, inveja ou descontentamento.

A todos que diretamente ou indiretamente contribuíram para que este trabalho se tornasse possível.

À Deus novamente, por todas estas pessoas existirem e fazerem parte da minha vida.

RESUMO

FARIAS, Marla de Oliveira. **Conteúdo e qualidade da matéria orgânica em sistemas de uso e manejo do solo no Bioma Pampa**. 2010. 103f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Solos. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

Sistemas conservacionistas de manejo contribuem para a manutenção ou incremento da matéria orgânica do solo (MOS). No Bioma Pampa, escassos são os estudos que avaliam a dinâmica da MOS em agroecossistemas sob diferentes sistemas de uso e manejos do solo. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de sistemas de uso e manejo do solo sobre o conteúdo e qualidade da MOS de dois solos da metade sul do RS. Amostras de solo de um Planossolo Háptico foram coletadas a campo na Estação Experimental Terras Baixas da Embrapa Clima Temperado, Capão do Leão (RS), em um experimento de campo instalado há quatro anos, na camada de 0,000 a 0,025 m, nos tratamentos: PD – plantio direto e PC – plantio convencional [cultivados com azevém + cornichão (inverno), e rotação soja/milho/sorgo (verão)] e CN – campo nativo. As amostras de solo inteiro e de macroagregados foram submetidas ao fracionamento químico e quantificados os teores e estoques de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) e teores e estoques de carbono (C) nas frações húmicas (ácido fúlvico – AF, ácido húmico – AH e humina – HU). As características químicas e moleculares do AH extraído foram determinadas por composição elementar (CHNO), espectroscopia de FTIR, EPR e fluorescência de luz UV-Visível. O uso agrícola anterior à instalação da área experimental, provocou redução no COT e C das frações húmicas, no solo inteiro e nos macroagregados. Nos macroagregados foram encontradas as maiores proporções da fração HU. Houve um enriquecimento relativo de C na forma de AH. A composição elementar revelou AH ricos em N e com alta resistência à decomposição, sendo que nos macroagregados sob PC os AH apresentaram maior grau de humificação. A análise de FTIR mostrou que os grupos funcionais dos AH são semelhantes entre os diferentes sistemas de uso e manejo, porém as análises de EPR e fluorescência indicaram maior grau de decomposição dos compostos orgânicos no solo sob PC, refletindo-se num maior grau de humificação dos AH, em comparação ao PD. Em outro ambiente, amostras de um Argissolo Vermelho foram coletadas na Estância Sá Brito, Alegrete (RS), em um experimento instalado há cinco anos, nas camadas de 0,000 a 0,025 m, 0,025 a 0,075 m e 0,075 a 0,125 m, nos tratamentos: FH – florestamento homogêneo de *Eucalyptus grandis*; SA – sistema silvipastoril constituído de eucalipto e pastagem; CN – campo nativo. As amostras de solo inteiro foram submetidas ao fracionamento químico e quantificados os teores e estoques de COT e NT e teores e estoques de C nas frações húmicas AF, AH e HU. O sistema FH apresentou potencial para promover a recuperação da MOS em áreas sob processo de arenização. A maior parte da MOS encontra-se armazenada na forma de substâncias húmicas, em especial na forma de HU, refletindo a importância da interação da MOS com a matriz mineral para a sua preservação e estabilização.

Palavras-chave: substâncias húmicas, fracionamento químico, plantio direto, preparo convencional.

ABSTRACT

FARIAS, Marla de Oliveira. **Content and quality of organic matter under use systems and soil management on the Pampa Biome**, 2010. 103f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Solos. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

Conservation tillage systems contribute to maintaining or increasing soil organic matter (MOS). In Pampa Biome studies that evaluate the dynamics of MOS in agroecosystems under different land use systems and soil management were scarce. The aim of this work was to evaluate the effect of different use systems and soil management on the content and quality of MOS in two different soils of southern of RS. Soil samples from a Albaqualf were collected in Embrapa Clima Temperado, Capão do Leão (RS) in a field experiment with four years, the layer from 0,000 to 0,025 m, in the following treatments: PD – no tillage and PC – conventional tillage [growing with ryegrass + birdsfoot (winter) and soybean/corn/sorghum crop rotation (summer)] and CN – native pasture. In the entire and the macroagregates samples were chemical fractionated and the content and stocks of total organic carbon (COT), total nitrogen (NT) and the contents and stocks of carbon (C) in the humic fractions (fulvic acid – AF; humic acid – AH and humin – HU) were quantified. The chemical and molecular characteristics of HA extracted were determined by elemental composition (CHNO) spectroscopy, FTIR, EPR and UV-fluorescence visible. The agricultural use resulted in a decrease in COT and C humic fractions in the entire soil and macroagregates. In the macroagregates were found the largest proportions of HU fraction. There was a relative enrichment of C of AH form. The elemental composition revealed that AH was rich in N and with high resistance to decomposition and that the macroagregates under PC in AH showed a higher degree of humification. The FTIR analysis showed that the functional groups of AH are similar among different use systems and management. The analysis of EPR and fluorescence indicates a higher degree of decomposition of organic compounds in soil under PC reflecting a higher degree humification of AH, compared to PD. In another place, soil samples were collected from a Paleaudalf in Estância Sá Brito, Alegrete (RS), in an experiment with five years, in the layers from 0.000 to 0.025 m, 0.025 to 0.075 0.075 to 0.125 m depth. The treatments were: FH – homogeneous forests of *Eucalyptus grandis*; SA – silvopastoral system consisting of eucalyptus and pasture; CN – pasture native. The entire soil samples were subjected to chemical fractionation and quantified the levels and values of COT and NT contents and C stocks in the humic fractions in AF, AH and HU. The FH system presented potential to promote recovery of MOS in areas with process of the arenization. The most part of the MOS is stored in the humic form substances, especially in the form HU reflecting the importance of the interaction of MOS with the mineral matrix to its preservation and stabilization.

Key words: humic substances, chemical fractionation, no tillage, conventional tillage.

SUMÁRIO

RESUMO.....	06
ABSTRACT.....	07
SUMÁRIO.....	08
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	09
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
2.1. O Bioma Pampa.....	12
2.2. Matéria orgânica do solo.....	13
2.2.1. Estrutura molecular das substâncias húmicas.....	15
2.2.2. Dinâmica da matéria orgânica no ambiente.....	17
2.2.3. Influência dos sistemas de uso e manejo na dinâmica da matéria orgânica do solo.....	20
2.2.4. Fracionamento da matéria orgânica do solo.....	23
2.2.5. Caracterização química da matéria orgânica do solo.....	26
3. ESTUDO 1: Carbono orgânico total, nitrogênio total e frações húmicas da matéria orgânica de um Planossolo Háplico sob sistemas de uso e manejo do solo.	30
Introdução.....	30
Material e Métodos.....	32
Resultados e Discussão.....	34
Conclusões.....	43
4. ESTUDO 2: Caracterização química e espectroscópica de ácidos húmicos de um Planossolo Háplico sob sistemas de uso e manejo do solo.	45
Introdução.....	45
Material e Métodos.....	47
Resultados e Discussão.....	49
Conclusões.....	59
5. ESTUDO 3: Carbono orgânico total, nitrogênio total e frações húmicas da matéria orgânica de um Argissolo Vermelho sob sistemas de uso e manejo do solo.	61
Introdução.....	61
Material e Métodos.....	63
Resultados e Discussão.....	66
Conclusões.....	72
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	73
7. APÊNDICES.....	91

1 INTRODUÇÃO GERAL

A matéria orgânica é considerada um componente da qualidade do solo, pois consiste no fator mais importante para a manutenção da fertilidade e da sustentabilidade dos agroecossistemas (REEVES, 1997). Sua importância justifica-se pela atuação direta em diversos processos que ocorrem no solo como na ciclagem de nutrientes, retenção de cátions, complexação de elementos tóxicos, formação e estabilização de agregados, infiltração e retenção de água, aeração, atividade e diversidade microbiana, constituindo-se um componente fundamental e determinante da capacidade produtiva do solo (STEVENSON, 1994).

Em sistemas naturais, o conteúdo de matéria orgânica é controlado pelos fatores de formação do solo (clima, material de origem, relevo, atividade biológica e tempo) e pela ação antrópica. Com o cultivo, geralmente ocorre uma alteração no equilíbrio dinâmico do solo, onde as condições para oxidação da matéria orgânica são favorecidas e um novo estado de equilíbrio é atingido.

Mudanças marcantes do ponto de vista quantitativo e qualitativo na matéria orgânica são observadas com a alteração no uso e manejo do solo, principalmente no que se refere a sistemas de cultivo intensivo, com preparo convencional, onde a matéria orgânica do solo fica mais exposta aos agentes da decomposição (oxigênio, temperatura, microrganismos).

Buscando minimizar esses efeitos, a adoção de sistemas conservacionistas de manejo, com redução da intensidade de revolvimento do solo, manutenção da cobertura vegetal e rotação de culturas, tem evoluído significativamente em área cultivada no Brasil. No Rio Grande do Sul, o plantio direto vem sendo adotado em substituição ao preparo convencional, propiciando controle da erosão, maior disponibilidade de água e de nutrientes para as plantas, melhores condições físicas e diminuição da taxa de decomposição da matéria orgânica do solo. Também são

recomendados sistemas de manejo com ênfase na rotação de culturas, visando, entre outras vantagens, o maior aporte de resíduos culturais ao solo.

Na metade Sul do RS, o sistema de produção de arroz irrigado, com área de 950 mil hectares (CONAB, 2009) é cultivado em solos com dificuldade de drenagem interna, o que propicia, em parte do ano, condições de anaerobiose, especialmente em áreas de relevo mais plano. Nesta região, a produção animal extensiva, em especial de bovinos, tanto em áreas de terras altas como em áreas de terras baixas, está integrada à produção de arroz irrigado ou a outros sistemas de produção de grãos, ou ainda ao florestamento com espécies exóticas nas áreas de terras altas. No Sudoeste do Estado do RS, existem extensas áreas que vêm sofrendo processo de arenização, cujo processo erosivo, devido em grande parte, ao uso intensivo da terra para criação de gado é aliado a fragilidade natural e a baixa aptidão para a agricultura desses solos. Escassos são os estudos que avaliam os impactos dessas atividades sobre a dinâmica da matéria orgânica do solo (MOS) e de suas frações.

As alterações provocadas na MOS pelo manejo inadequado e/ou a efetividade do processo de recuperação de áreas degradadas por meio da utilização de sistemas conservacionistas podem ser quantificadas através do fracionamento químico da MOS, o qual permite avaliar os teores de carbono (C) nas diferentes frações húmicas do solo. As substâncias húmicas (humina, ácido húmico e ácido fúlvico) representam mais de 80% do C presente no solo e se diferenciam pela cor, massa molecular, presença de grupos funcionais (carboxílicos, fenólicos, etc.) e grau de polimerização.

As substâncias húmicas são consideradas o estágio final da evolução dos compostos de C no solo (STEVENSON, 1994) e o seu conhecimento permite compreender os processos que regulam ou determinam as propriedades do solo, bem como, inferir sobre os impactos positivos e negativos dos sistemas de uso e manejo do solo, cujo conhecimento poderá contribuir para o desenvolvimento de sistemas sustentáveis de manejo.

Neste contexto, o presente trabalho apresenta como objetivo geral promover maiores conhecimentos sobre os impactos provocados pelos sistemas de uso e manejo do solo sobre o conteúdo e qualidade da MOS em agroecossistemas

representativos do Bioma Pampa. Para tanto o trabalho foi estruturado em três estudos.

O primeiro estudo tem como objetivo avaliar o efeito dos sistemas de uso e de manejo do solo sobre a distribuição do carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT) e das frações húmicas, no solo inteiro e nos macroagregados, na camada superficial de um Planossolo Háplico.

O segundo estudo visou caracterizar quimicamente a MOS sob diferentes sistemas de uso e manejo no solo inteiro e nos macroagregados, na camada superficial de um Planossolo Háplico.

O terceiro estudo objetivou avaliar o efeito dos sistemas de uso e manejo do solo sobre a distribuição do COT, NT e das frações húmicas de um Argissolo Vermelho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O Bioma Pampa

Bioma é um conjunto de vida (vegetal e animal) constituído pelo agrupamento de tipos de vegetação próximos e identificáveis em escala regional, com condições de solo e clima similares e história compartilhada de mudanças, o que resulta na diversidade biológica própria de uma região (IBGE, 2009).

O Brasil é constituído por seis Biomas distintos que são: Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica, Caatinga, Pantanal e Pampa, sendo que este último ocupa área de aproximadamente 176.496 Km², representando cerca de 2,07% da área total do País. No Brasil, o Bioma Pampa só ocorre no Rio Grande do Sul (IBGE, 2009). O Bioma Pampa se caracteriza pela cobertura vegetal com predomínio dos campos, entremeados por capões de mata, matas ciliares e banhados, os quais estão entre os ecossistemas menos protegidos do planeta (CHOMENKO, 2006).

A economia do RS historicamente evoluiu tendo por base a pecuária, a produção de grãos e a exploração florestal. Com a expansão da economia, em especial do mercado de exportação, ocorreu também uma expansão da fronteira agrícola, avançando em regiões de fragilidade ambiental, colocando em risco a biodiversidade (VARGAS, 2008).

Restam apenas 41% da vegetação original do Pampa: 23% de campos, 5% de florestas e 13% de mosaicos de campos, arbustos e matas. O RS possui 32 Unidades de Conservação estaduais e 11 áreas protegidas federais, que formam menos de 0,5% do Bioma. Além disso, a maioria delas foi criada nos anos 1970 e 1980 e não protegem áreas exatamente de Pampa (BOURCHEIT, 2009).

Levantamentos mostram que a biodiversidade vem se reduzindo nos diferentes agroecossistemas em função das atividades antrópicas. As atividades agrícolas de larga escala como o cultivo do arroz irrigado e da soja, quando mal manejadas, constituem fatores de degradação ambiental. Não existem números oficiais sobre as áreas de banhados degradadas.

O Bioma Pampa também tem perdido sua área para o cultivo de espécies exóticas, como eucalipto, acácia-negra, capim braquiária, entre outros. A invasão de ecossistemas por espécies exóticas é considerada a segunda maior causa de perda de biodiversidade em todo o planeta, logo atrás da degradação ambiental causada pelo homem. Um exemplo é a invasão de capim anoni (*Eragrostis plana*) nas áreas de campo natural do Bioma Pampa, a qual tem contribuído para a redução da atividade florística dos agroecossistemas (REVISTA IBAMA, 2005; SANTOS, 2006).

A degradação do ambiente também ocorre pela atividade pecuária, na qual o pastoreio intensivo é um dos principais fatores de aceleração do processo de arenização que ocorre em parte do Estado, em especial na Fronteira Oeste. Este processo se caracteriza pela transformação de áreas vegetadas em grandes áreas, popularmente chamado de desertificação. Este é um processo natural intensificado pelo uso inadequado do solo. Por outro lado, a pecuária extensiva, praticada em todo o Bioma Pampa é uma característica da região, na qual ocorre uma integração estreita do ser humano com a natureza (NABINGER et al., 2007; PILLAR et al.; 2007).

2.2 Matéria orgânica do solo

O solo é um sistema complexo devido as constantes alterações e à dinâmica dos seus constituintes. A MOS é considerada um componente essencial para definir a qualidade dos sistemas agrícolas em razão da manutenção da fertilidade dos solos e da sustentabilidade dos agroecossistemas (REEVES, 1997; REICHERT et al., 2003).

A MOS compreende a fração orgânica, ou seja, a matéria morta (98% do total do carbono orgânico do solo) e viva (raramente ultrapassa 4% do total de carbono orgânico do solo). O material orgânico inclui os resíduos identificáveis de plantas, microrganismos, meso e macrofauna, MOS dissolvida, exsudatos radiculares e substâncias húmicas (STEVENSON, 1994; ROCHA e ROSA, 2003).

Cada constituinte da matéria orgânica possui características moleculares que interagem com os componentes minerais do solo. A quantidade e a proporção com que estes constituintes são encontrados têm servido como indicadores de qualidade do solo (SOUZA e MELO, 2003; PILLON, 2006; BAYER e MIELNICZUK, 2008).

A MOS pode ser dividida em dois grupos: as biomoléculas e as substâncias húmicas (STEVENSON, 1994; GUERRA et al., 2008). O primeiro grupo é representado pelos carboidratos, gorduras, ceras, proteínas e ácidos nucléicos (BARRETO et al., 1997). No segundo grupo, destacam-se os ácidos fúlvicos (AF), os ácidos húmicos (AH) e as huminas (HU), que desempenham importante papel no fornecimento de nutrientes às culturas, na retenção de cátions, na complexação de elementos tóxicos e de micronutrientes, na estabilidade de agregados, a qual interfere na infiltração, retenção de água e aeração do solo e influenciam na atividade e biomassa microbiana. Assim, as frações húmicas constituem-se um componente fundamental da capacidade produtiva dos solos (AUDREUX, 1996).

As frações húmicas representam quase a totalidade da MOS e, devido à sua grande reatividade, correspondem à porção envolvida na maioria das reações químicas do solo (CANELLAS et al., 2008). Estas substâncias têm destaque em muitas pesquisas, já que além de representarem o principal reservatório de carbono no solo, interagem com a atmosfera modificando a concentração de CO₂, dependendo do uso e do manejo do solo (PICCOLO, 2001).

As mudanças no ambiente, decorrentes de práticas inadequadas de manejo, podem levar ao rápido declínio da MOS em áreas tropicais e subtropicais, sendo o estudo e a compreensão da dinâmica da MOS fundamentais para a definição de estratégias de manejo que contribuam para a sustentabilidade dos sistemas naturais e agrícolas (BAYER e MIELNICZUK, 2008).

2.2.1. Estrutura molecular das substâncias húmicas

Ao longo do tempo, a estrutura molecular das substâncias húmicas (SH) tem sido estudada e várias propostas estruturais foram sugeridas, mas ainda hoje, nenhuma parece satisfatória, permanecendo indefinida. A heterogeneidade e complexidade das estruturas das SH, bem como a ausência de identidade estrutural genética, aparecem como os maiores entraves encontrados na definição de um modelo para essas substâncias, pois os processos de formação são influenciados pela natureza e pelo mecanismo de decomposição (ROCHA e ROSA, 2003).

As SH, no final do século XIX, já eram compreendidas como sendo uma mistura complexa de substâncias orgânicas com natureza principalmente coloidal e com propriedades fracamente ácidas. Também haviam informações a respeito de sua interação com outros componentes do solo (STEVENSON, 1994; CORNEJO e HERMOSIN, 1996).

Uma estrutura das SH muito popular foi proposta por Fuchs em 1931, sugerindo que os ácidos húmicos (AH) continham ácidos carboxílicos e eram derivados principalmente de compostos nitrogenados, como as proteínas e anéis aromáticos das ligninas (FONTANA, 2006).

Com o uso da técnica de ressonância magnética nuclear (RMN), Schulten e Schnitzer (1997) propuseram um modelo para os AH e neste podem ser observados grandes cadeias alifáticas, vários grupos carboxílicos, fenólicos, alcoólicos e grupos nitrogenados como aminas e nitrilas.

Tanto nos modelos dos ácidos fúlvicos (AF) como dos AH, foram observados espaços vazios de diferentes tamanhos, os quais, poderiam acomodar compostos orgânicos ou inorgânicos de baixa massa molecular, como as argilas e oxi-hidróxidos. Assim, os AF e os AH são compostos similares. Os AH com estrutura mais condensada, possuem um conteúdo maior de carbonos aromáticos, maior massa molar e menor teor de oxigênio que os AF (SCHULTEN e SCHNITZER, 1997).

Entre as novas teorias que surgiram na literatura recente está a teoria supramolecular para as SH. As SH, neste modelo, formam agregados que são

estabilizados por ligações fracas, como ligações de hidrogênio e/ou interações hidrofóbicas (PICCOLO, 2002; ARAKI e TOMA, 2002).

Segundo Piccolo (2002), moléculas orgânicas diversas, mas relativamente pequenas, formam agregados ou micelas unidos entre si por ligações de hidrogênio e interações hidrofóbicas fracas, formando um arranjo molecular. Esse arranjo, que vai do formato esferoidal a filamentoso, apresenta uma massa molecular aparentemente elevada, mas que pode ser constante e indefinidamente alterada de acordo com as variações nas condições do meio (PICCOLO et al., 1996; CONTE e PICCOLO, 1999; MacCARTHY, 2001).

Nessa perspectiva, o AF foi redefinido como produto da associação de moléculas pequenas e hidrofílicas com uma quantidade de grupos funcionais acídicos suficiente para manter os agregados dispersos a qualquer valor de pH. Os AH, por sua vez, foram definidos como associações nas quais predominam compostos hidrofóbicos estabilizados em pH neutro por forças hidrofóbicas dispersivas. A conformação dos AH cresce progressivamente de tamanho quando as forças oriundas das ligações de hidrogênio são progressivamente aumentadas até um valor baixo de pH no qual floculam. A influência do pH ocorre em função da protonação da molécula e conseqüente aumento das ligações de hidrogênio intermoleculares (PICCOLO, 2002).

O modelo supramolecular foi corroborado por Simpson et al. (2002). Esses autores demonstraram que as SH extraídas de solos são formadas por uma mistura de substâncias agregadas de baixa massa molecular aparente e através de um modelo estrutural, propuseram que as principais estruturas presentes nas SH (polissacarídeos, polipeptídeos, cadeias alifáticas e fragmentos aromáticos) poderiam formar um agregado na presença de cátions metálicos de ocorrência natural nos ecossistemas terrestres.

Embora a estrutura das SH venha sendo estudada por mais de um século, ainda não é satisfatoriamente explicada. Apesar do vasto número de dados experimentais obtidos por diferentes técnicas, tanto de frações químicas quanto físicas, de solos de diversas origens, não foram suficientes para expressar a complexidade da estrutura destas substâncias.

2.2.2. Dinâmica da matéria orgânica no ambiente

A dinâmica da MOS ocorre pela deposição de resíduos orgânicos, que são resultado, direto ou indireto, da reação de fotossíntese realizada pelas plantas, as quais captam o CO₂ atmosférico, fixando-o na forma de compostos orgânicos no tecido vegetal (TAIZ e ZEIGER, 2004). Após a senescência e morte das plantas, a parte aérea é depositada na superfície e o sistema radicular, no interior do solo, serve como substrato para os organismos decompositores, transformadores da MOS (PAUL e CLARK, 1996; BAYER, 1996).

Durante o processo de decomposição dos resíduos, ocorrem perdas de matéria orgânica devido às reações oxidativas dos compostos orgânicos existentes nos resíduos, pela lixiviação de compostos orgânicos solúveis e pela erosão do solo (PAUL e CLARK, 1996).

A quantidade de matéria orgânica que é armazenada no solo depende das características edafo-climáticas da região, da vegetação e/ou espécie cultivada e do manejo utilizado. Sistemas de cultivo que tem a capacidade de adicionar carbono orgânico em maiores profundidades via biomassa radicular, contribuem significativamente para o armazenamento de C no solo (BAYER et al., 2000).

A taxa e magnitude das adições e perdas de C no solo são determinantes para a sustentabilidade ou a degradação do agroecossistema. Em geral, o revolvimento aumenta as perdas enquanto que a redução das operações de preparo do solo é determinante para o acúmulo de C (BAYER e MIELNICZUK, 1997).

A decomposição da MOS pode ser definida como sendo a reunião de todos os processos, principalmente a despolimerização e as reações oxidativas, pelas quais moléculas relativamente grandes, tais como as poli-aromáticas, carboidratos, lipídios e proteínas, são convertidas em moléculas menores, mais simples, como os ácidos carboxílicos, aminoácidos, água e CO₂ (SOLLINS et al., 1996).

Os resíduos orgânicos adicionados ao solo são reduzidos até seus componentes orgânicos básicos pelas enzimas extra-celulares produzidas pelos organismos heterotróficos. Para gerar energia, outros organismos oxidam estas unidades maiores por meio de enzimas intra-celulares e desta forma, secretam

continuamente no solo diversos tipos de compostos orgânicos (SILVA e PASQUAL, 2006).

Para melhor compreensão, a MOS pode ser dividida em um compartimento lábil e um estável (frações húmicas). Assim, os microrganismos, a fração leve, as formas mais solúveis em água do carbono e as substâncias não húmicas podem ser incluídas no compartimento lábil (ROSA et al., 2003).

As frações orgânicas lábeis se decompõem dentro de poucas semanas ou meses, enquanto que as frações estáveis podem persistir por muito tempo no solo, até mesmo séculos ou milênios (ZECH et al., 1997).

A humificação ocorre concomitantemente à decomposição e varia com a espécie de planta, seus órgãos e condições ambientais. De acordo com Zech et al. (1997), a humificação de resíduos orgânicos é definida como sendo a transformação de reservas macromorfologicamente identificáveis em compostos húmicos amorfos e é caracterizada por sua fragmentação, formação de húmus, pela diminuição da relação C/N e sua transformação de preto-amarronzado para substâncias amorfas pretas.

As principais transformações que ocorrem durante a decomposição de resíduos e a humificação são as perdas de polissacarídeos e compostos fenólicos, modificação das estruturas de lignina e enriquecimento em estruturas alifáticas e aromáticas não lignínicas recalcitrantes (ZECH et al., 1997).

Em solos sob condições naturais, vários estágios de decomposição e humificação podem ser detectados ao longo de seus horizontes, desde o resíduo fresco na camada mais superficial, seguido da camada de fermentação, até horizontes completamente humificados. As características morfológicas de resíduo acima e abaixo do solo podem proporcionar informações úteis sobre o grau e intensidade de decomposição e humificação. Através da análise da estrutura química de amostras de solo é possível identificar diferentes tipos de C e suas alterações durante a decomposição e humificação (ZECH et al., 1997).

