

PROPRIEDADES ESPECTRAIS DA MATÉRIA ORGÂNICA LEVE-LIVRE E LEVE INTRA-AGREGADO DE DOIS LATOSSOLOS SOB PLANTIO DIRETO E PREPARO CONVENCIONAL⁽¹⁾

A. A. FREIXO⁽²⁾, L. P. CANELLAS⁽³⁾ & P. L. O. A. MACHADO⁽⁴⁾

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo estudar a natureza química das frações leves-livres (FLL) e leves intra-agregado (FLI) da matéria orgânica do solo, obtidas pelo fracionamento físico do solo por densidade, por meio da espectroscopia na região do infravermelho, para verificar se tais frações constituem compartimentos distintos da matéria orgânica do solo. Foram analisadas amostras de Latossolos de dois estados do Brasil (RS e GO), submetidos a plantio direto e preparo convencional, em distintos sistemas de rotação de culturas. A análise por infravermelho revelou diferenças contrastantes entre os compartimentos orgânicos estudados. Os espectros de IV da fração leve-livre apresentaram configuração semelhante aos dos resíduos vegetais, indicando que ela se encontra em estádios iniciais de transformação. Não foram observadas diferenças estruturais na FLL entre os distintos sistemas de preparo e rotação de culturas. Os espectros de IV da FLI apresentaram bandas de absorção N-H e C-O de polissacarídeos menos intensas e em maior conjugação, em relação aos espectros da FLL, características de material mais humificado. Foi observada ainda uma maior transformação estrutural da fração leve intra-agregado em solos sob preparo convencional, quando comparada à FLI de solo sob vegetação natural e plantio direto. Os índices de hidrofobicidade (IH) e de condensação (IC), determinados a partir de relações entre as bandas de absorção de grupamentos -CH₃ alifáticos, C-O de polissacarídeos e C=O conjugados, permitiram identificar as diferenças na recalcitrância e condensação das frações leves. Constatou-se que ambos os índices foram significativamente maiores para a matéria orgânica intra-agregado, por consequência de seu maior grau de humificação.

Termos de indexação: fracionamento do solo por densidade, solos cultivados e sob floresta, espectroscopia de infravermelho.

⁽¹⁾ Parte da Tese de Mestrado do primeiro autor, apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ. Recebido para publicação em outubro de 2000 e aprovado em maio de 2001.

⁽²⁾ Bióloga, MSc Agronomia - Ciência do Solo, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ. BR 467, Km 7, CEP 23890-000 Seropédica (RJ).

⁽³⁾ Professor Visitante da Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF. Av. Alberto Lamego 2000, CEP 28015-620 Campos dos Goytacazes (RJ).

⁽⁴⁾ Pesquisador da Embrapa Solos. Rua Jardim Botânico 1024, CEP 22460-000 Rio de Janeiro (RJ).

SUMMARY: *SPECTRAL PROPERTIES OF FREE LIGHT AND INTRA-AGGREGATE ORGANIC MATTER OF TWO OXISOLS UNDER NO-TILLAGE AND CONVENTIONAL TILLAGE*

The objective of this study was to investigate the chemical nature of free (FLF) and intra-aggregate (ILF) light fraction of soil organic matter, using infrared spectroscopy as well as to determine whether these fractions are compositionally distinct pools of soil organic matter. Both FLF and ILF were isolated by flotation on NaI solution at a specific gravity of 1.8; for ILF extraction, the soil sample was sonicated after FLF isolation. Samples were collected from two Oxisols from contrasting regions of Brazil (southern and central). Treatments consisted of no-tillage and conventional tillage (ploughing followed by light disc harrowings), under different crop rotation systems. FLF spectra showed features similar to that of plant debris, indicating that these fractions are at early transformation stages. No structural difference was found in the FLF among the different tillage and crop rotation systems. Compared to the FLF spectra, the ILF spectra showed less intense N-H and C-O adsorption bands and were in greater conjugation, which is characteristic of a more humified material. The ILF of soils under conventional tillage presented more changes than the ILF of soils under native vegetation and no tillage. The hydrophobicity (HR) and condensation (CR) indexes, determined by the relationship between the absorption bands of alifatic $-CH_3$, polysaccharide C-O and conjugated C=O functional groups, led to the identification of differences in recalcitrance and condensation of the light fractions. Both hydrophobicity and condensation indexes were significantly higher for ILF than for FLF, due to the former's greater moisture degree.