O húmus do solo é perdido principalmente por mineralização e oxidação. Mineralização é a produção de íons inorgânicos pela oxidação de compostos orgânicos. A mineralização é em grande parte contraposta pela imobilização (assimilação de íons inorgânicos pelos microrganismos). Se há uma lenta e

contínua adição de resíduos culturais, a mineralização excede a imobilização, resultando em pronta disponibilidade de nutrientes, C e energia, porém, os dois processos ocorrem ao mesmo tempo (TAN, 1994; EMPINOTTI, 1999).

O conhecimento da quantidade, qualidade, disponibilidade e atividade dos nutrientes orgânicos é importante para o entendimento do processo de mineralização e imobilização no solo. Portanto, a MOS não pode ser considerada homogênea sob o ponto de vista do processo de mineralização (ZECH et al., 1997).

Importantes fatores ambientais que controlam o retorno de nutrientes e sua ciclagem através das fontes de MOS, incluem propriedades químicas e mineralógicas, manejo da vegetação e do solo, fatores climáticos e variações ambientais sazonais e de curto período (ZECH et al., 1997).

Certos constituintes da MOS têm duração de vida curta e se renovam rapidamente e outros são mais estáveis, permanecendo por mais tempo no solo. Esta estabilidade é um dos principais critérios da qualidade da MOS. Ela se relaciona com a dinâmica da MOS e com algumas características bioquímicas intrínsecas. A MOS pode ser caracterizada por dois parâmetros, o estoque de C no solo e a qualidade dos constituintes orgânicos nela presentes (CERRI et al., 1997; PUGET et al., 2000).

De acordo com Sollins et al. (1996), a estabilização significa um decréscimo de potencial para perda de MOS por respiração, erosão ou lixiviação, havendo uma produção de material resistente à transformação posterior.

A estabilização do carbono orgânico é resultado de três conjuntos gerais de características: a) recalcitrância (compreende características a nível celular de substâncias orgânicas, incluindo composição elementar, presença de grupos funcionais e conformação molecular, que influencia sua degradação por microrganismos e enzimas); b) interação (interações inter-moleculares entre substâncias orgânicas e outras inorgânicas, ou outras substâncias que alterem a taxa de degradação ou a síntese dos compostos orgânicos) e; c) acessibilidade (localização de substâncias orgânicas em relação aos microrganismos e suas enzimas) (SOLLINS et al., 1996; MARTENS, 2000).

As interações organominerais podem contribuir para a estabilização da MOS, por dificultarem a acessibilidade de enzimas e dos microrganismos, ou por conferirem uma estabilidade puramente química. Os íons considerados como potenciais estabilizantes da MOS são Ca^{+2} , Al^{+3} e Fe^{+3} , além de metais pesados (LÜTZOW et al., 2006).

2.2.3. Influência dos sistemas de uso e manejo na dinâmica da matéria orgânica

Quando o meio ambiente sofre a interferência do homem, a dinâmica da MOS é modificada e, geralmente, os resultados dessa interferência são negativos para a qualidade do solo (MIELNICZUK et al., 2003).

A conversão de ecossistemas naturais em sistemas agrícolas envolve uma série de atividades que afetam as taxas de adição e decomposição da MOS (ZINN et al., 2005). Em sistemas naturais, os fatores de formação do solo são os determinantes primários dos processos de ciclagem de C, uma vez que exercem influência sobre o aporte de resíduos e sobre as perdas de C do solo (STEVENSON, 1994). Em sistemas agrícolas, o uso e o manejo atuam modificando tanto a entrada como a saída de C do solo para a atmosfera, em função da produção diferenciada de resíduos, do número de cultivos, das espécies vegetais, da adubação, dos procedimentos de colheita, dos sistemas de preparo do solo e do manejo dos resíduos culturais (LAL e BRUCE, 1999).

O preparo do solo afeta principalmente as propriedades físicas (agregação, compactação, porosidade, aeração, etc). No sistema de preparo convencional esse efeito é mais intenso devido à maior exposição do solo aos fatores climáticos (radiação, chuva, vento, entre outros). Já no sistema plantio direto, a permanência dos resíduos culturais na superfície diminui a amplitude térmica e aumenta a retenção de água no solo (SALTON e MIELNICZUK, 1995). O revolvimento sistemático do solo também promove condições favoráveis ao aumento da população microbiana, fato que determina aumento na oxidação do C orgânico, levando a redução da MOS ao longo do tempo.

O uso intensivo do solo e o seu revolvimento contribuem para a sua degradação que, entre outros fatores, está relacionada diretamente com a diminuição da MOS. A intervenção na cobertura vegetal existente durante o estabelecimento de culturas anuais, pastagens e florestas comerciais pode levar a um decréscimo nos teores de MOS, tendo o revolvimento do solo, importante papel na distribuição de suas frações húmicas, pelo incremento do processo erosivo, aceleração da decomposição, redução no aporte de material vegetal e diferenças na qualidade dos resíduos (LIMA et al., 2008).

Santos (2003) estudando os efeitos de diferentes sistemas de cultivo em um Planossolo Háplico nas camadas de 0,000 a 0,005 m e 0,005 a 0,010 m, constatou que na camada superficial o conteúdo de COT foi semelhante nos sistemas plantio direto e no solo mantido sob condição natural e inferior nos cultivos onde se utilizou o preparo convencional. Na camada de 0,005 a 0,010 m, todos os sistemas estudados apresentaram COT semelhantes ao solo sob condição natural, o que foi atribuído ao revolvimento do solo, nos tratamentos com sistema convencional de cultivo, pois há a incorporação dos resíduos e, conseqüentemente, incorporação de carbono orgânico em profundidade.

Bittencourt (1999) avaliando os efeitos de diferentes sistemas de cultivo em um Planossolo, constatou que o conteúdo de matéria orgânica sofreu alterações tanto na camada arável como no topo do horizonte B. Bayer et al. (2004), analisando um Latossolo Vermelho, identificaram o papel importante do plantio direto no aumento do teor de COT no solo em relação ao preparo convencional, especialmente nas camadas superficiais.

Bayer e Schneider (1999) estudando a região das encostas basálticas no município de Teutônia (RS), observaram alterações nos teores de MOS em função do uso e do manejo adotado. Segundo os autores, o plantio convencional promoveu redução entre 60 e 70% nos teores de MOS quando comparado a solos de mata, na camada de 0,000 a 0,025 m. A análise até a camada de 0,10 m demonstrou redução próxima a 50%. A substituição do plantio convencional para plantio direto, entretanto, mostrou incremento nos teores de MOS entre 25-108% na camada de 0,000 a 0,025 m e de 18-52% na camada de 0,000 a 0,10 m.

Pinheiro et al. (2003) observaram, em Latossolo submetido a diferentes sistemas de manejo e cobertura do solo, que a fração húmica (HU) correspondeu à maior parte do carbono (C) total, apresentando teores mais elevados em áreas de pastagens com capim colômbio (*Panicum maximum*), na camada de 0,000 a 0,050 m. Ao comparar o sistema plantio convencional ao cultivo mínimo e cobertura de pastagem, observaram redução de 42% em relação ao sistema preparo convencional e de 53% em relação à cobertura de pastagem, para o C da fração HU. Já as frações AH e AF não apresentaram mudanças significativas nos teores de C entre os diferentes sistemas de manejo empregados.

Através do fracionamento químico da MOS, Cunha et al. (2001), verificaram diferenças nos teores e na distribuição das frações húmicas em solos sob cultivo agrícola e campo nativo. Os autores atribuíram as variações observadas à degradação da cobertura vegetal e ao reduzido aporte de compostos orgânicos, contribuindo para a elevação do teor de HU e AF no campo nativo em relação aos teores verificados nos sistemas agrícolas. Fontana et al. (2001) encontraram maior teor da fração HU para os Latossolos e Argissolos analisados nos três sistemas de uso da terra (floresta, pastagem e cana-de-açúcar). Entre estes, a floresta apresentou os maiores teores de HU na camada de 0,000 a 0,200 m. De acordo com os autores, este fato está relacionado à grande quantidade de resíduos incorporados ao solo através da liteira. O menor valor da fração HU foi observado na pastagem, onde a textura arenosa promoveu maiores perdas em função da mineralização.

Segundo Zinn et al. (2005), as maiores taxas de decomposição da MOS em áreas sob cultivo ocorrem devido às perturbações físicas do solo, que implicam no rompimento dos macroagregados, porque reduz a proteção física da MOS, expondo a matéria orgânica protegida aos microrganismos e suas enzimas, contribuindo, dessa forma, para aumentar as taxas de emissão de CO₂ para a atmosfera. Essas perdas de matéria orgânica em áreas cultivadas adquirem importância, em razão de dois aspectos: (a) anualmente, cerca de 1,2 Pg C (Pg – Petagrama = 10¹⁵ gramas) são lançados na atmosfera devido a alterações nos sistemas de uso e manejo dos solos agrícolas (SAUERBECK,

2001) e (b) o solo é um dos compartimentos que mais armazenam C na Terra, de modo que, em termos globais, o primeiro metro superior do solo armazena 2,5 vezes mais C que a vegetação terrestre e duas vezes mais C que o presente na atmosfera (LAL, 2002). O estoque de carbono orgânico no primeiro metro de solo é estimado entre 1462 e 1548 Pg, enquanto na profundidade de até dois metros ele varia de 2376 a 2456 Pg (BATJES, 1999). Desse modo, em virtude das quantidades de C que armazena, o solo é um dos condicionantes de processos poluentes do ar, tendo em vista que a variação no estoque de C regula os teores desse elemento emitidos para a atmosfera.

Desta forma, é possível entender que diferentes sistemas de manejo alteram o ecossistema como um todo. A matéria orgânica, em especial, é diretamente afetada quantitativa e qualitativamente, sendo um indicador da degradação ou da conservação dos solos submetidos ao cultivo agrícola.

2.2.4. Fracionamento da matéria orgânica do solo

A MOS contempla uma diversidade de substâncias que apresentam comportamentos diferentes no solo (ROSCOE e MACHADO, 2002). A matéria orgânica pode estar presente como partículas orgânicas livres ou ligadas às superfícies dos agregados, como SH e não húmicas, associadas à fração mineral de diferentes tamanhos de partícula (PILLON et al., 2002).

O fracionamento do solo, em estudos da matéria orgânica objetiva reduzir a heterogeneidade buscando separar frações homogêneas quanto à natureza, dinâmica e função. Vários métodos são utilizados para fracionar a MOS e a escolha depende do objetivo do estudo, seja ele para caracterização e identificação química de componentes específicos da MOS ou para a quantificação de compartimentos da MOS e sua relação com funções essenciais como a ciclagem e liberação de nutrientes (COLLINS et al., 1997).

Os métodos de fracionamento da MOS são baseados principalmente nas características de solubilidade dos compostos orgânicos (fracionamento químico), na localização da MOS na matriz mineral (fracionamento físico por tamanho de

partícula) ou no grau de associação da MOS à fração mineral (fracionamento físico densimétrico) (EMPINOTTI, 1999).

Fracionamento químico da matéria orgânica do solo

Avanços na definição da composição e arranjo molecular dos principais constituintes da MOS foram possíveis através da extração da matéria orgânica com reagentes químicos.

As SH são um grupo de compostos orgânicos de alta complexidade química e estrutural e constituem 85% a 90% da reserva total do carbono orgânico no solo. Estas substâncias são constituídas de diferentes frações, separadas de acordo com as características físico-químicas de cada grupo em virtude dos procedimentos de extração (GUERRA et al., 2008). Em função da solubilidade em meio ácido e alcalino e peso molecular, as SH podem ser divididas em ácido fúlvico, AF (fração colorida, solúvel em qualquer pH e de baixo peso molecular), ácido húmico, AH (fração escura, insolúvel em meio ácido e de maior peso molecular) e humina, HU (material húmico com elevado conteúdo de carbono e insolúvel em meio alcalino e ácido) (STEVENSON, 1994).

A caracterização das propriedades químicas das SH implica no seu isolamento e separação dos constituintes inorgânicos do solo, água ou sedimentos. O extrator ideal deve separar completamente as SH de contaminantes inorgânicos, como argilas e cátions polivalentes, sem alterar suas características físico-químicas e deve, ainda, ser usado em qualquer tipo de solo (STEVENSON, 1994). Além destas características essenciais, é preciso que o extrator seja barato e não tóxico às pessoas e ao ambiente (CANELLAS et al., 2005).

Diversos extratores químicos têm sido utilizados para a separação das frações da MOS, podendo ser divididos de acordo com suas características químicas e físicas em bases fortes, sais neutros e solventes orgânicos (GUERRA et al., 2008).

O método de extração de SH mais amplamente empregado e citado como o mais eficiente, consiste no tratamento com solução de NaOH 0,1 ou 0,5 mol L⁻¹ (SENESI et al., 1994; STEVENSON, 1994), sendo recomendado pela International Humic Substances Society (IHSS). Sua principal vantagem é maior capacidade de

extração, comparativamente aos demais extratores disponíveis (GUERRA et al., 2008). Porém, conforme SENESI et al. (1994), extrações consecutivas e de longa duração podem modificar as SH extraídas por este método, o que pode ser evitado realizando-se a manipulação em atmosfera de N₂ (GUERRA et al., 2008).

A extração de SH através do NaOH é realizada por meio de dois mecanismos: a) rompimento de pontes de H entre as moléculas orgânicas e com a superfície do mineral e b) reação de troca de ligantes entre as hidroxilas do meio e os grupos carboxílicos e fenólicos da molécula da SH (CORNEJO e HERMOSIN, 1996).

Um método mais seletivo e moderado emprega a solução de sal neutro (Na₄P₂O₇ 0,15 mol L⁻¹), porém pode ser menos eficiente que o alcalino (SENESI et al., 1994; SWIFT, 1996). Este método consiste em extrair as SH através do rompimento das pontes catiônicas que unem as moléculas de SH entre si e, ou, com a superfície do mineral, decorrente da complexação do ânion pirofosfato com cátions divalentes e trivalentes participantes desse tipo de interação (CORNEJO e HERMOSIN, 1996).

DICK et al. (1998), trabalhando com SH, investigaram o efeito da extração pelos dois métodos citados anteriormente, em um solo com predomínio de carga variável e em um solo onde predominam as cargas permanentes e concluíram que, para o solo de carga variável o método que extraiu mais SH foi o método que utilizou como extrator o NaOH, enquanto que para o solo de carga permanente, o melhor método foi o que utilizou o pirofosfato como extrator, atribuindo este comportamento diferenciado ao mecanismo extrator de cada método e a mineralogia de cada solo.

Na agricultura, as SH são fundamentais para uma boa qualidade do solo e para o equilíbrio de nutrientes. Um melhor entendimento das propriedades funcionais e estruturais das SH pode auxiliar na compreensão de mecanismos como a complexação, redução, mobilização ou imobilização de metais pesados e produtos químicos, bem como compreender o ciclo do carbono (FERREIRA, et al., 2004).

2.2.5 Caracterização química da matéria orgânica do solo

O uso de técnicas espectroscópicas para a análise de fibras e proteínas em forragens e grãos tem sido estudada e o interesse em aplicá-las para estudos qualitativos de características e propriedades do solo é recente (MADARI et al. 2006). Isto se deve, possivelmente, ao grande volume de informações referentes às práticas de manejo sobre os estoques de MOS comparando as informações referentes a influência das práticas de manejo sobre a qualidade da MOS, como recalcitrância molecular, concentração de grupos funcionais e outras (DIECKOW et al., 2005).

A caracterização das SH por meio de técnicas espectroscópicas tem gerado bons resultados na avaliação da qualidade do solo, tanto de clima tropical como temperado, fornecendo informações sobre os grupos funcionais que compõem a MOS (MARTIN NETO et al., 2001; MILORI et al.; 2002). Entre as ferramentas mais utilizadas estão: a espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR), a análise da composição elementar, a Espectroscopia de Ressonância Paramagnética Eletrônica (EPR) e a Fluorescência de luz UV-Visível.

A FTIR é uma ferramenta que permite analisar a natureza química, reatividade e arranjo estrutural de grupos funcionais contendo oxigênio, a presença de proteínas e carboidratos e a eficiência do processo de purificação da amostra quanto a contaminantes como argila, sais e metais (STEVENSON, 1994). As análises por FTIR têm sido amplamente usadas nos estudos das SH para identificar grupos carboxilas, hidroxilas, aminas, amidas, estruturas alifáticas e aromáticas, dentre outros (GUIMARÃES, 2006). Na região de infravermelho é possível acessar a funcionalidade das SH, especialmente de grupos oxigenados, proteínas, polissacarídeos e proporção de grupos aromáticos/alifáticos e hidrofílicos/hidrofóbicos (CANELLAS et al., 2004).

A técnica de FTIR baseia-se no fato de que diversos tipos de estruturas moleculares e de ligações químicas existentes numa molécula absorvem radiação eletromagnética na região do infravermelho, em comprimento de onda característico, fazendo com que cada ligação química vibre numa faixa

espectral específica que vai refletir o ambiente químico de inserção de cada grupo de átomos analisado (CERETTA et al., 2008).

A partir dos espectros de FTIR pode ser calculado o índice de aromaticidade I_{1620}/I_{1920} (CHEFETZ et al., 1996) que relaciona o grau de insaturação/saturação, ou seja, a intensidade das vibrações dos grupos C=O e C=C em relação a intensidade do grupo C-H.

A análise da composição elementar é o método mais usado para a caracterização das SH e informa sobre as quantidades dos componentes formadores dessas substâncias (C, H, N, O e S). Com os dados da análise elementar não é possível obter a fórmula molecular do AF, do AH e da HU, mas fornece uma idéia da composição geral da molécula, e é muito utilizada para explicar a geoquímica das SH. Pode ser ainda interpretada para diferenciar as classes das SH, pois é um indicativo da eficiência do processo de purificação (FAVORETTO, 2007).

A relação C/N e as razões atômicas H/C e O/C têm sido utilizados como indicadores da aromaticidade e níveis de materiais orgânicos decompostos, podendo ser calculadas a partir dos dados da análise elementar, sendo essas razões úteis para identificar os tipos de SH, monitorar mudanças nas suas estruturas e fornecer dados para estabelecer fórmulas estruturais para as moléculas.

A relação C/N, mesmo não sendo o único fator, é capaz de fornecer uma previsão da taxa de decomposição. Os microrganismos necessitam de carbono como fonte de energia, de esqueletos carbônicos para sintetizar biomoléculas diversas e de nitrogênio para sintetizar proteínas. Durante a decomposição da matéria orgânica, o consumo de carbono é maior que o de nitrogênio, fazendo com que a concentração relativa de N aumente, diminuindo, conseqüentemente a relação C/N (GONZALEZ-PÉREZ, 2004). Nessa relação quanto maior este valor, maior será o tempo de decomposição e logo quanto menor a quantidade de nitrogênio no processo, mais lentamente este ocorrerá.

A relação C/N pode ser ainda utilizada para inferir o grau de estabilização da matéria orgânica, no que se refere ao ataque microbiano. A

humificação de resíduos orgânicos é caracterizada por sua fragmentação, formação de húmus, redução da relação C/N e sua transformação de preto-amarronzado para substâncias amorfas pretas, onde não só os microrganismos, mas como todos os animais do solo, participam desse processo (KUMADA, 1987).

As razões atômicas O/C e H/C indicam o comportamento químico e o grau de transformação da MOS. Segundo alguns autores (STEARMAN et al., 1989; STEVENSON, 1994, ROMÃO e ROCHA, 2005), maiores valores de H/C indicam maior quantidade de grupos alifáticos, típicos de materiais menos humificados, enquanto que materiais mais humificados apresentam, em geral, maiores valores de O/C, C/N e menores razões H/C.

O princípio físico básico da espectroscopia de EPR é a absorção de energia pelos elétrons desemparelhados de um átomo, molécula ou íon, que se dá pela interação com a radiação eletromagnética quando encontram-se sujeitos a aplicação de um campo magnético externo (GOODMAN e HALL, 1994).

A espectroscopia de EPR é uma técnica não-destrutiva e pode fornecer informações sobre a natureza e concentração de radicais livres presentes nas moléculas orgânicas, suas mudanças devido a fatores ambientais e a sua interação com o meio e o tipo e a simetria dos sítios de coordenação, a identificação dos átomos e grupos ligantes e as formas e estabilidade dos ligantes envolvidos na associação das SH com metais paramagnéticos (GOODMAN e HALL, 1994).

A espectroscopia de EPR permite avaliar o grau de humificação das SH através da quantificação de radicais livres do tipo semiquinonas (SENESI, 1990; MARTIN-NETO et al., 1994; SAAB e MARTIN-NETO, 2003). Essa técnica pode fornecer informações estruturais, sem artefatos ou condições experimentais restritivas, sobre a complexação dos íons metálicos paramagnéticos (Fe, Cu, Mn, Cr e outros) com as SH (MARTIN-NETO et al., 1991).

Além da quantificação e identificação de radical livre orgânico, a espectroscopia de EPR pode fornecer outros parâmetros espectroscópicos

como o fator g, largura da linha e saturação de potência do sinal do radical livre, os quais, podem fornecer informações detalhadas sobre as SH, como a localização dos sinais de RLO e metais, avaliar diferenças entre os elementos paramagnéticos e estrutura da matéria orgânica (SAAB e MARTIN-NETO, 2004).

A técnica de fluorescência de luz UV-Visível apresenta como vantagens a sensibilidade, pois somente aqueles grupos funcionais que fluorescem podem ser observados. A utilização desta técnica como uma técnica sensível e relativamente simples para estudar a estrutura e os grupos funcionais das SH deve-se à presença de várias estruturas fluorescentes, denominadas “fluoróforos” (que são grupos cromóforos que apresentam fluorescência em comprimento de onda específico) na macromolécula húmica incluindo desde estruturas aromáticas condensadas a cadeias alifáticas insaturadas. Além disso, as propriedades fluorescentes das SH dependem de diversos parâmetros, como sua origem, concentração e massa molecular, temperatura, pH e potencial redox do meio, bem como, suas interações com íons metálicos e compostos orgânicos (SENESI, 1990).

Nas SH, os principais fluoróforos, são sistemas com alto grau de conjugação, como por exemplo, anéis aromáticos e grupos do tipo quinona. A heterogeneidade das SH fornece espectros de fluorescência que podem ser utilizados para diferenciar e classificar a MOS de acordo com a sua gênese, origem e natureza. Por outro lado, esta mesma complexidade representa um obstáculo na identificação de compostos estruturais individuais responsáveis pela fluorescência (SENESI et al., 1991).

Recentemente, algumas metodologias têm sido sugeridas na literatura no sentido de aplicar a técnica de fluorescência para avaliar o grau de humificação das SH, como as metodologias propostas por Zsolnay et al. (1999) e Milori et al. (2002), na qual é possível se determinar os índices de humificação A_4/A_1 (ZSOLNAY et al., 1999) e A_{465} (MILORI et al., 2002), a partir dos espectros de emissão com excitação em 240 nm e 465 nm, respectivamente.

3. ESTUDO 1- Carbono orgânico total, nitrogênio total e frações húmicas da matéria orgânica de um Planossolo Háplico sob sistemas de uso e manejo do solo.

INTRODUÇÃO

O Bioma Pampa, que ocupa a maior parte do Rio Grande do Sul, mostra a configuração de sua paisagem alterada nos últimos anos, sendo um dos ecossistemas menos protegidos do planeta em função das atividades antrópicas (CHOMENKO, 2006). As pastagens no Bioma Pampa que ocupavam cerca de 60% do território tem apresentado uma taxa de redução gradativa, especialmente pelo cultivo do arroz, soja e milho, restando cerca de 30% dos campos originais (NABINGER et al., 2007).

A conversão de ecossistemas naturais em sistemas agrícolas envolve atividades que afetam as taxas de adição e decomposição da matéria orgânica do solo (MOS) (ZINN et al., 2005). Em ecossistemas naturais, os fatores de formação do solo são os determinantes primários dos processos de ciclagem de C, uma vez que exercem influência sobre o aporte de resíduos e sobre as saídas de C do solo (STEVENSON, 1994). Em sistemas agrícolas, o uso e o manejo do solo atuam modificando a entrada e a saída de C do solo para a atmosfera, em função da produção diferenciada de resíduos, do número de cultivos, das espécies vegetais, da adubação, dos procedimentos de colheita, dos sistemas de preparo do solo e do manejo dos restos culturais (LAL e BRUCE, 1999).

A MOS é considerada um componente da qualidade do solo, pois consiste em um fator importante para a manutenção da fertilidade e sustentabilidade dos agroecossistemas (REEVES, 1997). Sua relevância é justificada por atuar em processos que ocorrem no solo como a ciclagem de nutrientes, a retenção de cátions, a complexação de elementos tóxicos, a formação e estabilização de agregados, infiltração e retenção de água, aeração, atividade e diversidade

microbiana sendo, desta forma, fundamental para a capacidade produtiva do solo (STEVENSON, 1994).

Buscando minimizar os efeitos das perdas de MOS, a adoção de sistemas conservacionistas de manejo, com redução da intensidade de revolvimento do solo, manutenção da cobertura vegetal e rotação de culturas, tem evoluído significativamente em área cultivada no Brasil. No Rio Grande do Sul, o plantio direto vem sendo adotado em substituição ao preparo convencional, pois, o mínimo revolvimento do solo a cada cultivo favorece o controle da erosão, aumenta a disponibilidade de água e de nutrientes para as plantas, melhora as condições físicas do solo e contribui para a diminuição da taxa de decomposição da MOS. Também são recomendados sistemas de manejo com ênfase na rotação de culturas, visando, entre outras vantagens, o maior aporte de resíduos culturais ao solo, bem como a exploração de diferentes volumes de solo pelas raízes.

Na metade Sul do RS, o sistema de produção de arroz irrigado, com área de 950 mil hectares (CONAB, 2009) é cultivado em solos com dificuldade de drenagem interna, o que propicia uma dinâmica diferenciada para as transformações da MOS. Com a escassez de oxigênio, a decomposição da matéria orgânica se dá mais lentamente, prevalecendo os processos anaeróbios em parte do ano, especialmente em áreas de relevo mais plano. Porém, ao final do ciclo do arroz irrigado, as áreas são drenadas, prevalecendo o processo aeróbio (TAN, 2003).

Nesta região, a produção animal extensiva, em especial de bovinos, tanto em áreas de terras altas como em áreas de terras baixas, está integrada à produção de arroz irrigado. Escassos são os estudos que avaliam os impactos desses sistemas de uso e manejo do solo sobre a dinâmica da MOS e suas frações, principalmente no ambiente de terras baixas.

As alterações provocadas na MOS pelo manejo inadequado e/ou a efetividade do processo de recuperação de áreas degradadas por meio da utilização de sistemas conservacionistas podem ser monitoradas através do fracionamento químico da MOS que, em geral, é utilizado para quantificar os teores de C nas diferentes frações húmicas do solo. As substâncias húmicas (humina, ácido húmico e ácido fúlvico) representam mais de 80% do carbono (C) presente

no solo e são diferenciadas pela cor, massa molecular, presença de grupos funcionais (carboxílicos, fenólicos, etc.) e grau de polimerização (GUERRA et al., 2008).

Neste contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito dos sistemas de uso e manejo sobre o teor e estoque de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) e das substâncias húmicas (SH), no solo inteiro e nos macroagregados, na camada superficial de um Planossolo Háplico.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento vem sendo conduzido desde 2003 na Estação Experimental de Terras Baixas, da Embrapa Clima Temperado, localizada no Município de Capão do Leão, RS, em um Planossolo Háplico em uma área historicamente cultivada com arroz irrigado e após, dois anos consecutivos, cultivada com sorgo forrageiro. No primeiro ano do experimento, a cultura do arroz irrigado foi utilizada para uniformizar o solo em toda área experimental, seguida de pousio invernal. O clima da região é do tipo Cfa (C- clima mesotérmico quente, com média do mês de frio entre 3-18° C; f- precipitação média mensal não inferior a 60 mm, sempre úmido; a- temperatura do mês mais quente superior a 22° C), segundo classificação de Köppen. O solo apresenta textura superficial franca (SANTOS et al., 2006), com quantidades, em média, na camada de 0,000 a 0,275 m, de 170 g kg⁻¹ de argila, 370 g kg⁻¹ de silte e 460 g kg⁻¹ de areia. No início do experimento o solo da área experimental apresentava pH H₂O = 6,0; matéria orgânica = 20 g kg⁻¹; potássio = 42 mg dm⁻³; fósforo = 17,9 mg dm⁻³; cálcio = 3,6 cmol_c dm⁻³ e magnésio = 2,0 cmol_c dm⁻³.

Os tratamentos foram dispostos em blocos casualizados, com três repetições e para este estudo foram avaliados um sistema de cultivo e dois sistemas de preparo do solo (plantio direto - PD e preparo convencional -PC). O sistema de cultivo contempla culturas de interesse comercial no verão, alternativas ao arroz irrigado e culturas de cobertura no inverno (Tabela 1). Como referência amostrou-se uma área sob campo nativo (CN), adjacente ao experimento, cujo tipo de solo, relevo, altitude e demais características são consideradas representativas

da condição original da área experimental, anterior ao seu uso agrícola. As amostras de solo foram coletadas em 2007 na camada de 0,000 a 0,025 m, secas, destorroadas, peneiradas e separadas em duas classes de solo: solo inteiro (solo passado em peneira de diâmetro de 2,00 mm) e macroagregados (solo retido entre as peneiras de malha de diâmetro de 8,00 mm e 0,25 mm).

Tabela 1. Seqüência de cultivos da área experimental no período de 2003 a 2007. Estação Experimental Terras Baixas da Embrapa Clima Temperado, Capão do Leão, RS, 2010.

Ano 1		Ano 2		Ano 3		Ano 4	
2003	2004	2004	2005	2005	2006	2006	2007
Verão	Inverno	verão	inverno	Verão	inverno	Verão	Inverno
A	P	S	Az + C	M	Az + C	Sr	Az + C
A – arroz irrigado (<i>Oryza sativa</i>); P – pousio; S – soja (<i>Glycine max</i> L.), Az - Azevém (<i>Lolium multiflorum</i> Lam.); C – cornichão (<i>Lotus corniculatus</i>); M – milho (<i>Zea mays</i> L.); Sr – sorgo (<i>Sorgum vulgare</i>).							

As SH foram fracionadas quimicamente, segundo Dick et al. (1998). Em 30 g de solo foram adicionados 90 mL de HCl 0,5 mol L⁻¹ e esta suspensão foi agitada por duas horas. Após centrifugação (2500 rpm, 15 min), o sobrenadante foi separado e este procedimento foi repetido mais duas vezes. Este extrato ácido (substâncias orgânicas não-húmicas - NH) teve seu volume medido e armazenado.

Em seguida, o solo foi submetido a tratamento com 90 mL de NaOH 0,5 mol L⁻¹ sob agitação (três horas). O extrato alcalino foi separado por centrifugação (2500 rpm, 15 min). Este procedimento foi repetido até o sobrenadante tornar-se incolor. Os extratos alcalinos correspondentes às SH solúveis (ácido húmico - AH e ácido fúlvico - AF – (AH+AF) foram armazenados e o volume final foi medido e uma alíquota de 20 mL foi retirada para análises posteriores.

A fração humina (HU) correspondeu ao resíduo que restou após a retirada do extrato alcalino (AH+AF). O extrato AH+AF foi acidificado a pH 2,0 com HCl 0,1 mol L⁻¹. Após 24 horas de repouso, a fração AF (sobrenadante) foi separada por centrifugação do material precipitado correspondente a fração AH.

O COT e o NT foram quantificados por oxidação a seco, em analisador elementar TruSpec da Leco. Os estoques de COT e NT foram estabelecidos pelo produto do C e N correspondente à quantidade de agregados retidos em cada

classe de solo pela massa equivalente de solo considerando a densidade e a espessura da camada.

Os teores de C no extrato ácido (C_{NH}), nas SH ($C_{AH}+C_{AF}$) e no AF (C_{AF}) foram quantificados, determinando-se a absorvância a 580 nm após oxidação da matéria orgânica com dicromato de potássio em meio ácido a 60°C, durante quatro horas (DICK et al., 1998). O teor de C na forma de AH (C_{AH}) e na forma de HU (C_{HU}) foram determinados pelas diferenças $C_{AH} = (C_{AH}+C_{AF}) - C_{AF}$ e $C_{HU} = COT - C_{NH} - (C_{AH}+C_{AF})$, respectivamente.

Os resultados dos parâmetros avaliados foram submetidos à análise de variância e ao teste de Duncan ao nível de 5 %, para avaliação das diferenças entre as médias obtidas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Carbono orgânico total e nitrogênio total

Os sistemas PC e PD apresentaram reduções significativas nos teores de COT, tanto para o solo inteiro como para os macroagregados (Tabela 2), comparativamente ao CN. No CN, o maior teor de COT pode ser explicado pela não utilização agrícola, havendo uma maior estabilização, com um equilíbrio entre as taxas médias de adição e perda de C do solo (AMADO et al., 2006; BAYER et al., 2002). As alternâncias nos ciclos de umedecimento e secagem do solo, por ocasião do cultivo do arroz irrigado, e as melhores condições de aeração pelo revolvimento, aumentam a atividade microbiana acelerando o processo de decomposição da MOS e, conseqüentemente, houve redução dos teores de COT do solo sob cultivo (STEVENSON, 1994). Cruz (2009) trabalhando nessa mesma área, observou que comparativamente ao CN, o cultivo intensivo a que foi submetida a área experimental anteriormente à instalação do experimento, promoveu redução de 4,6 Mg ha⁻¹ no estoque de COT, possivelmente pelo efeito do preparo do solo sobre o aumento da taxa de decomposição da MOS.

Os teores de COT de solos afetados por sistemas de uso e manejo somente irão se aproximar do conteúdo de COT de um solo sob condição

natural, se submetidos a altas adições de resíduos culturais ao solo e a sistemas sob baixa intensidade de revolvimento do solo (BAYER e MIELNICZUK, 1997).

Não foi observada diferença significativa entre os teores de COT nos sistemas PC e PD (Tabela 2). Comportamento semelhante foi observado por Empinotti (1999), que estudando a qualidade da matéria orgânica em diferentes sistemas de manejo em um Argissolo Vermelho escuro, não encontrou diferença significativa entre os sistemas PC e PD. Em Latossolo Roxo distrófico, este mesmo autor observou aumento de 26% no teor de COT sob sistema PD em relação ao PC. Possivelmente, para o presente trabalho, o curto período de avaliação do efeito dos sistemas de manejo tenha sido insuficiente para promover alterações quantitativas significativas no teor e estoque de MOS.

Carneiro et al. (2009), trabalhando com um Latossolo Vermelho sob sucessão soja/milho em sistema PD e PC, utilizando como referência uma mata secundária em processo de regeneração, observaram que a mata apresentou os maiores teores de COT na profundidade de 0,000 a 0,005 m, atribuído ao fato de que a matéria orgânica neste sistema encontra-se preservada, devido a não mobilização do solo e a constante ciclagem de material vegetal, proporcionado pela maior diversidade de espécies presentes na mata. Neste mesmo trabalho, os autores não encontraram diferenças significativas nos teores de COT entre os sistemas PD e PC, até a profundidade de 0,010 m, explicado pelo fato de que no sistema convencional de preparo não havia mobilização constante, o que contribuiu em parte para uma maior preservação da palhada sobre o solo entre uma cultura e outra, favorecendo a manutenção do COT. Neste caso, possivelmente o efeito do preparo do solo sobre a decomposição da MOS seja menos evidente, dado que a matriz mineral de textura argilosa e rica em óxidos de ferro, oferece proteção químico-coloidal aos compostos orgânicos pelos mecanismos de interação organo-mineral, contribuindo para maior estabilização do C neste solo. Bayer (1996), trabalhando neste mesmo solo observou uma taxa de decomposição da MOS estimada para o sistema de preparo convencional de 1,4% ao ano, muito próxima dos 1,2% obtidos para o plantio direto.

Quando se observa o estoque de COT nos diferentes sistemas de uso e manejo (Tabela 2), percebe-se que este apresenta o mesmo comportamento dos teores de COT nos macroagregados e no solo inteiro, exceto, no PC do solo inteiro que não diferiu estatisticamente do CN e do PD. De acordo com Jantalia et al. (2003) a utilização de leguminosas em sistemas de rotação de culturas é uma eficiente estratégia para a manutenção e recuperação dos estoques de C no solo. A utilização de um sistema incluindo um maior número de espécies vegetais (inverno: azevém, cornichão; verão: soja, milho, sorgo), com leguminosas no inverno e no verão, favorece o aumento no estoque de COT, independente do sistema de preparo utilizado.

Tabela 2. Teores e estoques de carbono orgânico total (COT) e de nitrogênio total (NT) e relação C/N de um Planossolo Háplico submetido a diferentes sistemas de manejo, na camada de 0,000 a 0,025 m, Capão do Leão – RS, 2010. Média de três repetições.

Sistemas de manejo	-----COT-----		-----NT-----		---C/N---
	Teor	Estoque	Teor	Estoque	
	g kg ⁻¹	Mg ha ⁻¹	g kg ⁻¹	Mg ha ⁻¹	
-----solo inteiro-----					
CN	20,17 a	6,82 a	1,27 a	0,43 a	16,01
PC	13,40 b	5,25 ab	0,97 a	0,38 a	13,86
PD	11,77 b	4,59 b	0,94 a	0,36 a	12,85
-----macroagregados-----					
CN	16,28 a	5,51 a	0,83 a	0,28 a	19,96
PC	9,22 b	3,61 b	0,70 ab	0,27 a	13,25
PD	7,48 b	2,92 b	0,48 b	0,19 a	15,71

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan, ao nível de 5%.

CN = Campo nativo; **PC** = Preparo convencional; **PD** = Plantio direto.

Pillon (2000) investigando as alterações no conteúdo de carbono em um Argissolo Vermelho, em sistemas de cultura sob plantio direto após 16 anos, observou que os sistemas com inclusão de leguminosas apresentaram os maiores conteúdos de COT no solo, variando de 31,37 Mg ha⁻¹ a 40,98 Mg ha⁻¹ nos sistemas Pousio/Milho e Lablab/Milho (leguminosa/gramínea), respectivamente.

Solos submetidos a cultivos intensivos sofrem modificações físicas como a compactação, podendo limitar o crescimento e a atividade de microrganismos, diminuindo a taxa de decomposição da MOS (DALAL e MAYER, 1986, REICOSKI

et al., 1995). O ambiente de anaerobiose no período de outono e inverno nos sistemas de manejo PD e PC, também reduzem a taxa de decomposição da MOS (TAN, 2003).

O nitrogênio (N) é um dos elementos mais afetados quando um sistema natural é cultivado, apresentando nessa situação grandes perdas. Normalmente, em regiões tropicais, ocorrem perdas em torno de 56% de N como consequência do cultivo agrícola (CERRI et al., 1991). Nesse estudo, não foi observada uma diminuição significativa no teor e estoque desse nutriente, exceto nos macroagregados do solo em que o teor de N no CN foi superior, diferindo estatisticamente do PD (Tabela 2).

Em agroecossistemas, as espécies leguminosas além de contribuírem com N para as espécies gramíneas, também possuem elevada produção de biomassa vegetal (BURLE et al., 1997; FERNANDES et al., 2002; LOVATO et al., 2004). Leguminosas com desenvolvimento radicular expressivo podem contribuir para a maior ciclagem de N no sistema e para a redução da possibilidade de perdas de N por lixiviação de nitrato, contribuindo para uma maior produção de biomassa vegetal, especialmente de milho (PILLON, 2000).

Os teores e estoques de NT encontrados seguiram a mesma tendência de variação entre os tratamentos daqueles encontrados para o COT e entre solo inteiro e macroagregados, quando se compara os valores absolutos, o que indica uma estreita relação entre esses dois parâmetros (Tabela 2).

O uso intensivo do solo anteriormente a instalação do experimento possivelmente tenha contribuído para a redução nos teores e estoques de COT e NT (valores absolutos), tanto no solo inteiro como nos macroagregados (Tabela 2), usando-se como referência o CN. Segundo Amado et al. (1999) o uso do solo promove a quebra dos agregados e potencializa a mineralização do C e N da matéria orgânica, principalmente quando é incorporada uma quantidade significativa de compostos pouco estáveis, de baixa relação C/N, pela maior exposição dos compostos húmicos do solo a fatores bióticos (fauna edáfica) e abióticos (temperatura, umidade e luminosidade). Os ciclos de alagamento e drenagem do solo, também podem ter contribuído para a diminuição do NT, pois

aumentam as perdas por desnitrificação ou lixiviação (GONZALEZ-PÉREZ, 2004; ROSA, 2006).

Dieckow (2003) trabalhando em um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de cultivo observou reduções nos estoques de C e N da camada de 0,000 a 0,175 m sob PC ($8,6 \text{ Mg ha}^{-1}$ de C e $0,44 \text{ Mg ha}^{-1}$ de N) causadas tanto pelo preparo excessivo do solo como pela baixa adição de resíduos culturais. Porém, no mesmo trabalho, o autor comprovou que somente a adoção do PD não foi suficiente para promover a manutenção ou o aumento dos estoques de C e N do solo.

Maiores valores de relação C/N foram observados no CN, tanto no solo inteiro como nos macroagregados. Possivelmente este fato seja resultado da maior abundância relativa de gramíneas comparativamente a de leguminosas na área de campo natural, cujos resíduos culturais da parte aérea e raízes concentram-se em superfície e também pelo fato de que neste sistema a atividade dos organismos encontra-se em homeostase.

Carbono nas frações da matéria orgânica

Foram observadas reduções significativas nos teores de carbono das frações não húmica (NH), ácido fúlvico (AF) e humina (HU), quando comparados os tratamentos sob cultivo (PC e PD) e o CN (Tabela 3).

No solo inteiro, o PC apresentou teores de C nas frações NH e AF, 43 e 48% menores, respectivamente, do que o CN já o PD apresentou perdas de 51 e 36%, respectivamente, para as mesmas frações. Estas frações são bastante instáveis, podendo ser perdidas facilmente com a alteração no sistema de manejo do solo. O PD também apresentou teor bastante inferior de HU (54% a menos que o CN), mesmo esta fração sendo mais resistente a degradação microbiana. Na fração AH observou-se valores semelhantes em todos os sistemas estudados. Possivelmente os efeitos negativos da intensa mobilização do solo anteriormente a instalação da área experimental tenha contribuído para a redução da MOS não só nas frações mais lábeis, mas também nas frações mais estáveis, como as huminas. Tais resultados comprovam que as frações da MOS obtidas por

fracionamento químico também são sensíveis aos efeitos dos sistemas de manejo, porém em médio e longo prazos.

Nos macroagregados não observou-se diferença entre os sistemas nas frações NH e AH. No entanto, pode-se verificar uma redução de 44 e 52 % na fração AF nos sistemas PC e PD e redução de 46 e 63% na fração HU, para os sistemas PC e PD, respectivamente, em comparação ao CN. (Tabela 3).

Tabela 3. Teor de carbono nas formas não humificada (NH), ácido fúlvico (AF), ácido húmico (AH) e humina (HU) da matéria orgânica de um Planossolo Háplico submetido a diferentes sistemas de manejo, na camada de 0,000 a 0,025 m, Capão do Leão – RS, 2010. Média de três repetições.

Sistema de manejo	NH	AF	AH	HU
g kg ⁻¹				
-----Solo inteiro-----				
CN	0,37 a	2,09 a	4,48 a	13,22 a
PC	0,21 b	1,08 b	3,45 a	8,66 ab
PD	0,18 b	1,33 b	4,22 a	6,04 b
-----Macroagregados-----				
CN	0,31 a	1,51 a	2,16 a	12,31 a
PC	0,17 a	0,84 b	1,52 a	6,70 b
PD	0,23 a	0,73 b	1,73 a	4,59 b

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan, ao nível de 5%.

CN = Campo nativo; **PC** = Preparo convencional; **PD** = Plantio direto.

Entre os sistemas PC e PD não foram observadas diferenças estatísticas entre os teores de C nas frações húmicas, evidenciando que a distribuição do C nas frações da matéria orgânica não se alterou pelo sistema de manejo do solo, mesmo na fração AF, que tem baixa estabilidade e perde-se facilmente com a intensidade de manejo (NASCIMENTO et al., 1992). Possivelmente o curto período de avaliação dos sistemas de manejo após a instalação dos tratamentos possa explicar em parte tal comportamento.

Dentre as frações da MOS, houve predomínio da fração húmica sobre a NH e entre as frações húmicas, observou-se maior teor de C na fração HU, independente do sistema de manejo (Figura 1). Tal comportamento pode ser explicado pela maior capacidade de proteção e estabilização da MOS na matriz mineral cujo mecanismo de proteção via interação organo-mineral é comum na

fração HU (CORNEJO e HERMOSIN, 1996; PICCOLO, 2001). Adicionalmente, o acúmulo de HU pode ser explicado por serem substâncias altamente desenvolvidas e resistentes à degradação microbiana (CONTEH e BLAIR, 1998; BENITES et al., 2003; BARRETO et al., 2008).

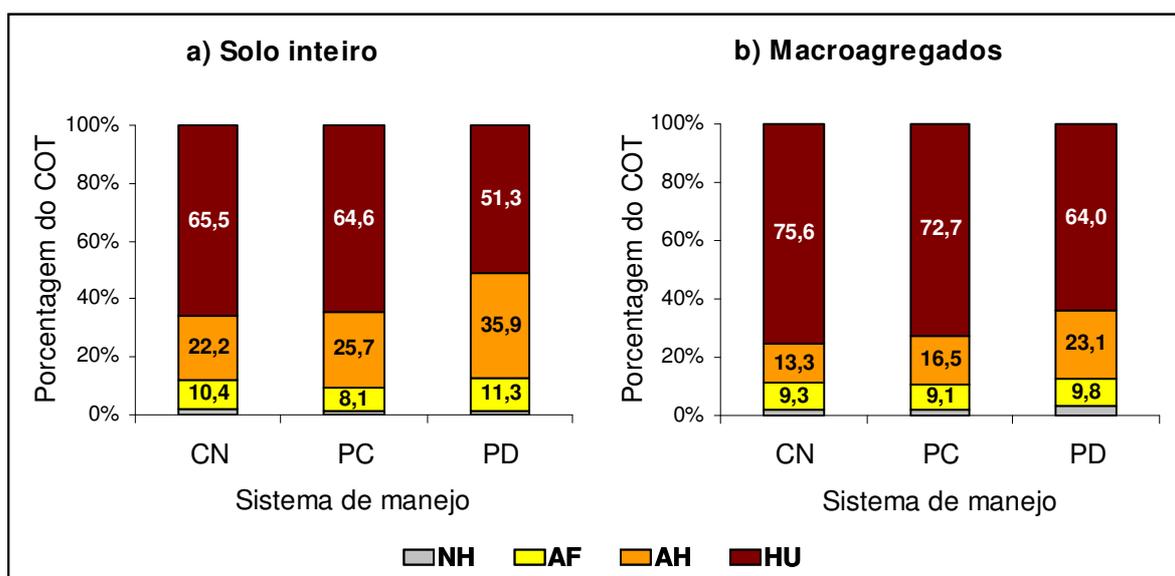


Figura 1. Proporção do carbono total nas frações da matéria orgânica de um Planossolo Háplico submetido a diferentes sistemas de manejo, na camada de 0,000 a 0,025 m, Capão do Leão – RS, 2010.

CN = Campo nativo; **PC** = Preparo convencional; **PD** = Plantio direto.

NH = substância não húmica; **AF** = ácido fúlvico; **AH** = ácido húmico; **HU** = humina.

Assis et al. (2006) trabalhando em um Latossolo sob diferentes sistemas de uso e manejo observaram que, de modo geral, para os teores de COT nas frações húmicas, a fração HU tendeu a suplantar as frações AH e AF. No sistema de cultura composto de milho/soja/milho sob PD, os autores obtiveram teores de C de 7,94 g kg⁻¹, 1,42 g kg⁻¹ e 1,56 g kg⁻¹, respectivamente, para as frações HU, AH e AF, na classe de agregados 4 – 2 mm; já para o CN estes valores ficaram em 14,22 g kg⁻¹, 5,60 g kg⁻¹ e 3,64 g kg⁻¹. Segundo os autores estes resultados sugerem um possível grau avançado de humificação da MOS e uma maior interação da fração mineral do solo com a MOS.

Em um Argissolo Vermelho-Amarelo, Leite et al. (2003) constataram que a HU representou cerca de 50 a 60% do COT em todos os sistemas de produção, o que pode estar relacionado com o tamanho das moléculas e ao longo tempo de

residência no solo.

A maior porcentagem de C na fração HU foi encontrada nos macroagregados, que são onde primeiramente as SH se acumulam. Como a HU é mais insolúvel, não se degradando facilmente, confere aos macroagregados maior porcentagem de SH de natureza mais alifática do que no solo inteiro (PICCOLO, 2001).

A presença em maior quantidade da HU nos macroagregados sinaliza a importância dessa fração no processo de agregação (ASSIS et al., 2006). A maior proporção de HU encontrada nos macroagregados quando comparada ao solo inteiro, pode ser explicada pela teoria da hierarquia da agregação proposta por Tisdall e Oades (1982). Segundo eles, os complexos organo-minerais primários (<250 µm), formados a partir de materiais orgânicos persistentes, HU, por exemplo, leva a formação de microagregados bastante estáveis que podem ser unidos por materiais orgânicos transitórios (exudatos radiculares e microbianos), entrelaçamento de hifas e fungos ou pela ação do sistema radicular das plantas, resultando na formação de macroagregados com altos teores de HU.

Conteh e Blair (1998) observaram que a predominância da fração HU sobre as outras frações húmicas é maior nos macroagregados, enquanto que nos agregados menores os compostos mais reativos (AF e AH) têm maior participação na agregação, o que indica que o comportamento das substâncias húmicas varia com a classe de agregados.

A fração orgânica não humificada (NH) foi a que se apresentou em menor proporção (Figura 1). Esta fração corresponde a uma fase transitória entre os resíduos culturais e a matéria orgânica humificada. A fração NH serve de fonte de C e energia para a atividade microbiana do solo e de onde as plantas retiram grande parte dos nutrientes essenciais em seu metabolismo (PAUL e CLARK, 1996; ROSA, 2006).

A porcentagem de AF, praticamente não variou entre os sistemas de manejo e foi consideravelmente menor que a proporção de AH, tanto no solo inteiro como nos macroagregados (Figura 1). Em solos com baixa capacidade de troca de cátions e baixo teor de argila nas camadas superficiais, a possibilidade do AF ser removido do horizonte A é maior por sua estrutura ser facilmente degradada

e pela grande mobilidade desta fração no solo, o que favorece a lixiviação (ASSIS et al., 2006).

Castro (2008) trabalhando com um Argissolo Vermelho-Amarelo sob CN, de textura argilosa, observou menores teores de C na forma de AF em relação ao AH. De acordo com Leite et al. (2003), o aumento da proporção de AH em relação ao AF, em CN, se dá pela maior polimerização de AH. Além disso, em sistemas naturais, o maior acúmulo de MOS pode contribuir para o aumento dos estoques de AH, por meio de processo de herança de compostos da matéria orgânica fresca, de modo semelhante ao que ocorreria com a HU herdada particularmente da lignina.