Index terms: organic matter, density fractionation, cultivated and forest soils, infrared spectroscopy.

INTRODUÇÃO

O estudo da transformação da matéria orgânica do solo (MOS) por meio do uso do fracionamento físico vem crescendo nos últimos anos, embora haja registros no final do século passado do uso do fracionamento granulométrico do solo para investigar a MOS (Christensen, 1992; Feller, 1999). As frações da MOS, presentes em diferentes compartimentos, podem apresentar diferentes velocidades de decomposição, dependendo da sua localização física no solo. Sohi et al. (2001) desenvolveram um método de fracionamento da MOS que extrai, sequencialmente, numa mesma amostra, a matéria orgânica entre agregados e dentro deles (frações leves) e aquela associada às partículas de argila, silte e areia (frações pesadas).

No Brasil, alguns estudos envolvendo o fracionamento físico da MOS já foram apresentados, contudo o procedimento adotado compreendeu apenas a quantificação da matéria orgânica associada às partículas minerais do solo (Silva et al., 1999; Freitas et al., 2000). Skjemstad et al. (1986) constataram diferenças estruturais entre a fração leve e a fração orgânica associada à areia, demonstrando a importância da distinção entre as frações leves e pesadas pelo fracionamento físico. Tais resultados são importantes, principalmente quando se busca quantificar os diferentes compartimentos

orgânicos, com velocidades de transformação e características funcionais distintas, utilizados no desenvolvimento de modelos simuladores da dinâmica da MOS (Parton et al., 1987).

A maior parte da MOS ocorre associada às partículas minerais do solo, considerada um compartimento altamente resistente à transformação ou ao ataque microbiano (Stevenson, 1994; Feller & Beare, 1997). Pequena proporção da MOS, constituída principalmente por resíduos vegetais, pode estar livre ou presente no interior de agregados instáveis, denominada fração leve-livre, e dentro de agregados estáveis, denominada fração leve intra-agregado.

Segundo Theng et al. (1989) e Christensen (1996), a fração leve-livre, também denominada de matéria macrororgânica, matéria orgânica particulada ou matéria orgânica não complexada, pode estar livre ou não firmemente associada com os minerais do solo. A fração leve intra-agregado, também denominada de matéria orgânica particulada intra-agregado (Six et al., 2000) ou matéria orgânica não complexada oclusa (Christensen, 1996), está oclusa em agregados do solo, mas não está fortemente associada aos minerais do solo. Freixo (2000) observou que aproximadamente 60 % do carbono orgânico total de um horizonte superficial (0-5 cm) de um Latossolo Vermelho-Escuro de Passo Fundo (RS), sob floresta, encontravam-se na fração pesada, 37 % na fração leve-livre e 3 % na fração intra-agregado.

Onze anos de cultivo do solo resultaram em um aumento na proporção da MOS associada às partículas de argila, silte e areia (aproximadamente 90 % do carbono orgânico total).

Embora a composição da MOS seja bastante complexa e variável, o estudo espectroscópico das frações leves pode ser útil na identificação de diferenças entre os dois compartimentos da MOS leve, decorrentes dos processos de decomposição e proteção física dos resíduos orgânicos (Golchin et al., 1994b). Pode-se avaliar também a influência do manejo do solo sobre a natureza química das frações leves (Skjemstad et al., 1986; Wander & Traina, 1996).

A espectroscopia de infravermelho (IV) baseia-se na propriedade vibratória inerente aos átomos de uma molécula. Cada molécula responde de forma diferente à radiação, o que proporciona diferentes bandas de absorção no espectro infravermelho (Martin-Neto et al., 1996). Os espectros de infravermelho fornecem informações sobre a estrutura dos grupos funcionais presentes na matéria orgânica, bem como sobre a natureza de suas ligações químicas e sua reatividade (Stevenson, 1994; Johnston et al., 1994; Johnston & Aochi, 1996).

Embora a espectroscopia de IV tenha sido inicialmente utilizada de modo qualitativo, pelo fato de a técnica seguir os princípios da Lei de Beer-Lambert, aplicações quantitativas foram apresentadas por Schnitzer (1971).