Outro fator que pode ser causa da menor porcentagem de AF é a atividade microbiana que utiliza no seu metabolismo o N de cadeias alifáticas de moléculas orgânicas pouco condensadas, como as que ocorrem nos AF (GUERRA et al., 2008). A maior proporção de AH em relação ao AF também pode ser justificada pelo baixo teor de argila nas camadas superficiais, o que aumenta a possibilidade de lixiviação de compostos de baixo peso molecular (EMPINOTTI, 1999).

A proporção de AH, variou de 22,2 a 35,9% no solo inteiro e de 13,3 a 23,1% nos macroagregados. Observou-se uma menor porcentagem de C na fração AH nos macroagregados, independente do sistema de cultivo. Como o solo é composto de um conjunto de agregados de diferentes tamanhos e estabilidade (macroagregados e microagregados), o maior acúmulo de C nas frações AH e AF, no solo inteiro, pode ser atribuído ao fato de estas estarem protegidas nos microagregados que, por sua vez, estão estabilizados pela ação do material orgânico, onde são menos afetados pelos sistemas de cultivo.

Passos et al. (2007) encontraram valores superiores de C orgânico de AH nos microagregados, o que indica que tanto a proteção química quanto a proteção física tem papel importante na estabilização das formas de C no solo.

Quando se observam os estoques de C nas frações da matéria orgânica (Tabela 4), percebe-se que houve diferença entre os sistemas nas frações AF (no solo inteiro e nos macroagregados) e HU (nos macroagregados) e não houve diferença significativa nas frações NH e AH.

Os estoques de C da fração AF para os sistemas de manejo (PC e PD) foram menores do que os do CN nos macroagregados. Leite et al. (2003) também observaram esta mesma redução nos estoques de AF sob cultivo de milho quando comparados ao CN; nas camadas de 0,000 a 0,010 m e de 0,010 a 0,020 m, os autores encontraram reduções que variaram de 3,4% (área de milho com adubação orgânica) a 19% (área de milho com adubação mineral), respectivamente, quando comparados ao CN. A diminuição dos estoques das frações AF e HU, decorrente da mudança de vegetação natural para a agricultura, também foi observada por Longo e Espindola (2000) em um Latossolo Vermelho-Amarelo.

Tabela 4. Estoque de carbono nas formas não humificada (NH), ácido fúlvico (AF), ácido húmico (AH) e humina (HU) da matéria orgânica de um Planossolo Háplico submetido a diferentes sistemas de manejo, na camada de 0,000 a 0,025 m, Capão do Leão – RS, 2010. Média de três repetições.

Sistema de manejo	NH	AF	AH	HU
Mg ha ⁻¹				
-----Solo inteiro-----				
CN	0,12 a	0,71 a	1,52 a	4,48 a
PC	0,08 a	0,42 b	1,34 a	3,40 a
PD	0,07 a	0,52 ab	1,64 a	2,36 a
-----Macroagregados-----				
CN	0,10 a	0,51 a	0,73 a	4,17 a
PC	0,07 a	0,33 b	0,59 a	2,62 b
PD	0,09 a	0,28 b	0,67 a	1,87 b

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan, ao nível de 5%.

CN = Campo nativo; **PC** = Preparo convencional; **PD** = Plantio direto.

NH = não húmica; **AF** = ácido fúlvico; **AH** = ácido húmico; **HU** = humina.

CONCLUSÕES

O uso agrícola do solo anteriormente a instalação da área experimental provocou redução no teor e estoque de carbono orgânico total no solo inteiro, nos macroagregados e nas frações húmicas da matéria orgânica do solo.

As maiores proporções de C da fração mais estável da matéria orgânica (humina) foram encontradas nos macroagregados extraídos desse Planossolo.

Houve um enriquecimento relativo na proporção de carbono orgânico total na forma de ácido húmico, refletindo na manutenção dos teores e estoques de carbono dessa fração nos diferentes sistemas de manejo do solo.

4. ESTUDO 2- Caracterização química e espectroscópica de ácidos húmicos de um Planossolo Háplico sob sistemas de uso e manejo do solo.

INTRODUÇÃO

O Bioma Pampa, no Rio Grande do Sul, tem sido ameaçado por processos de degradação que implicam na diminuição da qualidade do solo (ROVEDDER et al., 2010).

A matéria orgânica do solo (MOS) tem influencia sobre a qualidade física, química e biológica do solo (MIELNICZUK, 2008) e, por este motivo é utilizada como um indicador-chave da qualidade de sistemas de uso e manejo do solo.

Em solos aerados, a adoção de sistemas conservacionistas de manejo contribui para a manutenção e/ou acúmulo de MOS ao longo do tempo. Os efeitos mais evidentes são observados primeiramente nas camadas superficiais do solo e, com o tempo, nas camadas subsequentes dependendo da taxa de aporte de resíduos (BURLE et al., 1997; BAYER et al., 2002; DIECKOW et al., 2005). Em agroecossistemas de terras baixas, existem poucos estudos sobre a dinâmica da MOS, especialmente aqueles que avaliam o efeito de sistemas de uso e manejo do solo sobre a composição química e qualidade da MOS.

Tradicionalmente, em ambiente de terras baixas, cultiva-se o arroz irrigado integrado e/ou em sucessão com a pecuária extensiva de corte, em rotação com a cultura da soja, por vezes, e em menor escala o milho, o que se justifica pela existência de solos com baixa capacidade de drenagem interna e baixa fertilidade natural. A condição de má drenagem e/ou alagamento durante o cultivo do arroz, nesse ambiente, proporciona uma dinâmica diferenciada para as transformações da MOS e nestas condições, onde há redução das taxas de oxigênio no solo, decorrentes da baixa taxa de difusão do O₂ na água, a decomposição da MOS passa a ocorrer através de processos anaeróbios, inclusive por fermentação (TAN, 2003). Porém, após o período de alagamento para o cultivo do arroz, as lavouras

são drenadas, prevalecendo o processo aeróbio de decomposição, especialmente no período de primavera e verão.

O tipo de uso e manejo do solo também influencia as transformações da MOS, principalmente a velocidade de decomposição dos resíduos culturais, interferindo no tempo de permanência de cada fração do carbono orgânico do solo. Grande parte da MOS consiste de uma série de compostos ácidos não humificados e macromoléculas humificadas. O primeiro grupo é representado pelos compostos orgânicos, incluindo carboidratos, gorduras, ceras e proteínas e constituem de 10 a 15 % da matéria orgânica (MO) dos solos minerais; o segundo grupo, e principal, é representado pelas substâncias húmicas (SH), que constituem de 85 a 90 % do carbono orgânico do solo (GUERRA et al., 2008), o que explica o fato de parte considerável da pesquisa com MO estar voltada para o estudo das frações húmicas do solo.

As SH compreendem os ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF) e as huminas (HU) que são importantes para o fornecimento de nutrientes às culturas; na retenção de cátions; na complexação de elementos tóxicos e de micronutrientes; para a estabilidade de agregados, a qual interfere na infiltração, retenção de água e aeração do solo e influenciam na atividade e biomassa microbiana (AUDREUX, 1996). Os AH são os compostos mais estudados, sendo responsáveis pela maior parte da CTC de origem orgânica em camadas superficiais (BARRETO et al., 2008).

A estrutura e a composição das SH podem ser influenciadas, dentre outros parâmetros, pelo material de origem, pela vegetação e pelo sistema de uso e manejo do solo (FAVORETTO, 2007). Análises químicas e espectroscópicas têm sido amplamente utilizadas nos estudos de MOS e suas frações húmicas. Informações sobre as características estruturais, grau de humificação, condensação e aromaticidade podem ser obtidas por composição elementar, espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), ressonância paramagnética eletrônica (EPR), fluorescência de luz UV-Visível, ou pela combinação desses métodos (FONTANA, 2006; FAVORETTO, 2007; DOBBSS et al., 2009).

Nesse contexto, este trabalho teve por objetivo caracterizar qualitativamente os ácidos húmicos de um Planossolo Háplico submetido a diferentes sistemas de uso e manejo do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi implantado em 2003 na Estação Experimental de Terras Baixas, da Embrapa Clima Temperado, localizada no Município de Capão do Leão, RS, em um Planossolo Háplico em uma área com histórico anterior de cultivo de cereais sob preparo convencional. No primeiro ano experimental, a cultura do arroz irrigado foi utilizada para uniformizar o solo em toda área, seguida de pousio invernal. O clima da região é do tipo Cfa (C- clima mesotérmico quente, com média do mês de frio entre 3-18° C; f- precipitação média mensal não inferior a 60 mm – sempre úmido; a- temperatura do mês mais quente superior a 22° C), segundo a classificação de Köppen. O solo apresenta textura superficial franca (SANTOS et al., 2006), contendo, em média, na camada de 0,000 a 0,275 m, de 170 g kg⁻¹ de argila, 370 g kg⁻¹ de silte e 460 g kg⁻¹ de areia. No início do experimento o solo da área experimental apresentava pH H₂O = 6,0; matéria orgânica = 20 g kg⁻¹; potássio = 42 mg dm⁻³; fósforo = 17,9 mg dm⁻³; cálcio = 3,6 cmol_c dm⁻³ e magnésio = 2,0 cmol_c dm⁻³.

Os tratamentos foram dispostos em blocos casualizados, com três repetições e para este estudo foram avaliados um sistema de cultivo e dois sistemas de preparo do solo (plantio direto - PD e preparo convencional - PC). O sistema de cultivo contempla culturas de interesse comercial no verão, alternativas ao arroz irrigado, e culturas de cobertura no inverno (Tabela 1). Como referência amostrou-se uma área sob campo nativo (CN), adjacente ao experimento, cujo tipo de solo, relevo, altitude e demais características são consideradas representativas da condição original da área experimental, anterior ao seu uso agrícola. As amostras de solo foram coletadas em 2007 na camada de 0,000 a 0,025 m, secas, peneiradas e separadas em duas porções de solo: solo inteiro (solo peneirado em peneira com diâmetro de 2,00 mm) e macroagregados (solo retido entre as peneiras de malha com diâmetro de 8,00 mm e 0,25 mm).

Tabela 1. Seqüência de cultivos da área experimental no período de 2003 a 2007. Estação Experimental Terras Baixas da Embrapa Clima Temperado, Capão do Leão – RS, 2010.

Ano 1		Ano 2		Ano 3		Ano 4	
2003	2004	2004	2005	2005	2006	2006	2007
Verão	Inverno	verão	inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno
A	P	S	Az + C	M	Az + C	Sr	Az + C

A – arroz irrigado (*Oryza sativa*); P – pousio; S – soja (*Glycine max* L.), Az - Azevém (*Lolium multiflorum* Lam.); C – cornichão (*Lotus corniculatus*); M – milho (*Zea mays* L.); Sr – sorgo (*Sorghum vulgare*).

As SH foram fracionadas quimicamente com base na solubilidade em meio ácido/alcalino, segundo metodologia descrita por Dick et al. (1998).

A purificação do ácido húmico (AH) procedeu-se lavando com 90 mL de HF/HCl 5 % sob uma hora de agitação e posterior centrifugação por 15 minutos. Este procedimento foi repetido três vezes, descartando-se o sobrenadante. O material precipitado foi congelado com água destilada por uma noite e depois de descongelado, foi lavado com água destilada até teste negativo com AgNO₃ para íons cloreto. O AH foi seco em estufa a 45° C, moído em gral de ágata e acondicionado em tubos ependorfs.

A determinação da composição elementar foi realizada em analisador automático TruSpec da Leco. O teor de oxigênio foi calculado por diferença, após correção dos valores para uma base livre de cinzas. O teor de cinzas foi determinado gravimetricamente, após calcinação a 750°C, durante 4 horas (DICK et al., 1997).

A partir das porcentagens de C, H, N e O, foram calculadas a relação C/N e as razões atômicas H/C e O/C. A razão entre o número de átomos foi obtida pela divisão da porcentagem de cada elemento por sua massa atômica, por exemplo, razão O/C = (O:16)/(C:12).

As amostras de AH foram analisadas por FTIR (Biorad FTS 3500 GX modelo EXCALIBUR) em pastilhas de KBr (1 amostra:100 KBr; 32 scans/min, resolução de 4 cm⁻¹). A atribuição das bandas de absorção foi feita segundo Tan (2003), Naiak (2007) e Dick et al. (2008). A partir dos dados de FTIR foi calculado o índice de aromaticidade I_{1620}/I_{2920} (CHEFETZ et al., 1996), dividindo-se a intensidade de absorção em torno de 1620 cm⁻¹ pela intensidade a 2922 cm⁻¹.

Para a análise de EPR as amostras de AH, no estado sólido, foram finamente pulverizadas e colocadas em tubos de quartzo de 4 mm de diâmetro. Os espectros foram registrados em temperatura ambiente (~300K) e em atmosfera de N₂ líquido (77K) utilizando-se espectrômetro BRUKER EMX micro operando em banda-X (9,5 GHz), empregando 100 kHz de frequência de modulação. Os dados de EPR foram submetidos à simulação e tratamento com auxílio dos programas Win-EPR[®] e SimFonia[®].

Para a análise de fluorescência de luz UV-Visível os AH foram dissolvidos em uma solução de bicarbonato de sódio (NaHCO₃) 0,05 mol L⁻¹ com concentração de 20 mg L⁻¹ e o pH igual a 8,0 (MILORI et al., 2002). Essa concentração foi utilizada para minimizar o efeito de reabsorção de fluorescência e reduzir interação entre moléculas. Após o preparo das soluções, os espectros de emissão e excitação de fluorescência foram medidos utilizando-se o espectrômetro de luminescência Perkin Elmer modelo LS-50B. A abertura das fendas de entrada e de saída foi de 10 nm e a velocidade de varredura foi de 500 nm min⁻¹. Os espectros de fluorescência foram obtidos no modo de emissão, segundo as metodologias propostas por Zsolnay et al. (1999) e Milori et al. (2002).

Na metodologia proposta por Zsolnay et al. (1999), mediu-se o espectro de emissão com excitação em 240 nm, intervalo de varredura entre 300 e 700 nm e filtro de 290 nm. A área sobre o maior quarto de emissão entre 570 e 641 nm (A₄), dividida pela área sobre o menor quarto entre 356 e 432 nm (A₁), denominado A₄/A₁, foi utilizada como índice de humificação.

Na metodologia proposta por Milori et al. (2002), mediu-se o espectro de emissão com excitação em 465 nm, intervalo de varredura entre 480 e 700 nm e filtro de 290 nm. A determinação do índice de humificação foi baseada na absorção em 465 nm (A₄₆₅).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Composição elementar dos AH

Os teores de C dos AH variaram de 52 a 54 % enquanto que as quantidades de cinzas variaram de 1,40 a 7,52% (Tabela 2).

Os valores de C, H, N e O foram semelhantes nos diferentes tratamentos, tanto para o solo inteiro como para os macroagregados e estão coerentes com os dados encontrados na literatura (CANELLAS et al., 2001; OLENDZKI, 2006; ROSA et al., 2008; DOBBSS, et al., 2009).

O teor de N nas amostras de AH, tanto para o solo inteiro quanto para os macroagregados, variou de 3,9 a 4,3 %. Olendzki (2006) trabalhando em um Planossolo Háptico observou valores similares em amostras de AH, variando de 4,27% no CN a 4,87% no PD. Sabe-se que solos menos aerados tendem a apresentar matéria orgânica mais rica em N (RICE e McCARTHY, 1991).

Observou-se menor teor de C e o maior teor de O nos AH dos macroagregados no sistema PC (Tabela 2), o que pode ser um indício da presença de estruturas menores e de caráter mais alifático (DOBBSS e VELLOSO, 2005). Empinotti (1999) ao caracterizar os AH de um Latossolo Roxo distrófico de Santo Ângelo – RS observou que o PC apresentou presença de estruturas mais alifáticas em relação ao PD, corroborando os resultados encontrados no presente estudo. No entanto, Rosa (2006) obteve maiores teores de C, H e N no PC do que no sistema PD ao analisar as frações AH, AF e HU na camada superficial de um Planossolo Háptico, localizado na mesma Estação Experimental, porém em um experimento de longa duração.

Quanto a relação C/N e as razões atômicas H/C e O/C, Rosa et al. (2004) sugeriram que o processo de decomposição da MOS pode levar ao acúmulo de estruturas fenólicas recalcitrantes derivadas da lignina, as quais são de mais difícil degradação em relação a proteínas e polissacarídeos. Assim, a relação C/N e as razões atômicas seriam indicadores importantes do processo de decomposição/humificação/recalcitrância da MOS. Baixos valores das razões atômicas H/C e O/C e valores mais altos da relação C/N geralmente são associados a um maior grau de humificação devido ao decréscimo no conteúdo de carboidratos e proteínas do solo (STEVENSON, 1994). Entretanto, a adição de resíduos culturais ricos em lignina ao solo também poderia contribuir para obter-se valores mais elevados da relação C/N do solo (FERREIRA, 2008).

Tabela 2. Composição elementar, relação C/N e razões atômicas H/C e O/C dos ácidos húmicos extraídos da camada de 0,000 a 0,025 m, do solo inteiro e dos macroagregados de um Planossolo Háplico, submetido a diferentes sistemas de manejo, Capão do Leão – RS, 2010.

Sistema de manejo	Cinzas (%)	Composição elementar (%) [*]				Relação C/N	Razão atômica	
		C	H	N	O		H/C	O/C
-----solo inteiro-----								
CN	2,29	53,9	2,8	4,3	38,9	12,7	0,63	0,54
PC	4,82	54,2	2,6	4,3	39,0	13,3	0,57	0,54
PD	7,52	54,0	2,6	4,3	38,9	12,9	0,58	0,54
-----macroagregados-----								
CN	1,40	54,0	2,8	4,1	39,1	13,1	0,62	0,54
PC	2,49	52,4	2,5	3,9	41,2	13,5	0,57	0,59
PD	2,20	53,2	2,6	4,2	40,1	12,8	0,59	0,57

CN = Campo nativo; PC = Preparo convencional; PD = Plantio direto.

^{*}Base livre de cinzas.

Observa-se que os valores da relação C/N, razões H/C e O/C não apresentam variações importantes entre os sistemas de manejo, tanto no solo inteiro como nos macroagregados (Tabela 2). A relação C/N variou entre 12,7 a 13,5, enquanto que a razão atômica H/C para os AH ficou entre 0,57 a 0,63%. Benites (2001) trabalhando com solos de áreas sob vegetação rupestre (Organossolos, Cambissolos Hísticos e Húmicos, Neossolos Litólicos e Espodossolos) observou uma razão H/C média para AH entre 0,48 a 1,04, demonstrando que os resultados do presente trabalho são inferiores aos geralmente encontrados na literatura, que variam entre 0,75 a 1,28 (ROSA, 2006; OLENDZKI, 2006) sugerindo a existência de estruturas aromáticas fortemente condensadas (GLASER et al., 2000) nas amostras do presente estudo.

Espectroscopia de FTIR dos AH

Os espectros de FTIR dos ácidos húmicos apresentaram o mesmo padrão de absorção tanto para o solo inteiro e para os macroagregados como para os sistemas de manejo, apresentando somente pequenas diferenças na intensidade dos picos (Figura 1).

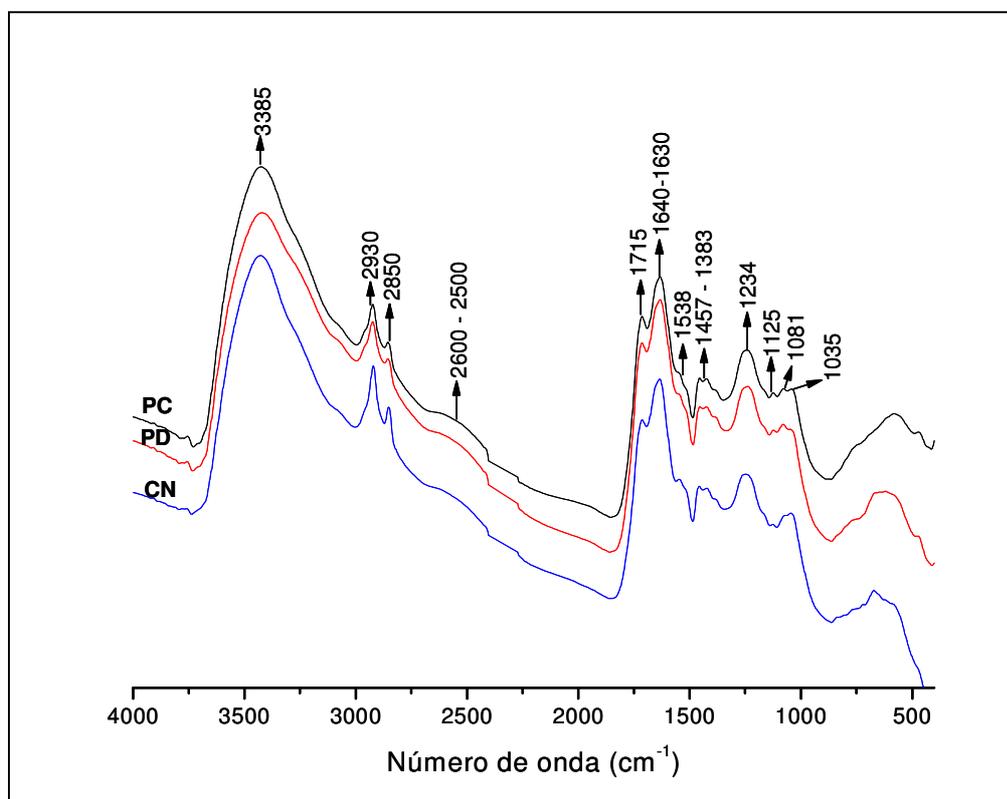


Figura 1. Espectros de infravermelho de ácidos húmicos de Planossolo Háplico sob diferentes sistemas de manejo, na profundidade de 0,000 a 0,025 m. Capão do Leão – RS, 2010.
 CN = campo nativo; PD = plantio direto; PC = preparo convencional.

Foram identificadas as seguintes bandas e respectivas atribuições: (a) uma banda larga em 3385 cm^{-1} atribuída aos grupamentos OH e N-H inter e intra molecular; (b) duas bandas em 2930 e 2850 cm^{-1} dos estiramentos assimétricos e simétricos de C-H alifáticos; (c) uma banda em 2600 e 2500 cm^{-1} da vibração C=O (COOH); (d) um pico em 1715 cm^{-1} referente ao estiramento C=O de ácidos carboxílicos e/ou cetonas; (e) duas bandas em 1640 e 1630 cm^{-1} referente à ligação C=C de anéis aromáticos ou estiramento assimétrico -COO^- ; (f) um pico em 1538 cm^{-1} devido à deformação N-H e estiramento C=N; (g) duas bandas em 1457 e 1383 cm^{-1} referente ao estiramento C-H alifático e de grupos metila; (h) uma banda em 1234 cm^{-1} atribuída ao estiramento -C-O e deformação O-H de ácidos carboxílicos; (i) bandas em 1125 , 1081 e 1035 cm^{-1} referente ao C-C alifático, vibração C-O de carboidrato, alcoóis e ésteres, Si-O-C de substâncias poliméricas, Si-O (matéria inorgânica).

O índice de aromaticidade I_{1620}/I_{2920} (CHEFETZ et al., 1996) fornece informações sobre o grau de insaturação/saturação (intensidade das vibrações de grupos C=O e C=C em relação à intensidade de grupos C-H) da fração orgânica analisada. Para os AH, este índice praticamente não variou entre os tratamentos e entre o solo inteiro e macroagregados, ficando entre 0,98 a 1,08 (Tabela 3).

A razão I_{1620}/I_{2920} foi maior no CN, sugerindo uma menor proporção de grupos alifáticos, em relação ao PC e PD, o que pode ser indicativo de maior grau de humificação dos AH no CN. O aumento relativo de grupos alifáticos é atribuído possivelmente ao consumo preferencial de estruturas O-alquil (DICK et al., 2005) devido a conversão do sistema natural em sistema agrícola.

Tabela 3. Índice de aromaticidade dos ácidos húmicos (I_{1620}/I_{2920}) da camada superficial (0,000 a 0,025 m) de um Planossolo Háplico submetido a diferentes sistemas de manejo, Capão do Leão – RS, 2010.

Sistema de manejo	I_{1620}/I_{2920}
-----Solo inteiro-----	
CN	1,08
PC	0,98
PD	0,98
-----Macroagregados-----	
CN	1,04
PC	1,02
PD	1,04

CN = Campo nativo; **PC** = Preparo convencional; **PD** = Plantio direto.

Espectroscopia de EPR dos AH

Um dos dados mais importantes obtidos a partir dos espectros de EPR é a concentração de radicais livres do tipo semiquinona (RLS). As concentrações de RLS, medida na forma de concentração de spins por grama de amostra ou por gramas de C, os quais são estabilizados por estruturas aromáticas condensadas, tem sido relacionada com o grau de humificação da MOS (RIFFALDI e SCHNITZER, 1972).

O sinal de radical livre orgânico (RLO) das SH, dado por EPR é atribuído a RLS. Quanto maior a concentração de RLS, maior a humificação da MOS. Normalmente o caráter mais humificado está relacionado com a formação de compostos mais condensados que favorecem a estabilização destes radicais (MARTIN-NETO et al., 1998).

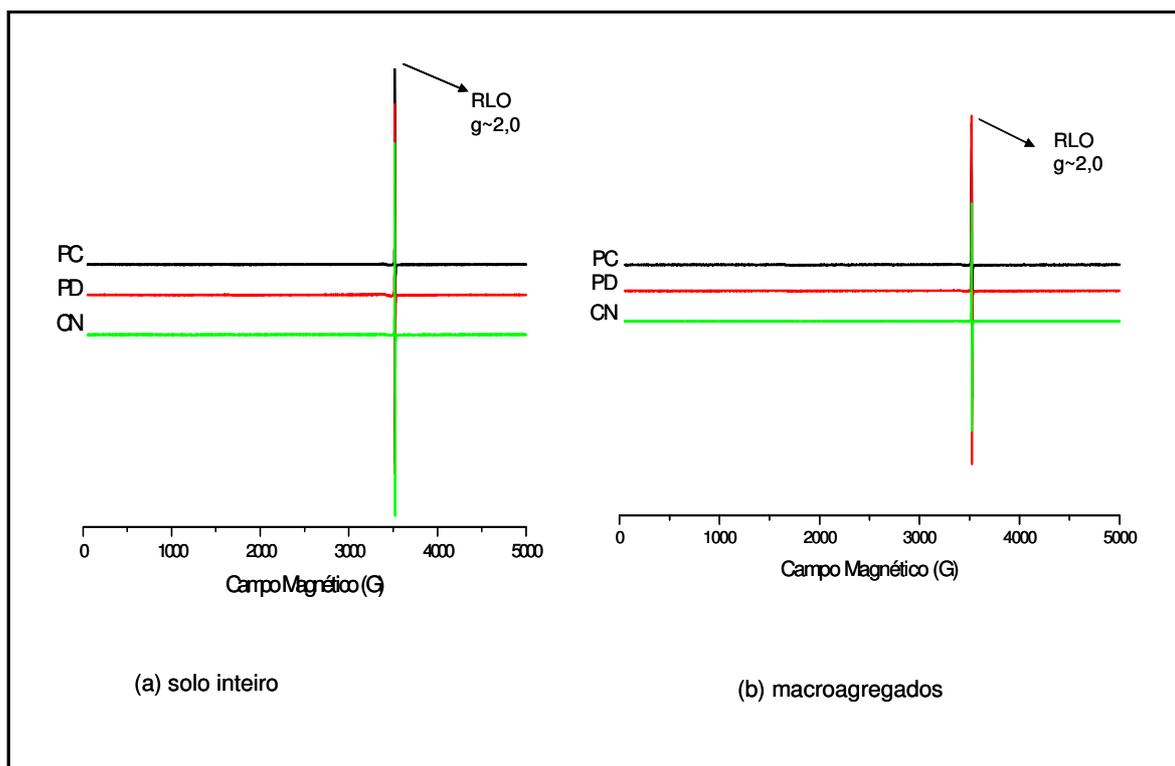


Figura 2. Espectros de EPR em temperatura ambiente em 5000 G de ácidos húmicos de um Planossolo Háplico submetido a diferentes sistemas de manejo, na camada de 0,000 a 0,025 m. Capão do Leão –RS, 2010.
CN= campo nativo; **PD**= plantio direto; **PC**= preparo convencional.
RLO= radical livre orgânico; **g**= fator giromagnético.

As Figuras 2a e 2b apresentam os espectros de EPR em 5000 G das amostras de AH do solo inteiro e dos macroagregados. Observa-se em ambos espectros linhas estreitas na região de $g \sim 2,0$, referente à presença de radical livre orgânico (RLO). Quanto a intensidade do sinal de RLO, os espectros mostraram-se semelhantes, tanto comparando os diferentes sistemas de manejo, quanto comparando o solo inteiro com os macroagregados. A partir dos espectros em 50 G foram calculados os valores de spin g^{-1} e o fator g para os RLS dos AH para os diferentes sistemas de manejo no solo inteiro e macroagregados (Tabela 4).

As concentrações de RLS encontradas para AH de solo são relativamente altas, e geralmente variam de 10^{17} a 10^{18} spin g^{-1} (SENESI e SCHNITZER, 1997). Para as amostras de AH estudadas foram encontrados valores mais baixos, com exceção do CN no solo inteiro (Tabela 4). Os valores de número de spins g^{-1} variaram entre $8,29 \times 10^{15}$ a $1,83 \times 10^{17}$.

Tabela 4. Número de spins g^{-1} e valor de g para radicais livres do tipo semiquinona de ácidos húmicos de um Planossolo Háplico submetido a diferentes sistemas de manejo, na camada de 0,000 a 0,025 m. Capão do Leão – RS, 2010.

Sistemas de manejo	spin g^{-1}	g
	-----solo inteiro-----	
CN	$1,83 \times 10^{17}$	2,0035
PC	$5,56 \times 10^{16}$	2,0034
PD	$5,49 \times 10^{16}$	2,0031
	-----macroagregados-----	
CN	$3,01 \times 10^{15}$	2,0034
PC	$7,73 \times 10^{16}$	2,0034
PD	$8,29 \times 10^{15}$	2,0034

CN = campo nativo; **PC** = preparo convencional; **PD**=plantio direto.

As amostras de CN, no solo inteiro, apresentaram maiores valores de spin g^{-1} , indicando que neste ambiente, os anéis do tipo quinona estão sendo reduzidos a polifenóis, passando por RLS. Este tipo de mecanismo favorece uma maior humificação da MOS (OLENDZKI, 2006). Os menores valores de RLS observados para os macroagregados comparativamente ao solo inteiro em todos os sistemas de manejo possivelmente sejam resultado da maior incorporação de frações mais lábeis de carbono nos agregados de maior tamanho, notadamente em processo mais incipiente de decomposição e humificação.

O menor número de spins g^{-1} no sistema PD comparativamente ao sistema PC, nos macroagregados, também pode ser resultado da maior dinâmica de incorporação e preservação de carbono jovem nos agregados de maior tamanho no PD (Tabela 4). Este mesmo comportamento foi observado por Olendzki (2006) em amostras de AH de Planossolo Háplico sob PC ($4,35 \times 10^{16}$ spins g^{-1}) e PD ($3,50 \times 10^{16}$ spins g^{-1}) em período drenado.

Avaliando a concentração de RLS em AH de um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo e culturas, Bayer et al. (2002) encontrou menor grau de humificação dos AH extraídos de solo cultivado durante nove anos com aveia + ervilhaca/milho + caupi – AV/MC sob PD ($2,89 \times 10^{17}$ spins g^{-1}) em comparação ao solo cultivado com aveia/milho sob PC ($11,75 \times 10^{17}$ spins g^{-1}). Embora a adição de maiores quantidades de resíduos culturais ao solo, no sistema AV/MC contribua para o maior aporte de carbono jovem, o sistema de preparo de solo teve efeito preponderante na redução do grau de humificação dos AH naquele estudo.

Em estudo semelhante, porém na camada superficial de um Cambissolo Húmico, Bayer et al. (2003) observaram menor concentração de RLS em amostras de frações granulométricas sob PD ($15,83 \times 10^{17}$ spins g^{-1}), quando comparado ao solo manejado sob PC ($18,33 \times 10^{17}$ spins g^{-1}), indicando menor grau de humificação da MOS no sistema PD.

Martin-Neto et al. (2001) observaram em amostras de AH, que a maior concentração de RLS está associada a sinais com maior fator g, devido ao maior grau de humificação. Porém, neste estudo, o fator g praticamente não diferiu entre os sistemas de manejo, tanto no solo inteiro quanto nos macroagregados (Tabela 3).

Espectroscopia de fluorescência de luz UV-Vísível dos AH

Os espectros de emissão de fluorescência das amostras de AH com excitação em 240 nm e 465 nm estão apresentados nas Figuras 3 e 4, respectivamente.

Os espectros de emissão com excitação em 240 nm das amostras de AH mostrados na Figura 3 apresentam uma banda larga, cujo máximo de intensidade ocorre próximo a 510 nm.

A fluorescência de AH em comprimento de onda longa é associada a sistemas insaturados conjugados (hidrocarbonetos aromáticos condensados), e/ou núcleos aromáticos altamente substituídos por grupos carbonila (C=O) e carboxílicos (COOH⁻) (SENESI e LOFFREDO, 1999).

Amostras com menor intensidade de fluorescência representam menor grau de humificação e menor conteúdo de grupos aromáticos altamente substituídos por grupos COOH e C=O, e/ou sistemas insaturados conjugados (NARIMOTO, 2006).

A metodologia proposta por Zsolnay et al. (1999) sugere que se as moléculas fluorescentes tornam-se mais condensadas, seus espectros de emissão com excitação em 240 nm e intervalo de varredura entre 300 e 700 nm, tenderão a exibir um deslocamento sobre maior comprimento de onda. O espectro de emissão total foi dividido em quatro partes e o grau de humificação foi calculado através da razão entre as áreas do último quarto (570-641 nm) e primeiro quarto (356-432 nm). Essa razão A_4/A_1 pode ser usada como índice de humificação. A idéia básica desta proposta é que a humificação da MOS leva à condensação de anéis aromáticos e este processo faz com que a fluorescência deste grupo se desloque para o vermelho. Sendo assim, a área do último quarto corresponde à fluorescência de estruturas mais humificadas e a área do primeiro quarto seria oriunda de estruturas mais simples.

A partir dos resultados obtidos para o índice de humificação A_4/A_1 (Tabela 5), proposto por Zsolnay et al. (1999) e pelos espectros da Figura 3, observaram-se diferenças entre os sistemas de manejo. O AH do solo sob PC apresentou um espectro de emissão mais largo, tanto para o solo inteiro (Figura 3a) quanto para os macroagregados (Figura 3b), sugerindo maior humificação da MOS no sistema PC. Estes resultados estão de acordo com os encontrados por Milori et al. (2002). Nota-se que valores de A_4/A_1 mais baixos (Tabela 5) ocorreram no CN e os valores mais altos para o PC, evidenciando que o revolvimento intensivo do solo promoveu o aumento da decomposição da MOS.

O método proposto por Milori et al. (2002), consiste em medir o espectro de emissão com excitação em 465 nm (luz azul) e intervalo de varredura entre 480 e 700 nm. Esta absorção é mais ressonante com estruturas cuja concentração aumenta com o avanço do processo de humificação da MOS. Portanto, nesta proposta a área total sob o espectro de emissão de fluorescência com excitação em 465 nm (em condições experimentais idênticas: pH 8,0 e concentração de 20

mg L⁻¹), é proporcional ao grau de humificação e foi denominada de índice de humificação A_{465} .

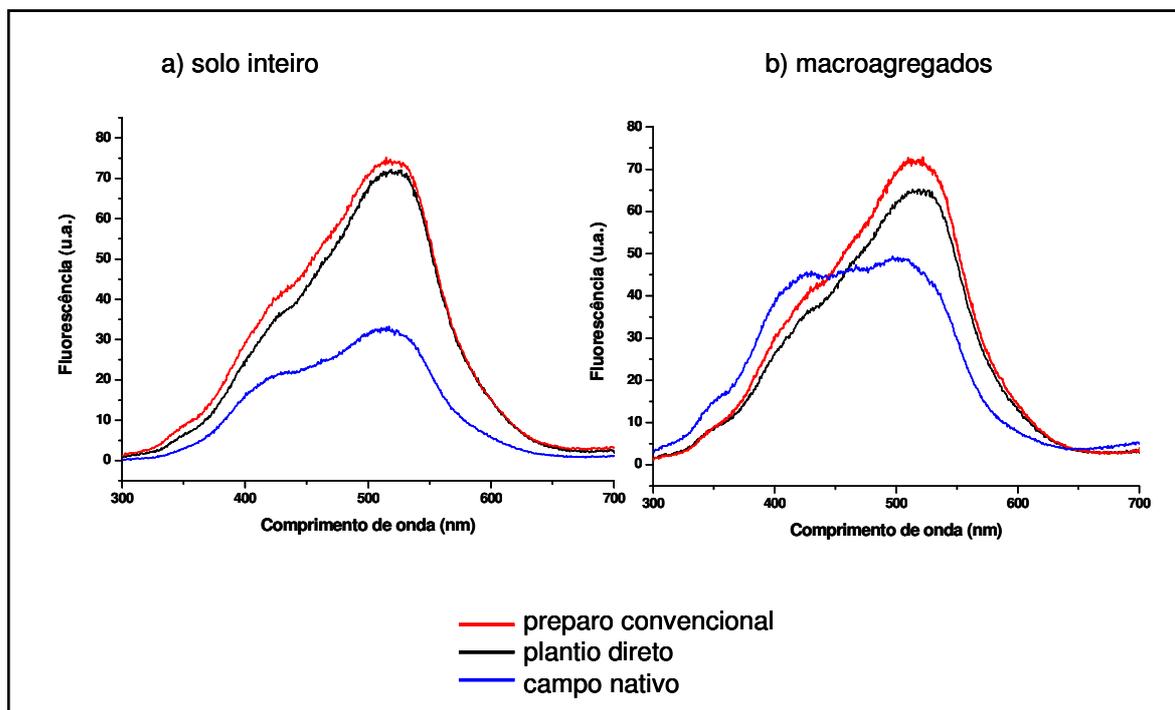


Figura 3. Espectros de emissão de fluorescência para os ácidos húmicos, com comprimento de onda de excitação em 240 nm, extraídos da camada de 0,000 a 0,025 m, de um Planossolo Háplico sob sistemas de manejo, Capão do Leão – RS, 2010.

Tabela 5. Razão entre as áreas (A_4/A_1) do espectro de emissão de fluorescência com excitação em 240 nm (Zsolnay et al., 1999) e área sob o espectro de fluorescência com excitação em 465 nm (A_{465}) (Milorí et al., 2002), dos ácidos húmicos, extraídos da camada de 0,000 a 0,025 m, de um Planossolo Háplico sob sistemas de manejo, Capão do Leão – RS, 2010.

Sistemas de manejo	A_4/A_1	A_{465}
-----solo inteiro-----		
CN	0,53	19450,21
PC	0,78	24131,48
PD	0,68	22159,37
-----macroagregados-----		
CN	0,33	11665,89
PC	0,67	19076,03
PD	0,65	18658,31

CN= campo nativo; **PC**= preparo convencional; **PD**= plantio direto

Os espectros de emissão com excitação em 465 nm mostrados na Figura 4 apresentam uma única banda larga centrada em 520 nm.

Foi observado na Figura 4 e a partir dos resultados obtidos para o índice de humificação A_{465} (Tabela 5) um aumento no grau de humificação na ordem PC>PD>CN entre os sistemas de manejo.

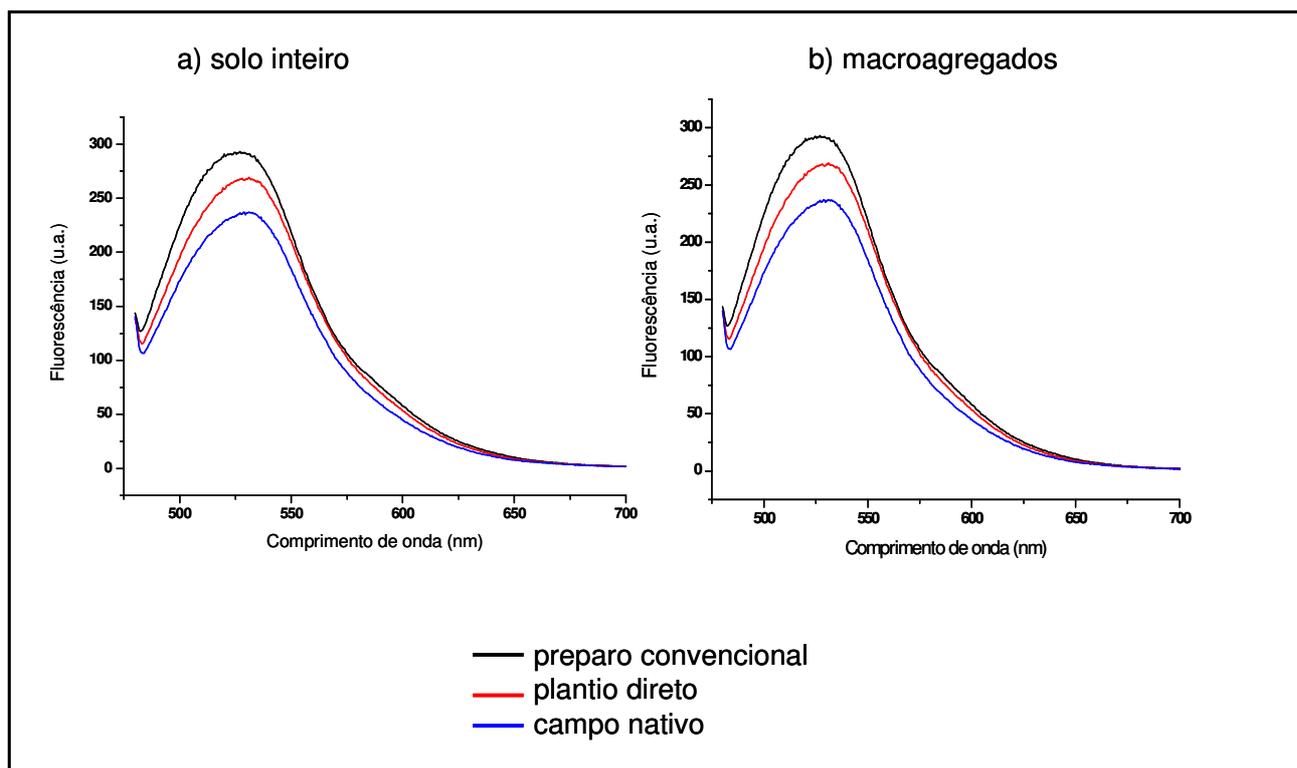


Figura 4. Espectros de emissão de fluorescência para os ácidos húmicos, com comprimento de onda de excitação em 465 nm, extraídos da camada de 0,000 a 0,025 m, de um Planossolo Háplico sob sistemas de manejo, Capão do Leão – RS, 2010.

CONCLUSÕES

A análise da composição elementar revelou que os ácidos húmicos extraídos do Planossolo Háplico constituem-se uma fração da matéria orgânica rica em N com alta resistência a decomposição, pela existência de estruturas aromáticas fortemente condensadas. Nos macroagregados sob PC encontrou-se ácidos húmicos de natureza mais humificada.

Os espectros de FTIR não revelaram alterações pronunciadas nas características moleculares dos ácidos húmicos entre os diferentes sistemas de uso e manejo.

Os dados de EPR e de fluorescência indicam maior grau de decomposição dos compostos orgânicos no solo sob preparo convencional, refletindo-se em maior humificação dos ácidos húmicos em relação ao sistema plantio direto, quando comparados os dois sistemas de manejo.

- 5. ESTUDO 3-** Carbono orgânico total, nitrogênio total e frações húmicas da matéria orgânica de um Argissolo Vermelho sob sistemas de uso e manejo do solo.

INTRODUÇÃO

A região sudoeste do Estado do Rio Grande do Sul, inserida no Bioma Pampa, área considerada de alta vulnerabilidade sócio-econômica (BRASIL, 2003), possui formações arenosas que vem alterando os padrões de vegetação devido à diminuição da cobertura vegetal. A elevada erodibilidade do solo resulta em degradação do ecossistema regional. A fragilidade natural desses solos aliada a sua baixa aptidão agrícola, em especial para culturas anuais e o uso da terra para a pecuária extensiva, geralmente com lotação animal superior à capacidade suporte do solo, têm acelerado o processo de erosão, ampliando gradativamente as áreas com vegetação rarefeita e os campos arenizados (RIBASKI et al., 2005). Essa degradação da qualidade ambiental tem como base a redução do conteúdo de matéria orgânica do solo (MOS), dentre outros.

A MOS tem importante papel na qualidade física, química e biológica do solo (MIELNICZUK, 2008), atuando como dreno de CO₂ atmosférico (EPRON et al., 2006) em sistemas conservacionistas de manejo. A redução da MOS está relacionada à diminuição na produtividade biológica do solo dos agroecossistemas (BAUER e BLACK, 1994), constituindo-se um indicador efetivo para monitoramento da qualidade do solo. Sua formação e/ou constituição é influenciada, dentre outros fatores, pelo uso e manejo do solo no ecossistema (LAL, 2005). Assim, práticas de manejo que proporcionem menor revolvimento do solo (BAYER et al., 2006), maior relação raiz-parte aérea (RASSE et al., 2005) e maior aporte de resíduos ao solo (DIECKOW et al., 2005), podem contribuir para a maior estabilização do carbono (C) no solo (SILVA et al., 2004).

A substituição de ecossistemas naturais por sistemas agrícolas de cultivo pode reduzir o conteúdo de C orgânico do solo, primariamente em resposta à aceleração na taxa de decomposição, causada pela maior aeração e exposição da MOS aos microrganismos decompositores. À longo prazo, com a implantação de sistemas conservacionistas de manejo, a dinâmica do C pode ser governada pela produtividade das culturas que, por sua vez, resulta em maior aporte de resíduos culturais ao solo (ZINN et al., 2002).

Sistemas conservacionistas de manejo que privilegiam o aporte de resíduos culturais ao solo e seu menor revolvimento podem contribuir para a manutenção e/ou recuperação do conteúdo de C orgânico e nitrogênio (N) do solo. Sistemas de produção florestal, como o plantio de eucalipto, apresentam potencial para o sequestro de C da atmosfera na MOS (LIMA et al., 2008), pelo rápido crescimento em curto espaço de tempo e elevada quantidade de biomassa produzida por unidade de área. De acordo com Skorupa (2001), a quantidade média de serrapilheira em plantações de eucalipto em idade comercial no Brasil está em torno de 11 Mg ha⁻¹ por ocasião do corte e resíduos de colheita podem aportar 30 Mg ha⁻¹ adicionais na forma de raízes, folhas, galhos e cascas. Entretanto, a maior concentração de lignina e as altas relações C/N no tecido vegetal das plantas de eucalipto influenciam a atividade microbiana do solo (MENDHAM et al., 2004), e podem dificultar a conversão de resíduos culturais em MOS, possivelmente pela baixa disponibilidade de N (FORRESTER et al., 2006).

O desenvolvimento de sistemas silvipastoris tem sido preconizado como uma importante alternativa de uso sustentável da terra, principalmente em áreas sujeitas à degradação (RIBASKI et al., 2005). Em síntese, a deposição de folhas pela parte aérea pode influenciar na quantidade e disponibilidade de nutrientes pela maior quantidade de MOS depositada no solo (BURESH e TIAN, 1997).

As substâncias húmicas (SH) representam quase a totalidade da MOS e, devido à sua grande reatividade, apresentam envolvimento direto na maioria dos processos físicos, químicos e biológicos do solo (CANELLAS et al., 2008), incluindo potencial atuação como reservatório de C-CO₂, dependendo do uso e manejo adotado no solo (PICCOLO, 2001).

Nesse contexto, o presente trabalho objetiva quantificar os impactos provocados pelos sistemas de uso e manejo do solo em área arenizada do Bioma Pampa, sobre o conteúdo e frações químicas da MOS.

MATERIAL E MÉTODOS

A área experimental foi instalada na Estância Sá Brito, localizada no município de Alegrete – RS, no ano de 2002 em um Argissolo Vermelho Eutrófico arênico (SANTOS et al., 2006) em uma área manejada sob campo nativo. O clima da região é do tipo Cfa (C- clima mesotérmico quente, com média do mês de frio entre 3-18° C; f- precipitação média mensal não inferior a 60 mm – sempre úmido; a- temperatura do mês mais quente superior a 22° C), segundo classificação de Köppen. O solo apresenta textura arenosa/média fase relevo suave ondulado (SANTOS et al., 2006).

A distribuição granulométrica, teor de carbono orgânico total (COT), saturação de bases (V) e soma de bases (S) nos horizontes encontra-se descrita na tabela 1.

Tabela 1. Teores de areia, silte, argila, carbono orgânico total (COT), saturação de bases (V) e soma de bases (S) de horizontes do perfil de um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso, manejo e camadas do solo. Alegrete – RS, 2010.

Horizonte	Profundidade m	Areia -----	Silte -----	Argila -----	COT -----	V %	S cmol _c kg ⁻¹
		g kg ⁻¹					
A ₁	0 – 0,26	900	30	70	11,0	27	0,9
A ₂	0,26 – 0,71	860	30	110	8,4	42	1,3
Bt ₁	0,71 – 1,12	800	30	170	5,0	49	2,2
Bt ₂	1,12 – 2,00	740	20	240	3,8	52	3,2

A coleta do solo ocorreu em Fevereiro de 2007 em três áreas. Em cada área e em três trincheiras selecionadas aleatoriamente por tratamento, foram amostradas três camadas de solo (0,000 a 0,025 m, 0,025 a 0,075 m e 0,075 a 0,125 m).

A área denominada FH está localizada entre as coordenadas 29°59'55" de latitude sul e 55°47'29" de longitude oeste e representa um florestamento homogêneo de *Eucalyptus grandis*. A distância entrelinhas de plantio é de 3 m e de 1,5 m entre plantas. A área apresenta uma densidade de 1.111 plantas ha⁻¹.

A área denominada SA representa um sistema silvipastoril, localizado entre as coordenadas 29°59'53" de latitude sul e 55°47'34" de longitude oeste. Neste sistema, foram utilizadas linhas de plantio triplas distanciadas de 3 m em 3 m de *Eucalyptus grandis*, sendo o espaçamento entre plantas nas linhas de 1,5 m. As linhas triplas de plantio de *E. grandis* foram distanciadas entre si em 20 m. A vegetação das entrelinhas apresentava grama forquilha (*Paspalum notatum* Flugge), aveia preta (*Avena stringosa*), milheto (*Pennisetum glaucum*) e consórcio de pensacola (*Paspalum notatum* Saurae) + braquiária brizanta (*Brachiaria brizantha*). Historicamente, os 20 m com pastagem eram utilizados para pecuária extensiva. A área apresenta uma densidade de 1.000 plantas ha⁻¹.