Recentemente, com a disponibilidade da espectroscopia de IV e a transformada de Fourier (IV-TF), foi possível obter espectros de substâncias húmicas muito mais precisos e com melhor definição. Assim, aumentou-se a possibilidade de aplicação quantitativa da espectroscopia de IV, correlacionando-se estreitamente com outros métodos espectroscópicos (ex. ressonância magnética nuclear) e potenciométricos (Cabassis, 1991; Celi et al., 1997). É possível obter determinações quantitativas através do IV-TF com algumas vantagens em relação a outros métodos em virtude do menor tempo de aquisição dos espectros e das quantidades menores de amostras (Davis et al., 1999).

É importante ressaltar que as determinações quantitativas devem ser relativizadas com a introdução de um padrão interno (ex. mistura de uma quantidade exata em mol $\text{CH}_3 \text{L}^{-1}$ para leitura em 2.930 cm^{-1} ou de COOH para leituras em 1.720 cm^{-1}) ou entre amostras quando se compara a relação de absorbâncias (Inbar et al. 1989).

Este trabalho teve como objetivo estudar, através da espectroscopia de IV-TF, a natureza química das frações leves-livres e intra-agregado, obtidas pelo fracionamento físico por densidade, de modo a verificar se tais frações constituem compartimentos distintos da MOS e identificar possíveis alterações em sua estrutura química, decorrentes dos diferentes

tipos de preparo do solo e rotações de culturas, em Latossolos do Cerrado e do Sul do Brasil.

MATERIAL E MÉTODOS

Para este estudo, amostras de solo foram coletadas de um Latossolo Vermelho distroférico (antigo Latossolo Vermelho-Escuro distrófico), localizado no Campo Experimental da Embrapa Trigo, no município de Passo Fundo (RS), e de um Latossolo Vermelho-Amarelo, localizado no Campo Experimental da Embrapa Arroz e Feijão, em Santo Antônio de Goiás (GO). A área da Embrapa Trigo apresenta precipitação anual média de 1.746 mm e temperatura anual média de 19,4°C. A área da Embrapa Arroz e Feijão apresenta uma estação seca pronunciada de março a setembro. A precipitação anual média é de 1.500 mm e a temperatura média anual é de 23°C.

O experimento em blocos ($n = 3$) casualizados com parcelas subdivididas na Embrapa Trigo foi instalado em 1987. Cada parcela (tipo de preparo do solo) continha subparcelas (sistemas de cultivo) dispostas ao acaso. Os dois tipos de preparo do solo foram: (a) plantio direto (PD) e (b) preparo convencional (aração, utilizando arado de discos, seguida de gradagens leves - PC). Cada tipo de preparo continha dois sistemas de cultivo: (a) sucessão trigo/soja (T/S) e (b) rotação trigo/soja e ervilhaca/milho (T/S-E/M). Cada parcela media 360 m^2 ($4 \times 90 \text{ m}$).

Na Embrapa Arroz e Feijão, o experimento de 1995 apresentava duas faixas (plantio direto e plantio convencional), e, em cada faixa, os sistemas de cultivo foram dispostos ao acaso em três repetições. Os tipos de preparo do solo consistiam de: (a) plantio direto (PD) e (b) plantio convencional (aração com arado de aivecas, seguida de duas gradagens leves niveladoras - PC). Cada tipo de preparo do solo continha os seguintes sistemas de cultivo: (a) pousio/arroz e pousio/soja (P/A-P/S) e (b) crotalaria/arroz e milho/soja (Cr/A-Mi/S). Cada parcela media 132 m^2 ($3,3 \times 40,0 \text{ m}$).

Nas áreas estudadas, havia ainda remanescentes da vegetação natural (floresta secundária), adjacentes aos sítios experimentais. São elas: em Passo Fundo, a Floresta Tropical Subperenifólia, e em Santo Antônio de Goiás, a vegetação de Cerrado. As principais características químicas e físicas dos dois solos estudados são apresentadas no quadro 1.