A área de campo nativo (CN) adjacente às demais áreas, está localizada entre as coordenadas 29°59'57" de latitude sul e 55°47'29" de longitude oeste, e representa um remanescente de vegetação nativa da região, composta principalmente por grama forquilha (*Paspalum notatum* Flugge). Assim como as demais áreas, esta também se apresentava em processo de arenização.

A distribuição granulométrica das camadas de 0,000 a 0,025 m, 0,025 a 0,075 m e de 0,075 a 0,125 m de solo está apresentada na Tabela 2.

As amostras de solo foram secas, destorroadas, moídas e peneiradas em peneira de malha de 2,00 mm de diâmetro. As substâncias húmicas (SH) foram fracionadas quimicamente, segundo Dick et al. (1998). Em 30 g de solo foram adicionados 90 mL de HCl 0,5 mol L⁻¹ e a suspensão foi agitada por duas horas. Após centrifugação (2500 rpm, 15 min), o sobrenadante foi separado e este procedimento foi repetido mais duas vezes. Este extrato ácido (substâncias orgânicas não-húmicas - NH) teve seu volume medido e armazenado.

O solo foi submetido a tratamento com 90 mL de NaOH 0,5 mol L⁻¹ sob agitação (três horas). O extrato alcalino foi separado por centrifugação (2500 rpm, 15 min). Este procedimento foi repetido até o sobrenadante tornar-se incolor. Os extratos alcalinos correspondentes às SH solúveis do tipo ácido húmico (AH) e

ácido fúlvico (AF) – (AH+AF) foram armazenados e o volume final foi medido e uma alíquota de 20 mL foi retirada para análises posteriores.

Tabela 2. Teores de areia, silte e argila (g Kg^{-1}) e classe textural de um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso, manejo e camadas de solo. Alegrete – RS, 2010.

Sistema de manejo	Areia	Silte	Argila	Classe textural
-----0,000 a 0,025m-----				
CN	886,33	57,90	55,77	Areia
FH	883,67	41,90	76,43	Areia
SA	892,67	43,43	63,90	Areia
-----0,025 a 0,075m-----				
CN	897,67	30,17	72,17	Areia
FH	898,67	25,83	77,50	Areia
SA	908,33	27,23	64,43	Areia
-----0,075 a 0,125m-----				
CN	899,67	27,50	72,83	Areia
FH	904,33	27,37	68,30	Areia
SA	910,76	24,90	64,43	Areia

CN= campo nativo; **FH**= floresta homogênea de eucalipto; **SA**= sistema silvipastoril composto por *Eucalyptus grandis* e pastagem.

A fração humina (HU) correspondeu ao resíduo que restou após a retirada do extrato alcalino (AH+AF). O extrato AH+AF foi acidificado a pH 2,0 com HCl 0,1 mol L⁻¹. Após 24 horas de repouso, a fração AF (sobrenadante) foi separada por centrifugação do material precipitado correspondente a fração AH.

O carbono orgânico total (COT) e o nitrogênio total (NT) foram quantificados por oxidação a seco, em analisador elementar TruSpec da Leco. Os estoques de COT e NT foram estabelecidos pelo produto do C e N correspondente à quantidade de agregados retidos pela massa de solo considerando a densidade e a espessura da camada.

Os teores de C no extrato ácido (C_{NH}), nas SH ($C_{AH}+C_{AF}$) e no AF (C_{AF}) foram quantificados, determinando-se a absorvância a 580 nm após oxidação da matéria orgânica com dicromato de potássio em meio ácido a 60°C, durante quatro horas (DICK et al., 1998). O teor de C na forma de AH (C_{AH}) e na forma de HU

(C_{HU}) foram determinados pelas diferenças $C_{AH} = (C_{AH} + C_{AF}) - C_{AF}$ e $C_{HU} = COT - C_{NH} - (C_{AH} + C_{AF})$, respectivamente.

Os resultados dos parâmetros avaliados foram submetidos à análise de variância e aplicado o teste de Duncan ao nível de 5 %.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Carbono orgânico total e nitrogênio total

Os teores de COT variaram de 6,08 g kg⁻¹ a 9,40 g kg⁻¹ na camada de 0,000 a 0,025 m, de 3,97 g kg⁻¹ a 4,22 g kg⁻¹ na camada de 0,025 a 0,075 m e de 3,48 a 4,22 g kg⁻¹ na camada de 0,075 a 0,125 m (Tabela 3). Teores mais elevados em superfície com decréscimo em profundidade são coerentes com a literatura (PILLON, 2000; ROSA, 2006; PULRONIK et al., 2009), e indicam adição preferencial de resíduos na superfície.

Na camada de 0,000 a 0,025 m e na camada de 0,075 a 0,125 m os maiores teores de COT foram encontrados no sistema FH. No FH, o maior teor de COT pode ser explicado pela grande quantidade de biomassa e de resíduos culturais produzida pelo sistema de produção de florestas homogêneas de eucalipto (SOARES, 2009). Lima et al. (2006) observaram maiores teores de COT na camada de 0,100 a 0,200 m no solo sob eucalipto em comparação à pastagem e atribuíram o fato à contribuição do sistema radicular pivotante e mais profundo desta cultura.

Os menores teores de COT foram observados no sistema SA, na camada de 0,000 a 0,025 m (Tabela 3). De acordo com Mendham et al. (2004), resíduos culturais de pastagens são mais suscetíveis ao processo de decomposição se comparados aos resíduos de eucalipto, que apresentam maiores quantidades de compostos orgânicos recalcitrantes, tais como tanino e lignina. Neves et al. (2004) encontraram redução nos teores de C em sistema silvipastoril e atribuíram o fato ao pastejo, que com a introdução do gado, contribuiu para a redução da biomassa vegetal remanescente sobre o solo, com reflexos negativos sobre a adição de carbono jovem ao sistema.

Mendham et al. (2004) não observaram diferença nos teores de COT ao comparar plantios de eucalipto, com idade de 11 a 14 anos, com pastagem na Austrália. Leite (2001) encontrou menores teores de COT no solo sob eucalipto (após três ciclos de cultivo) em relação ao solo sob CN na região do Vale do Rio Doce em Minas Gerais. Os motivos que levaram aos resultados distintos não são evidentes, mas sugerem diferenças de idade da floresta por ocasião da coleta das amostras, tipo de manejo do solo, clima, dentre outros fatores.

Tabela 3. Teores e estoques de carbono orgânico total (COT) e de nitrogênio total (NT) e relação C/N de um Argissolo Vermelho submetido a sistemas de manejo e camadas. Alegrete-RS, 2010. Média de três repetições.

Sistema de manejo	-----COT-----		-----NT-----		----C/N----
	Teor	Estoque	Teor	Estoque	
	g kg ⁻¹	Mg ha ⁻¹	g kg ⁻¹	Mg ha ⁻¹	
-----0,000 a 0,025 m-----					
CN	6,76 b	2,53 b	0,79 b	0,29 b	8,63
FH	9,40 ^a	3,57 a	1,04 a	0,40 a	9,02
SA	6,08 c	2,37 b	0,63 c	0,25 c	9,61
-----0,025 a 0,075 m-----					
CN	4,35 a	3,57 a	0,56a	0,46 a	7,76
FH	4,22 a	3,40 a	0,59 a	0,47 a	7,20
SA	3,97 a	3,31 a	0,42 b	0,35 b	9,57
-----0,075 a 0,125 m-----					
CN	3,48 b	2,84 a	0,36 b	0,29 b	9,73
FH	3,99 a	3,19 a	0,43 a	0,35 a	9,24
SA	3,52 b	2,88 a	0,27 c	0,22 c	13,31
-----0,000 a 0,125 m*-----					
CN	14,59 a	8,94 a	1,71 ab	1,04 b	
FH	17,61 a	10,16 a	2,06 a	1,22 a	
SA	13,57 a	8,56 a	1,32 b	0,82 c	

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan, ao nível de 5%. **CN** = Campo nativo; **FH** = Floresta homogênea de eucalipto; **SA**= Sistema silvipastoril composto por *Eucalyptus grandis* e pastagem.

* Valores obtidos pela soma das três camadas.

Coutinho et al. (2010), avaliando estoque de COT e de NT em diferentes sistemas de uso na Mata Atlântica, incluindo i) cultivo de eucalipto (3 anos); ii) mata nativa em regeneração (34 anos, anteriormente cultivada com *Paspalum notatum*) e, iii) pastagem (87 anos com *Paspalum notatum*) não observaram diferença significativa entre as áreas, indicando que a regeneração natural da mata

ou que o plantio de eucalipto em curto prazo não alteraram o estoque de COT e NT em relação à pastagem originalmente presente nesta área. Mendham et al. (2002) também não observaram mudanças no estoque de COT, em plantios de eucalipto com menos de 10 anos em substituição à pastagem. No entanto, no presente trabalho, pode-se observar que um período de cinco anos sob eucalipto foi suficiente para haver diferença significativa nos teores e estoques de COT e NT, principalmente na camada superficial, onde o sistema FH apresentou valores superiores ao CN e SA (Tabela 3).

Os teores de NT variaram de $0,63 \text{ g kg}^{-1}$ a $1,04 \text{ g kg}^{-1}$ na camada de 0,000 a 0,025 m, de $0,42 \text{ g kg}^{-1}$ a $0,59 \text{ g kg}^{-1}$ na camada de 0,025 a 0,075 m e de $0,27 \text{ g kg}^{-1}$ a $0,43 \text{ g kg}^{-1}$ na camada de 0,075 a 0,125 m, seguindo a mesma tendência observada para os teores de COT, apresentando maior teor em superfície, com decréscimo em profundidade. Os maiores teores e estoques de NT foram observados para o sistema FH, sendo que as diferenças foram significativas em todas as camadas, à exceção da camada intermediária (Tabela 3).

A relação C/N do solo variou de 7,20 para o sistema FH – camada 0,025 m a 0,075 m a 13,31 para o sistema SA na camada 0,075 a 0,125 m (Tabela 3). Tais valores em média são próximos ou um pouco menores que os observados em grande parte dos solos do mundo, que variam entre 9 e 13 (BRADY, 1989)

Houve efeito dos sistemas de manejo nos teores de carbono (C) na forma NH, AF (ambas nas camadas de 0,000 a 0,025 m e 0,025 a 0,075 m), AH (nas três camadas estudadas) e HU (camada de 0,000 a 0,025 e 0,075 a 0,125 m) (Tabela 4).

Os maiores teores de C nos diferentes sistemas estudados foram encontrados na fração HU, sendo que o sistema FH apresentou o maior valor ($5,94 \text{ g kg}^{-1}$) na camada de 0,000 a 0,025m, diferindo significativamente dos sistemas CN e SA. Pulronik et al.(2009), trabalhando em um Latossolo Vermelho-Amarelo sob eucalipto, pastagem e campo nativo, observaram resultados similares para o C da fração HU, atribuindo o fato à interação da matéria orgânica com a fração mineral, formando complexos organo-minerais estáveis e/ou argilo-húmicos, conferindo a esta fração resistência à degradação microbiana (BARRETO et al., 2008).

Nas frações AF e AH, na camada de 0,000 a 0,025 m, verificou-se uma redução de 39% no C da fração AF no sistema SA, e de 31% na fração AH, quando comparando ao sistema FH (Tabela 4). Os maiores teores de C nas frações AF e AH do solo sob floresta homogênea de eucalipto deve-se, provavelmente, à maior produção de resíduos culturais dessa cultura, os quais são depositados na superfície.

Tabela 4. Teores de carbono nas formas não humificada (NH), ácido fúlvico (AF), ácido húmico (AH) e humina (HU) da matéria orgânica de um Argissolo Vermelho submetido a sistemas de manejo e camadas. Alegrete-RS, 2010. Média de três repetições.

Sistema de manejo	NH	AF	AH	HU
-----g kg ⁻¹ -----				
-----0,000 a 0,025 m-----				
CN	0,08 c	0,81 b	1,39 b	4,47 b
FH	0,22 a	1,27 a	1,97 a	5,94 a
SA	0,11 b	0,77 b	1,36 b	3,85 c
-----0,025 a 0,075 m-----				
CN	0,06 b	0,50 ab	0,75 a	3,05 a
FH	0,10 a	0,61 a	0,69 a	2,82 a
SA	0,10 a	0,42 b	0,45 b	3,00 a
-----0,075 a 0,125 m-----				
CN	0,05 a	0,32 a	0,53 a	2,58 b
FH	0,06 a	0,43 a	0,48 a	3,02 a
SA	0,10 a	0,33 a	0,28 b	2,81 ab

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan, ao nível de 5%. **CN** = Campo nativo; **FH** = Floresta homogênea de eucalipto; **SA**= Sistema silvipastoril composto por *Eucalyptus grandis* e pastagem.

Independente do sistema de manejo, maiores proporções do COT foram observadas nas frações húmicas da MOS, comparativamente a fração NH (Figura 1). A fração NH representa uma fase transitória entre os resíduos culturais e a matéria orgânica com maior grau de humificação, servindo de fonte de carbono e energia para os microrganismos do solo e de nutrientes essenciais para o metabolismo das plantas (ROSA, 2006).

Na camada superficial (0,000 a 0,025 m) a maior porcentagem de C na fração HU foi observada no solo sob CN, enquanto que nas demais camadas de solo, esta fração foi relativamente superior no sistema SA. As porcentagens de C nas frações AH e AF praticamente não apresentaram variação na camada

superficial entre os sistemas de manejo, porém apresentaram tendência de redução gradativa em profundidade, possivelmente pela redução do aporte de resíduos culturais em subsuperfície (Figura 1). Igualmente ao observado para outros solos com maior teor de argila, independentemente da camada e sistema de manejo, a porcentagem de C na fração HU apresentou valores mais altos que as demais frações (AH, AF e NH), sugerindo que, com uma matriz mineral rica em argilominerais e, conseqüentemente, em sítios para interação organo-mineral, as frações mais humificadas da MOS tornam-se menos acessíveis aos microrganismos e a suas enzimas, permanecendo por um longo tempo no sistema. Cornejo e Hermosin (1996) salientam a importância dos mecanismos de interação entre os grupos funcionais das superfícies minerais e da MOS para a proteção e estabilização dos compostos orgânicos no solo.

Lima et al. (2008), observaram que em solo cultivado com pastagem, cerca de 60% do C foi proveniente da HU, enquanto que para o solo cultivado com eucalipto cerca de 50% do C foi proveniente dessa mesma fração.

Em profundidade, o sistema SA apresentou menores proporções de C na fração AH. O AH representa a fração intermediária no processo de estabilização dos compostos húmicos. Esses ácidos são, portanto, um marcador natural do processo de humificação e refletem, como tal, o uso e o manejo do solo (RANGEL e SILVA, 2007). A menor proporção de AH em profundidade sugere redução importante do aporte de carbono jovem ao sistema, com reflexos negativos sobre a qualidade do húmus e atividade microbiana (CANELLAS et al., 2007).

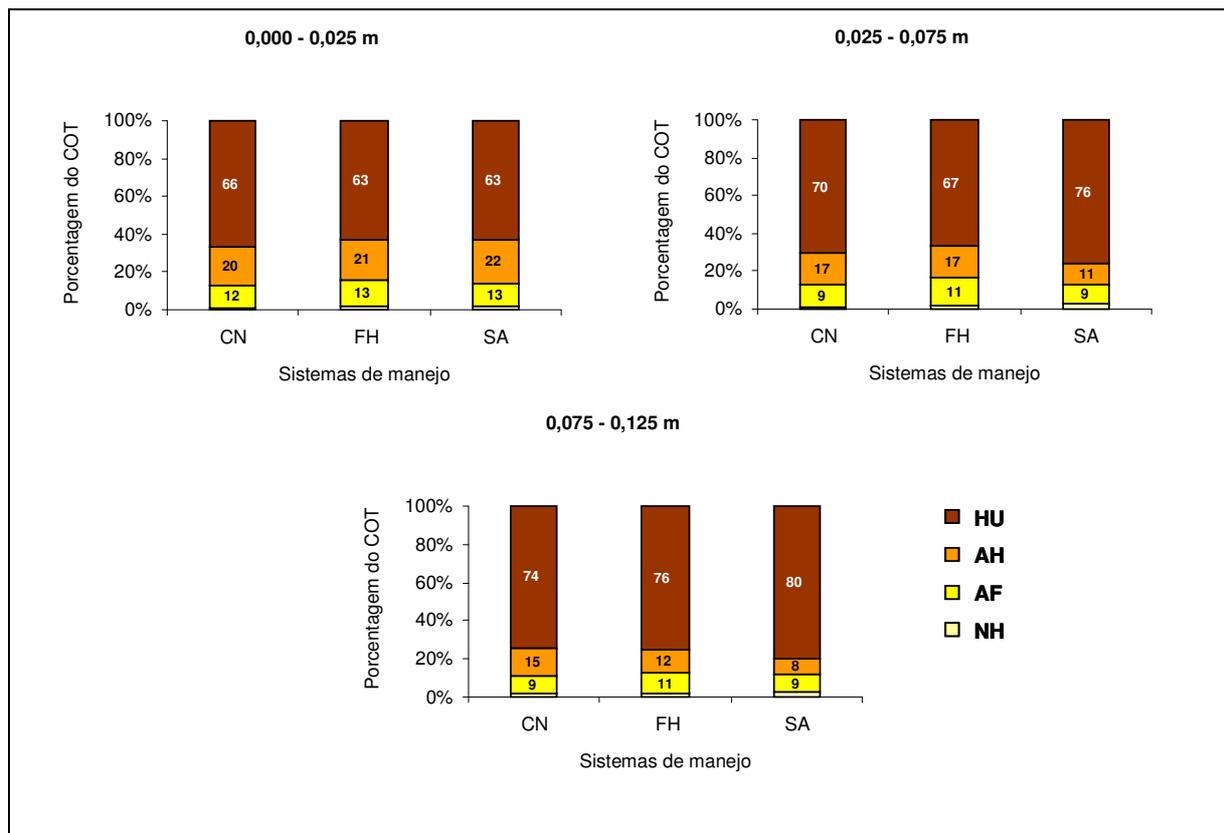


Figura 1. Proporção dos estoques de carbono orgânico nas frações da matéria orgânica de um Argissolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de manejo e camadas. Alegrete-RS, 2010.

CN = Campo nativo; **FH** = Floresta homogênea de eucalipto; **SA**= Sistema silvipastoril composto por *Eucalyptus grandis* e pastagem.

Nas camadas de 0,025 a 0,075 m e 0,075 a 0,125 m, observou-se os menores estoques de C na forma de AH no sistema SA, o que pode ser atribuído a menor estabilidade desse sistema devido a introdução de espécies forrageiras ao campo natural, promovendo alteração do estado de “equilíbrio dinâmico” entre as adições e perdas de C. Possivelmente a taxa de adição de resíduos culturais em profundidade neste sistema seja menor comparativamente aos demais.

O maior estoque de C na fração AF, no sistema FH, para as camadas de 0,000 a 0,025 m e 0,025 a 0,075 m, se deve ao maior aporte de resíduos orgânicos ao solo, sugerindo potencial para a ciclagem de C no solo.

Tabela 5. Estoque de carbono nas formas não humificada (NH), ácido fúlvico (AF), ácido húmico (AH) e humina (HU) da matéria orgânica de um Argissolo Vermelho sob sistemas de manejo e camadas. Alegrete-RS, 2010. Média de três repetições.

Sistema de manejo	NH	AF	AH	HU
-----Mg ha ⁻¹ -----				
-----0,000 a 0,025 m-----				
CN	0,03 c	0,30 b	0,52 b	1,68 b
FH	0,08 a	0,48 a	0,75 a	2,26 a
SA	0,04 b	0,30 b	0,53 b	1,50 b
-----0,025 a 0,075 m-----				
CN	0,05 b	0,41 ab	0,61 a	2,50 a
FH	0,08 a	0,49 a	0,56 a	2,27 a
SA	0,08 a	0,36 b	0,37 b	2,50 a
-----0,075 a 0,125 m-----				
CN	0,05 b	0,26 a	0,43 a	2,10 a
FH	0,05 b	0,34 a	0,38 a	2,42 a
SA	0,08 a	0,27 a	0,23 b	2,30 a
-----0,000 a 0,125 m-----				
CN	0,13 b	0,97 b	1,56 ^a	6,28 a
FH	0,21 a	1,31 a	1,69 a	6,95 a
SA	0,20 a	0,93 b	1,13 a	6,30 a

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan, ao nível de 5%.

CN = Campo nativo; **FH** = Floresta homogênea de eucalipto; **SA**= Sistema silvipastoril composto por *Eucalyptus grandis* e pastagem.

* Valores obtidos pela soma das três camadas.

CONCLUSÕES

O cultivo do eucalipto na forma de floresta homogênea apresentou potencial para promover a recuperação da matéria orgânica do solo em áreas sob processo de arenização neste Argissolo Vermelho.

A maior parte da matéria orgânica do solo encontra-se armazenada na forma de substâncias húmicas, em especial na forma de humina, sugerindo que a proteção química pelo mecanismo de interação com a matriz mineral é importante para a manutenção e estabilização da matéria orgânica do solo neste agroecossistema.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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**, v.35, p.1599-1607, 2006.

ARAKI, K.; TOMA, H. E. Química de sistemas supramoleculares constituídos por porfirinas e complexos metálicos. **Química Nova**, v. 25, n. 6, p. 962-975, 2002.

ASSIS, C. P.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J. C. L. Carbono e nitrogênio em agregados de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p.1541-1550, 2006.

AUDREUX, F. Humus in world soils. In: PICCOLO, A., ed. **Humic substances in terrestrial ecosystems**. Amsterdam, Elsevier, 1996. p. 45-100.

BARRETO, A. C.; FREIRE, M. B. G. S.; NACIF, P. G. S.; ARAÚJO, Q. R.; FREIRE, F. 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**, v. 32, p. 1471-1478, 2008.

BARRETO, A. C.; LIMA, F. H. S.; ARAÚJO, Q. R.; FREIRE, F. J.. Fracionamento químico e físico do carbono orgânico total em um solo de mata submetido a diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 5, p. 1471-1478, 1997.

BATJES, N.H. **Management options for reducing CO₂ concentrations in the atmosphere by increasing carbon sequestration in the soil**. The Netherlands, ISRICWageningen, 1999. 114p.

BAUER, A.; BLACK, A. L. Quantification of the effect of soil organic matter content on soil productivity. **Soil Science Society American Journal**, v. 58, p. 185-193, 1994.

- BAYER, C. **Dinâmica da matéria orgânica em sistemas de manejo de solos**. Porto Alegre. 1996. 240f. Tese (Doutorado em Agronomia – Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n.7, p.677-683, 2004.
- 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 & Tillage Research**, Amsterdam, v.54, p. 101-109. 2000.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.21, p.105-112, 1997.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: : SANTOS, G. de A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O., eds. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre, Metrópole, 2ª Ed. 2008. p. 7 – 61.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO, L.; ERNANI, P. R. Stocks and humification degree of organic matter fractions as affected by no-tillage on a subtropical soil. **Plant and Soil**, v. 238, p. 133-140, 2002.
- BAYER, C.; SCHENEIDER, N. G. Plantio direto e aumento de matéria orgânica do solo em pequenas propriedades rurais no município de Teutônia. **Ciência Rural**. Santa Maria, v. 29, n. 1, p. 1655-1666, 1999.
- BENITES, V. M. **Caracterização de solos e de substâncias húmicas em áreas de vegetação rupestre de altitude**, 2001. 86f. Tese (Doutorado em solos e nutrição de plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais.
- BENITES, V. M.; MADARI, B.; MACHADO, P. L. O. A. **Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: Um procedimento simplificado de baixo custo**. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2003. 7p. (Comunicado Técnico, 16).

- BITTENCOURT, A. **Propriedades químicas de um Planossolo após doze anos de cultivo sob diferentes sistemas**, 1999. 40f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Ciência do Solo) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
- BOURCHEIT, A. Em busca da vocação natural. **Página 22**, v. 33, p. 42 – 46, 2009.
- BRADY, N. C. **Natureza e propriedades dos solos**. 7 ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1989. 898 p.
- BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Secretaria de Planejamento e Investimentos Estratégicos. **PPA 2004-2007**. Brasília-DF: Ministério da Agricultura e Abastecimento, 2003.
- BURESH, R. J.; TIAN, G. Soil improvement by in subsaharan Africa. **Agroforestry Systems**, v. 38, n. 1-3, p. 51-76, 1997.
- BURLE, M. L.; MIELNICZUK, J.; FOCCHI, S. Effects of cropping systems on soil chemical characteristics, with emphasis on soil acidification. **Plant and Soil**, v. 190, p. 309-316, 1997.
- CANELLAS, L. P.; BALDOTTO, M.A.; BUSATO, J.G.; MAREANO, C.R.; MENEZES, S. C.; SILVA, N. M.; RUMJANEK, V. M.; VELLOSO, A. C. V.; SIMÕES, M. L.; MARTIN-NETO, L. Estoque e qualidade da matéria orgânica de um solo cultivado com cana-de-açúcar por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 331-340, 2007.
- CANELLAS, L. P.; ESPINDOLA, J. A.; REZENDE, C. E.; CAMARGO, P. B.; ZANDONADI, J. A. A.; RUMJANEK, V. M.; GUERRA, J. G. M.; TEIXEIRA, M. G.; BRAZFILHO, R. Organic matter quality in a soil cultivated with perennial herbaceous legumes. **Scientia Agrícola**, v.61, p.53- 61, 2004.
- CANELLAS, L. P.; GURIDI, F.; VELLOSO, A. C. X.; SANTOS, G. A. Isolamento, purificação e métodos químicos de análise de substâncias húmicas. In: CANELLAS, L.P.; SANTOS, G.A, eds. **Humosfera: Tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas**. Campos dos Goytacazes, 2005. p.13-33.
- CANELLAS, L. P.; MENDONÇA, E. S.; DOBSS, L. B.; BALDOTTO, M.A.; VELLOSO, A. C. X.; SANTOS, G. A.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B. Reações da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O., eds. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Metrópole, 2ª Ed. 2008. p. 45 – 61.

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, 2001.

CARNEIRO, C. E. A.; JÚNIOR, N. J. M.; AZEVEDO, M. C. B.; ANDRADE, E. A.; KOGUSHI, M. S.; DIEHL, R. C.; RICCE, W. S.; PASSARIN, A. L.; VAZ, R. H. M.; STELMASCHUK, T. L. L.; GUIMARÃES, M. F.; RALISCH, R. Efeitos dos sistemas de manejo sobre o carbono orgânico total e carbono residual de um Latossolo Vermelho eutroférico. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 30, n.1, p. 5-10, 2009.

CASTRO, G. C. **Carbono orgânico nas frações granulométricas e húmicas em solos de diferentes texturas sob floresta da região noroeste matogrossense**. 2008. 45p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambiental) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá.

CERETA, C. A.; BAYER, C. DICK, D. P.; MARTIN-NETO, L.; COLNAGO, L. A. Métodos espectroscópicos. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O., eds. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre, Metrópole, 2ª Ed. 2008. p.201-227.

CERRI, C. C.; BERNOUX, M.; FEIGL, B. J.; PICCOLO, M. Ciclo de carbono e mudanças globais. In: **Encontro Brasileiro sobre Substâncias Húmicas**, 2, 1997, São Carlos. Anais... São Carlos: CNPDIA, 1997, p. 21-25.

CERRI, C. C.; FELLER, C.; CHAUVEL, A. Evolução das principais características de um latossolo vermelho-escuro após desmatamento e cultivo por doze e cinquenta anos com cana-de-açúcar. **Cashiers ORSTOM**. Série Pedologie, v. 26, p. 37-50, 1991.

CHEFETZ, B.; HATCHER, P.; HADAR, Y.; CHEN, Y. Chemical and biological characterization of organic matter during composting of municipal solid waste. **Journal Environmental Quality**, v. 25, p.776-785, 1996.

CHOMENKO, L. O. Bioma Pampa no atual modelo de desenvolvimento. **Zoobotânica Informa**, v.1, p. 6-8, 2006.

COLLINS, H. P.; PAUL, E. A.; PAUSTIAN, K.; ELLIOTT, E. T. Characterization of soil organic carbon relative to its stability and turnover. In: PAUL, E. A.; PAUSTIAN,

K.; ELLIOTT, E. T.; COLE, C. V., eds. **Soil organic matter in temperate agroecosystems**: long-term experiments in North America. Boca Raton, CRC Press, 1997. p. 51-72.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira: grãos Safra 2008/2009**. Nono Levantamento. Junho/2009. Disponível em http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/9graos_08.09.pdf. Acesso em: 26 jun. 2009.

CONTEH, A.; BLAIR, G.J. The distribution and relative losses of soil organic carbon fractions in aggregate size fractions from cracking clay soils (vertisols) under cotton production. **Australian Journal of Soil Research**, v.36, p.257-271, 1998.

CONTE, P., PICCOLO, A. Conformational arrangement of dissolved humic substances. Influence of solution composition on association of humic molecules. **Environmental Science Technology**, v.33, p.1682-1690, 1999.

CORAZZA, E. J.; SILVA, J. E.; RESK, D. V. S.; GOMES, A. C. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23. n.2, p.425-432, 1999.

CORNEJO, J.; HERMOSÍN, M. C., Interaction of humic substances and soil clays. In: PICCOLO, A., ed. **Humic substances in terrestrial ecosystems**. Amsterdam, Elsevier Science, 1996. p. 595 – 624.

CRUZ, L. E. C. **Dinâmica da decomposição de resíduos culturais em sistemas rotacionados de manejo em um Planossolo Háplico do sul do Brasil**. 2009. 118 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Produção Vegetal) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

COUTINHO, R. P.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R.; TORRES, A. Q. A.; JANTALIA, C. P. Estoque de carbono e nitrogênio e emissão de N₂O em diferentes usos do solo na Mata Atlântica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, p. 195-203, 2010.

CUNHA, T. J. F.; MACEDO, J. R.; RIBEIRO, L. P.; PALMIERI, F.; FREITAS, P. L.; AGUIAR, A. C. Impacto do manejo convencional sobre as propriedades físicas e

substâncias húmicas de solos sob Cerrado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 1, n. 1, p. 27-36, 2001.

DALAL, R. C.; MAYER, R. J. Long-term trends in fertility of soils under continuous cultivation and cereal cropping in southern Queensland. II. Total organic carbon and its rate of loss from the soil profile. **Australian Journal Soil Research**, v.24, p.281-292, 1986.

DICK, D. P.; DICK, Y. P.; DA SILVA, L. F.; ESSIG, C.; ZORTEA, R. B. Caracterização de produtos de decomposição de lodos orgânicos em diferentes tempos e meios de digestão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.21, p.1-8, 1997.

DICK, D. P.; GOMES, J.; ROSINHA, P. B. Caracterização de substâncias húmicas extraídas de solos e de lodo orgânico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 4, p. 603-611, 1998.

DICK, D. P.; GONÇALVES, C. N.; DALMOLIN, R. S. D.; KNICKER, H.; KLAMT, E.; KÖGEL-KNABNER, I.; SIMOES, M. L.; MARTIN-NETO, L. Characteristics of soil organic matter of different Brazilian Ferralsols under native vegetation as a function of soil depth. **Geoderma**, v.124, p.319-333, 2005.

DIECKOW, J. **Estoque e qualidade da matéria orgânica do solo em função de sistemas de culturas e adubação nitrogenada no sistema plantio direto**, 2003. 164p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS.

DIECKOW, J.; MARTI-NETO, L.; MILORI, D. M. B. P.; CONCEIÇÃO, P. C.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. **Sistemas de preparo do solo e características espectroscópicas da matéria orgânica em ambientes tropicais e subtropicais brasileiros**. São Carlos, Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2005. 16p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 12).

DOBBS, L. B.; RUMJANECK, V. M.; BALDOTTO, M. A.; VELLOSO, A. C. X.; CANELLAS, L. P. Caracterização química e espectroscópica de ácidos húmicos e fúlvicos isolados da camada superficial de Latossolos brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 51-63, 2009.

DOBBS, L. B.; VELLOSO, L. P. C. Grau de humificação de ácidos húmicos isolados de diferentes Latossolos brasileiros. In: **Encontro Brasileiro sobre**

Substâncias Húmicas, 6, 2005, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro, 2005. p. 214-216.

EMPINOTTI, V. L. **Conteúdo e qualidade da matéria orgânica em sistemas de manejo e classes de solo**, 1999. 101f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

EPRON, D.; NOVELLON, Y.; DELEFORTE, P.; IFO, S.; KAZOTTI, J. G. M.; THONGO, M'BOU A.; MOUVONDY, W. J.; SAIN-ANDRÉ, L.; ROUPSARD, O.; JOURDAN, C.; HAMEL, O. Soil carbon balance in a clonal Eucalyptus plantation in Congo: effects of logging on carbon inputs and soil CO₂ efflux. **Global Change Biology**, v. 12, p. 1021-1031, 2006.

FAVORETTO, C. M. **Caracterização da matéria orgânica humificada de um Latossolo Vermelho Distrófico através da espectroscopia de fluorescência induzida por laser**. Ponta Grossa. 2007. 96f. Dissertação (Mestrado em Química Aplicada) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa.

FERNANDES, F. A.; CERRI, C. C.; FERNANDES, A. H. B. M. **Alterações na matéria orgânica e nas características químicas de um Podzol Hidromórfico sob pastagens cultivadas no Pantanal Sul-Mato-Grossense**. Corumbá – MS, Embrapa Pantanal, 2002. 28p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 29).

FERREIRA, F. P. **Caracterização das substâncias húmicas extraídas do solo do manguezal de Pai Matos (Cananéia, SP, BR) e de marismas da Espanha (Galícia e Valência)**. Piracicaba. 2008. 125f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.

FERREIRA, J. A.; SIMÕES, M. L.; MILORI, D. M. B. P.; NETO, L. M.; HAYES, M. H. B.; MAO, J.; SCHMIDT-ROHR, K. **Caracterização espectroscópica da matéria orgânica do solo**. São Carlos – SP, Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2004. 3p. (Circular técnica, 24).

FONTANA, A. **Caracterização química e espectroscópica da matéria orgânica em solos do Brasil**. 2006. 60f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

- FONTANA, A.; NASCIMENTO, G. B.; ANJOS, L. H. C.; PEREIRA, M. G.; 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.
- FORRESTER, D. I.; BAUHUS, J.; COWIE, A. L.; VANCLAY, J. K. Mixed-species plantations of Eucalyptus with nitrogen-fixing trees: a review. **Forest Ecology and Management**, v. 233, p. 211-230, 2006.
- GLASER, B., BALASHOV, E., HAUMAIER, L., GUGGEMBERGER, G.; ZECH, W. Black carbon in density fractions of anthropogenic soils of the Brazilian Amazon region. **Organic Geochemistry**, v. 31, p.669-678, 2000.
- GONZÁLES-PÉREZ, M.; MARTIN-NETO, L.; SAAB, S. C.; NOVOTNY, E. H.; MILORI, D. M. B. P.; BAGNATO, V. S.; COLNAGO, L. A., MELO, W. J.; KNICHER, H. Characterization of humic acids from a Brazilian Oxisol under different tillage systems by EPR, ¹³C NMR, FTIR and fluorescence spectroscopy. **Geoderma**, Amsterdam, v. 118, p. 181-190, 2004.
- GOODMAN, B. A.; HALL, P. L. Electron paramagnetic resonance spectroscopy. In: WILSON, M. J. ed. **Clay mineralogy: Spectroscopic and chemical determinative methods**. London, Chapman and Hall. 1994. p. 173-225.
- GUERRA, J. G. M.; SANTOS, . A.; SILVA, L.S.; CAMARGO, F. A.O. Macromoléculas e substâncias húmicas. In: SANTOS, G. de A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O., eds. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre, Metrópole, 2ª Ed. 2008. p. 19 - 25.
- GUIMARÃES, E. **Caracterização de solos basálticos através de análises química e espectroscópica em laboratório e por satélite**. 2006. 117f. Tese (Doutorado em Química) – Departamento de Química, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em:<http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=169> Acesso em: 05 jun. 2009.
- JANTALIA, C. P.; SANTOS, H. P.; DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Influência de rotação de culturas no

estoque de carbono e nitrogênio do solo sob plantio direto e preparo convencional. **Revista Agronomia**, Rio de Janeiro, v. 37, n. 2, p. 91-97, 2003.

KUMADA, K. **Chemistry of soil organic matter**. Tokyo, Japan Scientific Societies Press, 1987. 241p.

LAL, R.; BRUCE, J.P. The potential do world cropland soils to sequester C and mitigate the greenhouse effect. **Environmental Science and Pollution Research**, v.2, p.177-185, 1999.

LAL, R. Forest soils and carbon sequestration. **Forest Ecology and Management**, v. 220, p. 242-258, 2005.

LAL, R. The potential of soils of the tropics to sequester carbon and mitigate the greenhouse effect. **Advances in Agronomy**, v.74, p.155-192, 2002.

LEITE, F. P. **Relações nutricionais e alterações de características químicas de solo da região do Vale do Rio Doce pelo cultivo do eucalipto**. 2001. 72 p. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais.

LEITE, L. F. C.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J. C. L.; MACHADO, P. L. O.; 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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p. 821-832, 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 três décadas de cultivo de eucalipto no Vale do Rio Doce – MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p. 1053 – 1063, 2008.

LIMA, A. M. N.; SILVA, I. R.; NEVES, J. C. L.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; MENDONÇA, E. S.; SMITH, T. J.; MOREIRA, M. S.; LEITE, F. P. Soil organic carbon dynamics following afforestation of degraded pastures with eucalyptus in Southeastern Brazil. **Forest Ecology and Management**, n. 235, p. 219-231, 2006.

LONGO, R. M.; ESPÍNDOLA, C. R. C-orgânico, N-total e substâncias húmicas sob influência da introdução de pastagens (*Brachiaria* sp.) em áreas de Cerrado e Floresta Amazônica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 723-729, 2000.

LOVATO, T., MIELNICZUK, J., BAYER, C. VEZZANI, F. Adição de carbono e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo e com o rendimento do milho em

sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.1, p.175-187, 2004.

LÜTZOW, M.V.; KOEGEL-KNABNER, I.; EKSCHMITT, K.; MATZNER, E.; GUGGENBERGER, G.; MARSCHNER, B. Stabilization of organic matter in temperate soils: mechanisms and their relevance under different soil conditions- a review. **European Journal of Soil Science**, v.57, p.426-445, 2006.

MacCARTHY, P. The principles of humic substances. **Soil Science**, Madison, v.166, n. 11, p. 738 - 751, 2001.

MADARI, B. E.; REEVES, J. B.; MACHADO, P. L. O. A.; GUIMARÃES, C. M.; TORRES, E.; MCCARTY, G.W. Mid- and nearinfrared spectroscopic assessment of soil compositional parameters and structural indices in two Ferralsols. **Geoderma**, Amsterdam, v.136, p. 245-259, 2006.

MARTENS, D. A. Plant residues biochemistry regulates soil carbon cycling and carbon sequestration. **Soil Biological Biochemistry**, Amsterdam, v. 32, p. 361-369, 2000.

MARTIN-NETO, L.; ANDRIULO, A. E.; TRAGHETTA, D. G. Effects of cultivation on EPR spectra of soil organic matter from soil size fractions of a mollisol. **Soil Science**, Baltimore, v. 157, p. 365-372, 1994.

MARTIN-NETO, L.; NASCIMENTO, O. R.; TALAMONI, J.; POPPI, N. R. EPR of micronutrient-humic substances complexes extracted from a brazilian soil. **Soil Science**, Baltimore, v.151, p.369-376, 1991.

MARTIN-NETO, L.; ROSSEL, R.; SPOSITO, G. Correlation of spectroscopic indicators of humification with mean annual rainfall along a temperate grassland climosequence. **Geoderma**, Amsterdam, v. 81, n. 3-4, p. 305-311, 1998.

MARTIN-NETO, L.; TRAGHETTA, D. G.; VAZ, C. M.; CRESTANA, S.; SPOSITO, G. On the interaction mechanisms of atrazine and hydroxyatrazine with humic substances. **Journal of Environmental Quality**, v. 30, p. 520-525, 2001.

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**, v. 36, p. 1067-1074, 2004.

MENDHAM, D. S.; SANKARAN, K. V.; O'CONNELL, A. M. GROVE, T. S. Eucalyptus globulus harvest residue management effects on soil carbon and microbial biomass at 1 and 5 years after plantation establishment. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 34, p. 1903-1912, 2002.

MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F.M.; LOVATO, T.; FERNANDES, F.F.; DEBARBA, L. Manejo de solo e culturas e sua relação com os estoques de carbono e nitrogênio do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R., eds. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. v.3. p.209-248.

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

MILORI, D. M. B. P.; MARTIN-NETO, L.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; BAGNATO, V. S. Humification degree of soil humic acids determined by fluorescence spectroscopy. **Soil Science**, v. 167, p. 739-749, 2002.

NABINGER, C.; TENTARDINI, F. R.; SIMON, L. L.; CARVALHO, P. C. F.; AGNOL, M. D.; SILVA, J. L. S.; NEVES, F. P. **Manejo sustentável das pastagens naturais: região da depressão central do RS**. Disponível em: <http://www1.ufrgs.br/extensao/salaoextensao/mostra/vis_acao_mostra.asp?CodigoAcaoExtensao=8282> Acesso em: 03 de novembro de 2007.

NARIMOTO, K. M. **Técnicas espectroscópicas aplicadas à análise da matéria orgânica do solo em pomares de citros sob adição de lodo de esgoto**. 2006. 112f. Dissertação (Mestrado em Ciências – Química Analítica) – Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

NASCIMENTO, V. M.; ALMENDROS, G.; FERNANDEZ, F. M. Soil humus characteristics in virgin and cleared areas of the Paraná river basin in Brasil. **Geoderma**, v.54, p.137-150, 1992.

NAYAK, P.S.; SINGH, .K. Instrumental characterization of clay by XRF, XRD and FTIR. **Bull Mater Science**, v.30, p.235 – 238, 2007.

NEVES, C. M. N.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; MACEDO, R. L. G.; TOKURA, A. M. Estoque de carbono em sistemas agrosilvipastoril, pastagem e eucalipto sob cultivo

convencional na região do noroeste do Estado de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 28, n. 5, p. 1038-1046, 2004.

OLENDZKI, R. N. **Caracterização das interações de substâncias húmicas com a matéria inorgânica em solos de cultivo de arroz irrigado: contribuição à aquisição de dados essenciais para a avaliação global do seqüestro de carbono no solo**. 2006. 134f. Doutorado (Doutorado em Química) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

PASSOS, R. R.; RUIZ, H. A.; MENDONÇA, E. S.; CANTARUTTI, R. B.; SOUZA, A. P. Substâncias húmicas, atividade microbiana e carbono orgânico lábil em agregados de um Latossolo Vermelho Distrófico sob duas coberturas vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p.119-1129, 2007.

PAUL, E. A.; CLARK, E. E. **Soil Microbiology and Biochemistry**. San Diego, Academic Press, 2 Ed. 1996. 340p.

PICCOLO, A., NARDI, S., CONCHERI, G. Micelle-like conformation of humic substances as revealed by size exclusion chromatography. **Chemosphere**, v.33, p.595-602, 1996.

PICCOLLO, A. The supramolecular structure of humic substances: A novel understanding of húmus chemistry and implications in soil science. **Advances in Agronomy**, v. 75, p. 57-134, 2002.

PICCOLLO, A. The supramolecular structure of humic substances. **Soil Science**, Madison, v.3, p. 508 – 521, 2001.

PILLAR, V. D.; BOLDRINI, I. I.; HASENACK, H.; JACQUES, A. V. A.; BOTH, R.; MÜLLER, S. C.; EGGERS, L.; FIDELIS, A.; SANTOS, M. M. G.; OLIVEIRA, J. M. CERVEIRA, J.; BLANCO, C.; JONER, F.; CORDEIRO, J. L.; PINNILOS, M., eds. **Estado atual e desafios para a conservação dos campos**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Workshop, 2007. 24p.

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

PILLON, C.N. Manejo da matéria orgânica do solo. In: PILLON, C. N. **Noções sobre produção de leite**. Pelotas, EMBRAPA – CPACT, 2006. p.41-49.

- PILLON, C.N.; MIELNICZUK, J.; MARTIN NETO, L. **Métodos de fracionamento e caracterização da matéria orgânica do solo**. Pelotas – RS, EMBRAPA – CPACT, 2002. 114p. (Documentos 106).
- PINHEIRO, E. F. M.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C. dos; PALMIERI, F.; SOUZA, R. C. de. Matéria orgânica em Latossolo vermelho submetido a diferentes sistemas de manejo e cobertura do solo. **Revista Brasileira de Agrociência**, Viçosa, v. 9, n. 1, p. 53-56, 2003.
- PUGET, P.; CHENU, C.; BALESSENT, J. Dynamics of soil organic matter associated with particle-size fractions of water-stable aggregates. **European Journal of Soil Science**, v. 51, p. 595-605, 2000.
- PULRONIK, K.; BARROS, N. F.; SILVA, I. R.; NOVAES, R. F.; BRANDANI, C. B. Estoques de carbono e nitrogênio em frações lábeis e estáveis da matéria orgânica de solos sob eucalipto, pastagem e Cerrado no Vale do Jequitinhonha-MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1125-1136, 2009.
- QUADROS, F. L. F. de; PILLAR, V. D. P. Transições floresta-campo no Rio Grande do Sul. **Ciência e Ambiente**, v. 24, p. 109-118, 2002.
- RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1609-1623, 2007.
- RASSE, D. P.; RUMPEL, C.; DIGNAC, M. F. Is soil carbon mostly root carbon? Mechanisms for a specific stabilization. **Plant and Soil**, v. 269, p. 341-356, 2005.
- REEVES, D. W. The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. **Soil & Tillage Research**, v.43, p.131-167, 1997.
- REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência e Ambiente**, v. 27, n. 2, p. 29-48, 2003.
- REICOSKY, D. C.; KEMPER, W. D.; LANGDALE, G. W.; DOUGLAS, C. L.; RASMUNSEN, P. E. Soil organic matter changes resulting from tillage and biomass production. **Journal of Soil and Water Conservation**, v.50, p.253-261, 1995.

REVISTA IBAMA, 2005. Disponível em <<http://www.defesabiogaucha.org/textos/texto01.htm>> Acesso em: 03 de novembro de 2007.

RIBASKI, J.; DEDECEK, R. A.; MATTEI, V. L.; FLORES, C. A.; VARGAS, A. F. C.; RIBASKI, S. A. G. **Sistemas silvipastoris: estratégias para o desenvolvimento rural sustentável para a metade sul do Estado do Rio Grande do Sul**. Colombo – PR, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Embrapa Florestas, 2005. 8p. (Comunicado Técnico, 150).

RICE, J. A.; MacCARTHY, P. Statistical evaluation of the elemental composition of humic substances. **Organic Geochemistry**, v. 17, n. 5, p. 635-648, 1991.

RIFFALDI, R.; SCHNITZER, M. Electron spin resonance spectrometry of humic substances. **Soil Science Society of America Proceedings**, v. 36, p. 301-305, 1972.

ROCHA, J. C.; ROSA, A. H. **Substâncias húmicas aquáticas: interações com espécies metálicas**. São Paulo: Editora UNESP, 2003. 120p.

ROMÃO, L. P. C.; ROCHA, J. C. Utilização da ultrafiltração em fluxo tangencial na determinação das constantes de troca entre substâncias húmicas e íons Cu (II). **Revista da Fapese de Pesquisa e Extensão**, v. 2, p. 25-36, 2005.

ROSA, M. E. C.; OLSZEWSKI, N.; MENDONÇA, E. S.; COSTA, L. M.; CORREIA, J. R. Formas de carbono em Latossolo Vermelho Eutroférico sob plantio direto no sistema biogeográfico do Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 911-923, 2003.

ROSA, A. H.; SIMÕES, M. L.; OLIVEIRA, L. C.; ROCHA, J. C.; MARTIN-NETO, L.; MILORI, D. M. B. P. Multimethod study of the degree of humification of humic substances extracted from different tropical soil profiles in Brazil's Amazonian region. **Geoderma**, v. 127, p. 1-10, 2004.

ROSA, C. M.; CASTILHOS, R. M. V.; DICK, D. P.; PAULETTO, E. A.; GOMES, A. S. Teor e qualidade de substâncias húmicas de um planossolo sob diferentes sistemas de cultivo. **Ciência Rural**, v. 38, n. 6, p. 1589-1595, 2008.

ROSA, C. M. **Teor e qualidade da matéria orgânica de um Planossolo hidromórfico sob diferentes sistemas de cultivo**, 2006. 73f. Dissertação

(Mestrado em Agronomia – Ciência do Solo) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

ROSCOE, R.; MACHADO, P. L. O. de A. **Fracionamento físico do solo em estudos da matéria orgânica**. Dourados – MS, Embrapa Agropecuária Oeste e Embrapa Solos, 2002. 86p.

ROVEDDER, A. P. M.; ELTZ, F. L. F.; DRESCHER, M. S.; DORNELES, F. O.; SCHENATO, R. B. Espaçamento entre linhas e densidade de semeadura em revegetação com espécie de tremoço visando à recuperação de solo degradado. **Ciência Rural**, [online] a head of print, p. 0-0, 2010.

SAAB, S. C.; MARTIN-NETO, L.; Studies of semiquinone free radicals by ESR in the whole soil, HA, FA and humic substances. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 15, n. 1, p. 34-37, 2004.

SAAB, S. C.; MARTIN-NETO, L. Use of the EPR technique to determine thermal stability of some humified organic substances found in soil organic mineral fractions. **Química Nova**, v. 26, n. 4, p. 497-498, 2003.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J. Relações entre sistemas de preparo, temperatura e umidade de um Podzólico Vermelho-Escuro de Eldorado do Sul (RS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.19, p. 313-319, 1995.

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., eds. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2 Ed. 2006, 306 p.

SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da Matéria Orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais**, Porto Alegre, Gênese, 1999. 491p.

SANTOS, L. **Monoculturas de árvores exóticas e conservação da diversidade da fauna no Rio Grande do Sul**. 2006. 54f. Monografia (Especialização) – Instituto de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SANTOS, V. B. **Matéria orgânica e biomassa microbiana de um Planossolo sob diferentes sistemas de manejo**, 2003. 80f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Ciência do Solo) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

SAUERBECK, D. R. CO₂ emissions and C sequestration by agriculture: Perspectives and limitations. **Nutrient Cycling Agroecosystems**, v.60, p.253-266, 2001.

SCHULTEN, H. R.; SCHNITZER, M. Chemical model structures for soil organic matter and soils. **Soil Science**, Madison, v. 162, p. 115 – 130, 1997.

SENESI, N. Application of Electron Spin Resonance (ESR) Spectroscopy in Soil Chemistry. **Advances in Soil Science**. v. 14, p. 77-130, New York, Springer, 1990.

SENESI, N.; LOFFREDO, E. The chemistry of soil organic matter. In: Sparks, d. I. (Eds.) **Soil physical chemistry**. Boca Raton: CRC, 1999. cap. 6, p. 242-370.