Os solos foram amostrados no Campo Experimental da Embrapa Trigo em dezembro de 1998, logo após a colheita do trigo. No Campo Experimental da Embrapa Arroz e Feijão, a amostragem foi realizada em junho de 1999, durante o pousio, na rotação P/S-P/A, e durante o cultivo de crotalaria, na rotação Cr/A-Mi/S. As amostras de

Quadro 1. Caracterização química e física de amostras superficiais de Latossolo Vermelho distrófico, Passo Fundo (RS) e Latossolo Vermelho-Amarelo, Santo Antônio de Goiás (GO)

Sistema de cultivo ⁽¹⁾	Propriedade química									Granulometria			
	pH H ₂ O	Al ³⁺	H + Al	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	CTC	V	P	Areia		Silte	Argila
										Grossa	Fina		
			cmol _c dm ⁻³			%	mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹					
Latossolo Vermelho-distrófico – Passo Fundo													
Floresta	5,0	0,3	8,5	7,0	2,7	0,3	18,6	53,8	1	10	220	210	560
PD T/S	5,2	0,2	6,4	4,5	1,8	0,8	13,5	52,6	7	10	230	130	630
PD T/S-E/M	5,2	0,3	6,6	3,4	2,1	0,7	12,8	48,4	4	10	230	130	630
PC T/S	5,3	0,2	5,2	3,7	1,5	0,6	11,0	52,7	3	10	230	140	620
PC T/S-E/M	5,6	0,2	5,3	3,4	1,9	0,6	11,1	53,2	3	10	230	140	620
Latossolo Vermelho-Amarelo – Santo Antônio de Goiás													
Cerrado	4,8	1,2	8,8	0,5	0,2	0,1	9,6	8,1	1	180	130	110	580
PD P/A-P/S	5,8	0,0	3,6	1,6	0,9	0,2	6,3	43,2	9	220	180	100	500
PD Cr/A-Mi/S	5,7	0,1	4,1	1,3	0,9	0,2	6,5	37,0	6	210	180	110	500
PC P/A-P/S	6,1	0,0	3,3	2,8	1,1	0,4	7,6	56,1	4	200	170	150	480
PC Cr/A-Mi/S	6,1	0,0	3,1	2,5	1,2	0,4	7,2	56,9	6	190	170	150	490

⁽¹⁾ PD: plantio direto; PC: preparo convencional; P: pousio; T: trigo; S: soja; E: ervilhaca; M: milho; A: arroz; Cr: crotalaria; Mi: milheto. ⁽²⁾ Determinado na camada de 0-5 cm.

solo foram coletadas nos diferentes sistemas de preparo e rotação de culturas, bem como nas áreas remanescentes de vegetação secundária (floresta e cerrado).

Na área experimental de Passo Fundo, em cada subparcela de cada bloco, foi feita uma pequena trincheira e, com o uso de uma colher de pedreiro de tamanho médio, fatias de solo no perfil, na profundidade de 0-5 cm, foram transferidas para sacos plásticos. Igual procedimento de coleta foi executado em Santo Antônio de Goiás, onde as amostras foram obtidas em cada sistema de cultivo (n = 3) em cada faixa. As amostras de solos foram secas a 40°C, moídas e peneiradas a 2 mm para posterior execução das análises. Procedimento similar de coleta foi efetuado nas áreas sob floresta secundária. Entretanto, as trincheiras (n = 3) foram abertas no interior da mata distanciadas em 30 m uma da outra.

As frações leves da matéria orgânica foram obtidas segundo método sugerido por Sohi et al. (2001). Uma massa de 5 g de TFSA foi transferida para tubos de centrifuga de 50 cm³, onde foram adicionados 35 mL de Iodeto de Sódio (NaI), a uma densidade de 1,80 g cm⁻³. Após breve agitação manual, visando permitir que as frações orgânicas não associadas aos componentes minerais do solo atingissem a superfície da suspensão, as amostras foram centrifugadas a 18.000 x g por 15 min para que as partículas minerais do solo permanecessem

no fundo do frasco e, por aspiração, coletou-se a fração leve-livre (FLL) presente na superfície da solução de NaI. A FLL, juntamente com solução de NaI, foi aspirada para um sistema de filtragem a vácuo (Sistema Asséptico Sterifil, 47 mm – Millipore) que continha membranas filtrantes lisas constituídas de ésteres inertes de celulose (Membrana Filtrante MF – Millipore), onde foi separada da solução de NaI.

Em seguida, as frações FLL retidas na membrana foram cuidadosamente lavadas com o auxílio de uma pisseta com água destilada, para retirar o excesso de solução de NaI. Ainda com o auxílio de uma pisseta com água destilada, as frações FLL e água destilada foram transferidas para frascos plásticos e congeladas para posterior liofilização.

Após a remoção da FLL, aplicou-se ultrassom (400 J mL⁻¹) por três minutos com intervalos de um segundo na solução de NaI e solo restante no tubo de centrifuga em banho de gelo, visando minimizar elevação da temperatura na suspensão. Após o tratamento com ultrassom, as amostras foram novamente centrifugadas a 18.000 x g por 15 min, obtendo-se assim a fração leve intra-agregado (FLI).