SENESI, N.; MIANO, T. M.; BRUNETTI, G. Methods and related problems for sampling soil and sediment organic matter. Extraction, fractionation and purification of humic substances. **Química Analítica**, v. 13, p. 26-33, 1994.

SILVA, I. R.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; SILVA, E. F. Manejo de resíduos ematéria orgânica do solo emplantações de eucalipto: uma questão estratégica para a manutenção da sustentabilidade. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, n. 29, p. 10-20, 2004.

SILVA, L. M. V.; PASQUAL, A. Dinâmica e modelagem da matéria orgânica do solo com ênfase no ecossistema tropical. **Energia na Agricultura**, v. 14, p. 13-24, 2006.

SIMPSON, A. J. Determining the molecular weight, aggregation, structures and interactions of natural organic matter using diffusion ordered spectroscopy. **Magnetic Ressonance in Chemistry**, v. 40, p. 572-582, 2002.

SIMPSON, A. J.; KINGERY, W. L.; SWAW, D. R.; SPRAUL, M.; HUMPFER, E.; DVORTSAK, P. Molecular structures and associations of humic substances in the territorial environmental. **Naturwissenschaften**, v. 89, p. 84-88, 2002.

SKORUPA, A. L. A. **Acumulação e decomposição da serrapilheira em povoamento de eucalipto na região do Baixo Rio do Doce- MG**. 2001. 68f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais.

SOARES, E. M. B. **Frações da matéria orgânica e composição molecular de substâncias húmicas de solos sob cultivo de eucalipto em biomas distintos**.

2009. 123p. Tese (Doutorado em Nutrição de Plantas – Solos). Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais.

SOLLINS, P.; HOMANN, P.; CALDWELL, B. A. Stabilization of soil organic matter: mechanisms and controls. **Geoderma**, Amsterdam, v. 74, p. 65-105, 1996.

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

STEARMAN, G. K.; LEWIS, R. J.; TORTORELLI, L. J.; TYLER, D. D. Characterization of humic acid from no-tilled and tilled soils using carbon-13 nuclear magnetic resonance. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 53, p. 744-749, 1989.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions**. New York, J. Wiley, 2 ed., 1994. 496 p.

TAN, K.H. **Humic Matter in Soil and the Environment** . Madison Avenue, New York, 2003. 385p.

TAN, K. H. Organic constituents. In: **Environmental soil science**. New York, Marcel Dekker, 1994. p. 51-97.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; Fotossíntese: considerações fisiológicas e ecológicas. In: TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre, Artmed, 3 ed, 2004. p. 199 - 219.

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **Journal of Soil Science**, v.33, p.141-163, 1982.

VARGAS, I. C. S. **Indicações geográficas no Brasil: Possibilidades para os produtores inseridos na área de proteção ambiental do Ibirapuitã – RS**. 2008. 116f. Dissertação (Mestrado em Extensão Rural) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

ZECH, Z.; SENESI, N.; GUGGEN BERGER, G.; KAISER, K.; LEHMANN, J.; MIANO, T. M.; MILTNER, A.; SCHROTH, G. Factors controlling humification and mineralization of soil organic matters in the tropics. **Geoderma**, v. 79, p. 69-116, 1997.

ZINN, Y. L.; LAL, R.; RESCK, D. V. S. Changes in soil organic carbon stocks under agriculture in Brazil. **Soil Tillage Research**, v.84, p.28-40, 2005.

ZINN, Y. L.; RESCK, D. V. S.; SILVA, J. E. Soil organic carbon as affected by afforestation with Eucalyptus and Pinus in the Cerrado region of Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 66, p. 285-294, 2002.

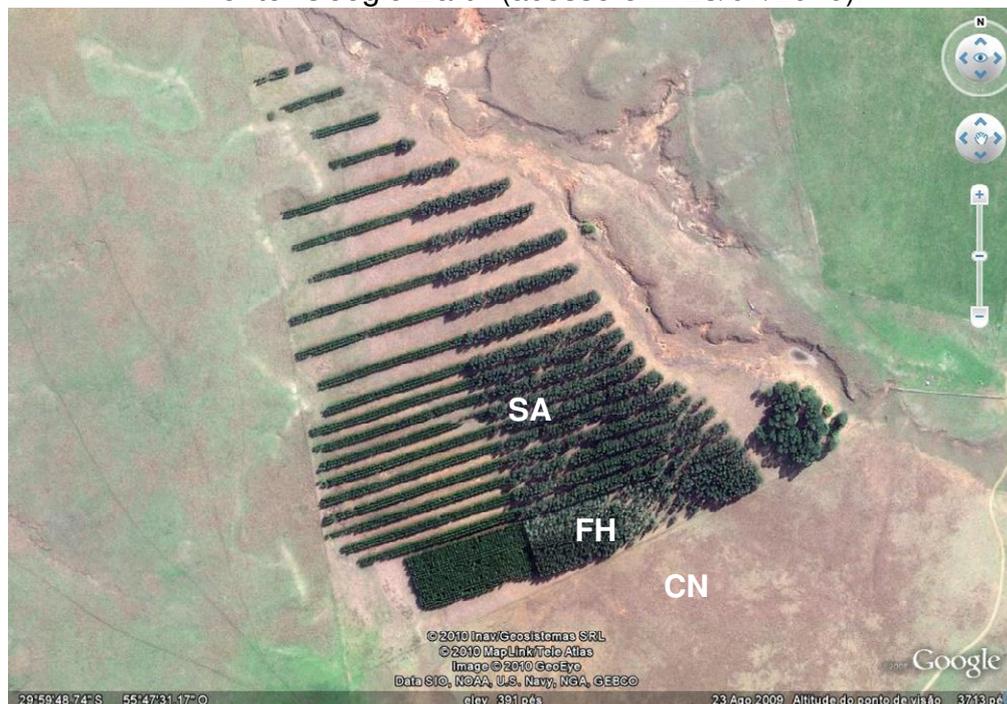
ZSOLNAY, A.; BAIGAR, E.; JIMENEZ, M.; STEINWEG, B.; SACCOMANDI, F. Differentiating with fluorescence spectroscopy the sources of dissolved organic matter in soils subjected to drying. **Chemosphere**, v. 38, p. 45-50, 1999.

7 APÊNDICES

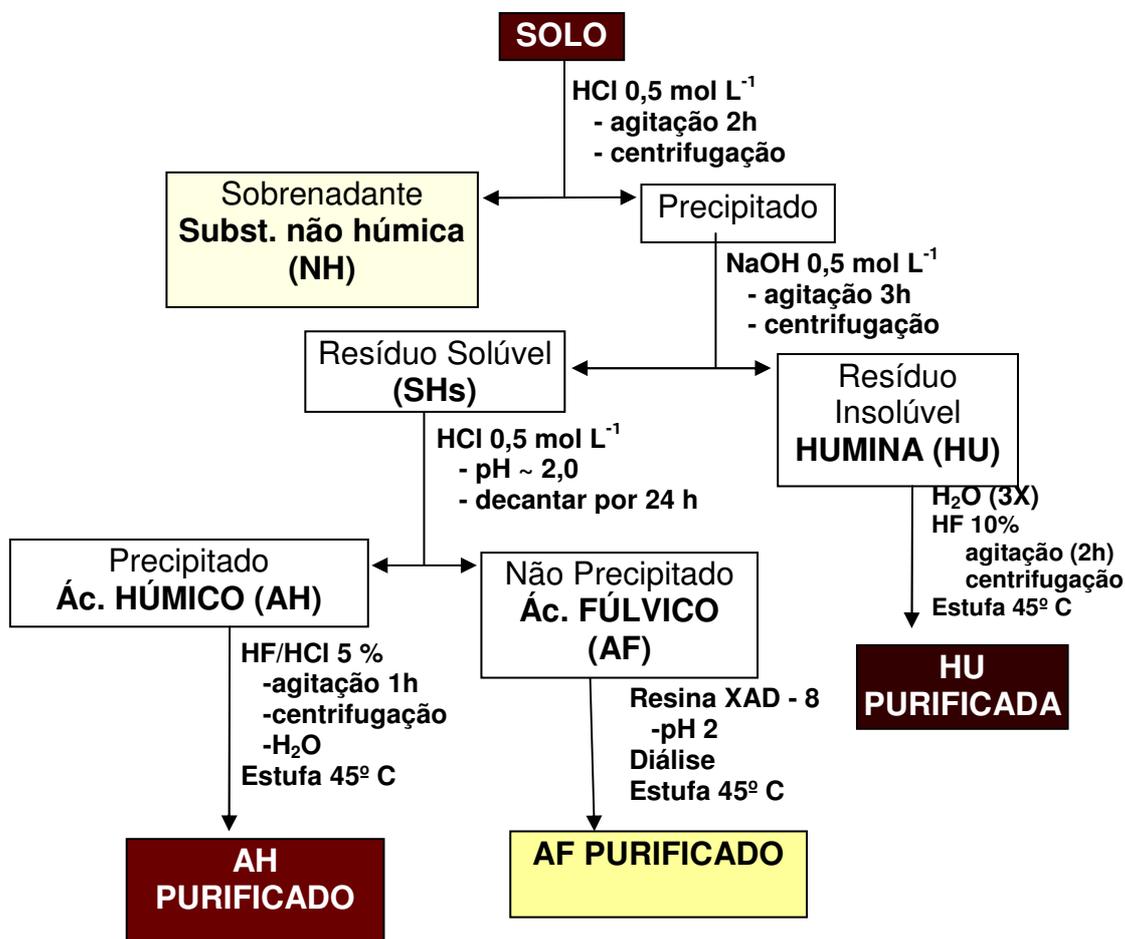
Apêndice 1. Vista aérea da área experimental no município de Capão do Leão - RS, sede da Estação de Terras Baixas da Embrapa Clima Temperado. Coordenadas geográficas: 31° 49' 00" de latitude S e 52° 27' 00" de longitude W de Greenwich. Fonte: Google Earth (acesso em: 21/07/2009).



Apêndice 2. Vista aérea da área experimental no município de Alegrete - RS, estância Sá Brito. Coordenadas geográficas: 29° 59' 47" de latitude S e 55° 47' 30" de longitude W de Greenwich. FH –Floresta homogênea de eucalipto; SA – Sistema silvipastoril composto por Eucalyptus grandis e pastagem; CN – Campo nativo. Fonte: Google Earth (acesso em: 23/07/2010).



Apêndice 3. Esquema simplificado de fracionamento químico e purificação das substâncias húmicas. Fonte: Dick et al. (1998), adaptado de Rosa (2006).



Apêndice 4. Teores de carbono orgânico total (COT), estoques de carbono orgânico total (E_COT), teores de nitrogênio total (NT), estoques de nitrogênio total (E_NT) e relação C/N de um Planossolo Háplico submetido a diferentes sistemas de manejo, na camada de 0,000 a 0,025 m. Capão do Leão-RS, 2010.

Sistema de manejo	Bloco	COT (g kg ⁻¹)	E_COT (Mg ha ⁻¹)	NT (g kg ⁻¹)	E_NT (Mg ha ⁻¹)	C/N
-----solo inteiro-----						
CN	1	20,70	7,09	1,46	0,50	14,22
	2	20,10	6,78	1,13	0,38	17,79
	3	19,70	6,60	1,23	0,41	16,03
Média		20,17	6,82	1,27	0,43	16,01
PC	1	15,40	6,12	1,18	0,47	13,06
	2	12,90	5,10	0,93	0,37	13,82
	3	11,90	4,52	0,81	0,31	14,70
Média		13,40	5,25	0,97	0,38	13,86
PD	1	11,00	4,21	0,99	0,38	11,14
	2	10,50	4,04	0,70	0,27	15,10
	3	13,80	5,52	1,12	0,45	12,32
Média		11,77	4,59	0,94	0,36	12,85
-----macroagregados-----						
CN	1	17,55	6,01	1,02	0,35	17,22
	2	15,15	5,11	0,67	0,23	22,74
	3	16,14	5,41	0,81	0,27	19,91
Média		16,28	5,51	0,83	0,28	19,96
PC	1	10,09	4,01	0,79	0,31	12,85
	2	9,05	3,57	0,63	0,25	14,36
	3	8,52	3,24	0,68	0,26	12,55
Média		9,22	3,61	0,70	0,27	13,25
PD	1	6,85	2,62	0,40	0,15	17,26
	2	6,86	2,64	0,45	0,18	15,12
	3	8,74	3,50	0,59	0,24	14,76
Média		7,48	2,92	0,48	0,19	15,71

CN= campo nativo; PC= preparo convencional; PD= plantio direto

Apêndice 5. Teores de carbono nas formas não humificada (NH), ácido fúlvico (AF), ácido húmico (AH) e humina (HU) da matéria orgânica de um Planossolo Háplico submetido a diferentes sistemas de manejo, na camada de 0,000 a 0,025 m. Capão do Leão-RS, 2010.

Sistema de manejo	NH	AF	AH	HU
	-----g kg ⁻¹ -----			
	-----solo inteiro-----			
CN	0,35	1,79	4,78	13,79
	0,40	2,47	4,46	12,77
Média	0,36	2,02	4,22	13,11
	0,37	2,09	4,48	13,22
PC	0,32	1,13	2,87	11,09
	0,14	1,06	3,39	8,31
Média	0,17	1,05	4,09	6,60
	0,21	1,08	3,45	8,66
PD	0,17	1,58	4,58	4,67
	0,20	1,16	4,60	4,54
Média	0,19	1,24	3,48	8,86
	0,18	1,33	4,22	6,04
	-----macroagregados-----			
CN	0,39	1,52	1,97	13,67
	0,28	1,40	2,74	10,73
Média	0,23	1,61	1,78	12,53
	0,31	1,51	2,16	12,31
PC	0,33	0,80	0,43	8,53
	0,09	0,87	2,57	5,52
Média	0,08	0,84	1,56	6,04
	0,17	0,84	1,52	6,70
PD	0,24	0,73	1,27	4,60
	0,27	0,88	2,36	3,34
Média	0,18	0,59	1,56	6,40
	0,23	0,73	1,73	4,59

CN= campo nativo; PC= preparo convencional; PD= plantio direto.

Apêndice 6. Estoques de carbono nas formas não humificada (NH), ácido fúlvico (AF), ácido húmico (AH) e humina (HU) da matéria orgânica de um Planossolo Háplico submetido a diferentes sistemas de manejo, na camada de 0,000 a 0,025 m. Capão do Leão-RS, 2010.

Sistema de manejo	NH	AF	AH	HU
-----g kg ⁻¹ -----				
-----solo inteiro-----				
CN	0,12	0,61	1,64	4,72
	0,13	0,84	1,50	4,31
Média	0,12	0,68	1,41	4,39
	0,12	0,71	1,52	4,48
PC	0,13	0,45	1,14	4,41
	0,05	0,42	1,34	3,28
Média	0,06	0,40	1,55	2,51
	0,08	0,42	1,34	3,40
PD	0,06	0,61	1,75	1,79
	0,08	0,45	1,77	1,75
Média	0,08	0,50	1,39	3,56
	0,07	0,52	1,64	2,36
-----macroagregados-----				
CN	0,13	0,52	0,67	4,68
	0,10	0,47	0,93	3,62
Média	0,08	0,54	0,60	4,20
	0,10	0,51	0,73	4,17
PC	0,13	0,32	0,17	3,39
	0,04	0,34	1,02	2,18
Média	0,03	0,32	0,59	2,30
	0,07	0,33	0,59	2,62
PD	0,09	0,28	0,49	1,77
	0,10	0,34	0,91	1,29
Média	0,07	0,23	0,63	2,56
	0,09	0,28	0,67	1,87

CN= campo nativo; PC= preparo convencional; PD= plantio direto.

Apêndice 7. Densidade do solo em g dm^{-3} de um Planossolo Háplico submetido a diferentes sistemas de manejo, na camada de 0,000 a 0,025 m. Capão do Leão-RS, 2010.

Sistema de manejo	Bloco	Densidade (g dm^{-3})
CN	1	1,37
	2	1,35
	3	1,34
Média		1,35
PC	1	1,59
	2	1,58
	3	1,52
Média		1,56
PD	1	1,53
	2	1,54
	3	1,6
Média		1,56

CN= campo nativo; PC= preparo convencional; PD= plantio direto.

Apêndice 8. Atribuição das principais bandas de absorção no infravermelho de substâncias húmicas

Nº de ondas (cm ⁻¹)	Atribuições
3400 - 3300	Estiramentos O-H e N-H inter e intramolecular.
2940 - 2840	Estiramento C-H alifáticos.
1725 - 1720	Estiramento C=O de COOH e cetonas (traços).
1660 - 1630	Estiramentos C=O de amidas (amida I), C=O de quinona e/ou C=O ligados ao H de cetonas conjugadas.
1630 - 1600	Estiramento C=C aromático.
1650 - 1580	Estiramento COO ⁻ simétrico.
1590 - 1517	Deformação N-H e estiramento C=N.
1460 - 1435	Estiramento C-H alifático e de grupos metila.
1400 - 1380	Deformação OH e estiramento C-O de OH fenólico, deformação C-H de CH ₂ e CH ₃ , estiramento COO ⁻ assimétrico.
1280 - 1200	Estiramento C-O e deformação OH de COOH, estiramento C-O (de aril-éteres, ésteres, aromático e fenólico).
1170 - 1100	Estiramento C-O de estruturas tipo polissacarídeos.
1031	Estiramento Si-O (impurezas inorgânicas).

Fonte: CERETA et al., 2008.

Apêndice 9. Teores de carbono orgânico total (COT), estoques de carbono orgânico total (E_COT), teores de nitrogênio total (NT), estoques de nitrogênio total (E_NT) e relação C/N de um Argissolo Vermelho sob sistemas de manejo e camadas. Alegrete-RS, 2010.

Sistema de manejo	Bloco	COT (g kg ⁻¹)	E_COT (Mg ha ⁻¹)	NT (g kg ⁻¹)	E_NT (Mg ha ⁻¹)	C/N
-----0,000 a 0,025 m-----						
CN	1	6,79	2,61	0,77	0,30	8,83
	2	6,87	2,47	0,76	0,27	9,09
	3	6,62	2,50	0,83	0,31	7,96
Média		6,76	2,53	0,79	0,29	8,63
FH	1	9,27	3,78	1,00	0,41	9,27
	2	9,54	3,43	1,06	0,38	8,97
	3	9,38	3,49	1,06	0,40	8,82
Média		9,40	3,57	1,04	0,40	9,02
SA	1	6,07	2,28	0,66	0,25	9,26
	2	6,10	2,36	0,63	0,24	9,73
	3	6,08	2,46	0,62	0,25	9,83
Média		6,08	2,37	0,63	0,25	9,61
-----0,025 a 0,075 m-----						
CN	1	4,53	3,76	0,58	0,48	7,84
	2	4,22	3,44	0,56	0,46	7,53
	3	4,30	3,50	0,54	0,44	7,92
Média		4,35	3,57	0,56	0,46	7,76
FH	1	4,13	3,30	0,60	0,48	6,89
	2	4,32	3,43	0,59	0,47	7,34
	3	4,21	3,45	0,57	0,47	7,36
Média		4,22	3,40	0,59	0,47	7,20
SA	1	3,80	3,14	0,40	0,33	9,41
	2	4,07	3,38	0,44	0,36	9,30
	3	4,05	3,42	0,40	0,34	10,01
Média		3,97	3,31	0,42	0,35	9,57
-----0,075 a 0,125 m-----						
CN	1	3,30	2,72	0,34	0,28	9,62
	2	3,50	2,85	0,37	0,31	9,34
	3	3,64	2,93	0,36	0,29	10,24
Média		3,48	2,84	0,36	0,29	9,73
FH	1	3,78	3,01	0,43	0,34	8,79
	2	4,09	3,21	0,44	0,35	9,29
	3	4,10	3,36	0,43	0,35	9,63
Média		3,99	3,19	0,43	0,35	9,24
SA	1	3,63	3,01	0,25	0,21	14,32
	2	3,52	2,90	0,27	0,22	13,11
	3	3,40	2,74	0,27	0,22	12,49
Média		3,52	2,88	0,27	0,22	13,31

CN = Campo nativo; **FH** = Floresta homogênea de eucalipto; **SA** = Sistema silvipastoril composto por *Eucalyptus grandis* e pastagem.

Apêndice 10. Teores de carbono nas formas não humificada (NH), ácido fúlvico (AF), ácido húmico (AH) e humina (HU) da matéria orgânica de um Argissolo Vermelho sob sistemas de manejo e camadas. Alegrete-RS, 2010.

Sistema de manejo	NH	AF	AH	HU
-----g kg ⁻¹ -----				
-----0,000 a 0,0025 m-----				
CN	0,09	0,70	1,33	4,66
	0,07	0,72	1,25	4,82
	0,08	1,00	1,60	3,94
Média	0,08	0,81	1,39	4,47
	0,21	1,28	1,98	5,80
FH	0,23	1,26	1,98	6,08
	0,22	1,26	1,95	5,95
Média	0,22	1,27	1,97	5,94
	0,11	0,75	1,31	3,91
SA	0,12	0,77	1,35	3,86
	0,11	0,78	1,43	3,77
Média	0,11	0,77	1,36	3,85
-----0,025 a 0,075 m-----				
CN	0,05	0,43	0,69	3,36
	0,05	0,45	0,69	3,03
	0,06	0,63	0,86	2,75
Média	0,06	0,50	0,75	3,05
	0,11	0,49	0,61	2,92
FH	0,10	0,67	0,72	2,83
	0,08	0,67	0,73	2,71
Média	0,10	0,61	0,69	2,82
	0,10	0,42	0,40	2,88
SA	0,10	0,44	0,46	3,07
	0,11	0,41	0,47	3,06
Média	0,10	0,42	0,45	3,00
-----0,075 a 0,125 m-----				
CN	0,04	0,31	0,48	2,47
	0,04	0,36	0,53	2,56
	0,05	0,29	0,59	2,71
Média	0,05	0,32	0,53	2,58
	0,05	0,39	0,57	2,77
FH	0,06	0,38	0,45	3,20
	0,06	0,52	0,43	3,09
Média	0,06	0,43	0,48	3,02
	0,10	0,32	0,26	2,95
SA	0,10	0,34	0,27	2,81
	0,10	0,32	0,32	2,66
Média	0,10	0,33	0,28	2,81

CN = Campo nativo; **FH** = Floresta homogênea de eucalipto; **SA** = Sistema silvipastoril composto por *Eucalyptus grandis* e pastagem.

Apêndice 11. Estoques de carbono nas formas não humificada (NH), ácido fúlvico (AF), ácido húmico (AH) e humina (HU) da matéria orgânica de um Argissolo Vermelho sob sistemas de manejo e camadas. Alegrete-RS, 2010.

Sistema de manejo	NH	AF	AH	HU
-----g kg ⁻¹ -----				
-----0,000 a 0,0025 m-----				
CN	0,04	0,27	0,51	1,79
	0,03	0,26	0,45	1,74
	0,03	0,38	0,60	1,50
Média	0,03	0,30	0,52	1,68
FH	0,08	0,52	0,80	2,36
	0,08	0,45	0,71	2,19
	0,07	0,47	0,73	2,22
Média	0,08	0,48	0,75	2,26
SA	0,04	0,28	0,49	1,46
	0,04	0,30	0,52	1,50
	0,04	0,32	0,58	1,53
Média	0,04	0,30	0,53	1,50
-----0,025 a 0,075 m-----				
CN	0,04	0,35	0,58	2,79
	0,05	0,37	0,56	2,47
	0,05	0,51	0,70	2,24
Média	0,05	0,41	0,61	2,50
FH	0,08	0,39	0,49	2,34
	0,08	0,53	0,57	2,25
	0,07	0,55	0,61	2,22
Média	0,08	0,49	0,56	2,27
SA	0,08	0,35	0,33	2,38
	0,08	0,36	0,38	2,55
	0,09	0,36	0,40	2,58
Média	0,08	0,36	0,37	2,50
-----0,075 a 0,125 m-----				
CN	0,04	0,26	0,40	2,04
	0,05	0,30	0,43	2,09
	0,05	0,23	0,47	2,18
Média	0,05	0,26	0,43	2,10
FH	0,04	0,30	0,45	2,20
	0,05	0,29	0,35	2,50
	0,05	0,43	0,35	2,53
Média	0,05	0,34	0,38	2,42
SA	0,08	0,27	0,21	2,45
	0,08	0,28	0,23	2,32
	0,08	0,26	0,26	2,14
Média	0,08	0,27	0,23	2,30

CN = Campo nativo; **FH** = Floresta homogênea de eucalipto; **SA**= Sistema silvipastoril composto por *Eucalyptus grandis* e pastagem.

Apêndice 12. Densidade do solo (g dm^{-3}) de um Argissolo Vermelho sob sistemas de manejo e camadas. Alegrete-RS, 2010.

Sistema de manejo	Bloco	Densidade (g dm^{-3})
-----0,000 a 0,025 m-----		
CN	1	1,54
	2	1,44
	3	1,51
Média		1,50
FH	1	1,63
	2	1,44
	3	1,49
Média		1,52
SA	1	1,50
	2	1,55
	3	1,62
Média		1,56
-----0,025 a 0,075 m-----		
CN	1	1,66
	2	1,63
	3	1,63
Média		1,64
FH	1	1,60
	2	1,59
	3	1,64
Média		1,61
SA	1	1,65
	2	1,66
	3	1,69
Média		1,67
-----0,075 a 0,125 m-----		
CN	1	1,65
	2	1,63
	3	1,61
Média		1,62
FH	1	1,59
	2	1,57
	3	1,64
Média		1,60
SA	1	1,66
	2	1,65
	3	1,61
Média		1,64

CN = Campo nativo; **FH** = Floresta homogênea de eucalipto; **SA**= Sistema silvipastoril composto por *Eucalyptus grandis* e pastagem.