Os diferentes grupos funcionais das frações leves-livres (FLL) e intra-agregado (FLI) foram identificados pela técnica de espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (IV-TF). Os espectros foram obtidos em triplicata e analisados conforme frequência e intensidade das bandas de absorção correspondentes às vibrações de

estiramento (ν) ou deformação angular (δ), descritas por Colthup et al. (1964), Baes & Bloom (1989), Silverstein (1994), Stevenson (1994) e Canellas (1999). As medidas foram efetuadas utilizando uma massa de 1 mg de cada fração obtida, misturadas a pastilhas de 100 mg de KBr sólido. Os espectros foram obtidos na faixa do espectro correspondente a 600 cm^{-1} a 4.000 cm^{-1} .

Antes da leitura dos espectros da matéria orgânica, foram obtidos espectros do KBr para identificar possíveis alargamentos na região de 3.400 cm^{-1} , decorrentes da contaminação com água. A caracterização das frações leves por infravermelho foi realizada por meio da análise das principais bandas de absorção encontradas.

Com base nos espectros de infravermelho adquiridos, foram determinados índices que possibilitaram a identificação de alterações na matéria orgânica das distintas frações leves, decorrentes do processo de humificação e da influência dos sistemas de manejo. A relação entre a absorvância da banda de absorção em 2.929 cm^{-1} e em 1.050 cm^{-1} foi chamada, neste trabalho, de índice de hidrofobicidade (IH), uma vez que expressa a relação entre grupos apolares (CH_3) e polares ($-\text{OH}$, $\text{C}-\text{O}$). Já a relação entre 1.660 e 2.929 cm^{-1} , denominada índice de condensação (IC), expressa a proporção de grupos conjugados e alifáticos. Os grupamentos $-\text{CH}_3$ em cadeias alquílicas são caracteristicamente hidrofóbicos e recalcitrantes. Assim, quanto maior o IH de uma molécula orgânica, maior deverá ser sua resistência à degradação microbiana. O índice de condensação (IC) foi utilizado para estabelecer uma análise indireta do grau de condensação/humificação da molécula.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os espectros de infravermelho das frações (leve-livre e intra-agregado) apresentaram feição semelhante, o que se deve à influência dominante de resíduos vegetais sobre estas frações (Skjemstad et al., 1986; Golchin et al., 1994a). Contudo, os espectros IV da FLI apresentaram maior sobreposição de bandas de absorção, além de diferenças acentuadas entre os distintos sistemas de preparo do solo.

Na região espectral de 3.700 a 3.000 cm^{-1} , correspondente às vibrações de estiramento (ν) dos grupamentos $-\text{OH}$ e $-\text{NH}$, os espectros da fração leve-livre apresentaram bandas de absorção mais nítidas, permitindo a visualização de funções nitrogenadas. Nos espectros de FLL de amostras de Passo Fundo, a banda de absorção $\text{O}-\text{H}$ (3.320 cm^{-1}) é forte e alargada, consequência da vibração em vários níveis energéticos de grupamentos $-\text{OH}$ em pontes de hidrogênio inter e intramoleculares (Figura 1). Nesta região espectral, os espectros da fração leve intra-agregado em Latossolo de Passo

Fundo sob floresta e PD foram muito semelhantes aos obtidos na fração leve-livre (Figura 2). Entretanto, na FLI de solo sob PC, observou-se uma única banda de absorção alargada e sobreposta, que está deslocada para um nível superior de energia (3.463 cm^{-1}). Tal característica indica uma configuração mais rígida das ligações $\text{O}-\text{H}$ e $\text{N}-\text{H}$, pela formação mais intensa de pontes de hidrogênio inter e intramoleculares, o que possivelmente se deve à maior complexidade estrutural da FLI neste sistema de preparo.

A FLL de Latossolo de Santo Antônio de Goiás apresentou espectro com bandas de absorção $\text{N}-\text{H}$ (3.620 e 3.526 cm^{-1}) e $\text{O}-\text{H}$ (3.446 cm^{-1}) estreitas e com maior energia de vibração, características de ligações livres (Figura 1). Os espectros de FLI de solo sob cerrado e PD, todavia, apresentaram bandas de absorção menos evidentes (Figura 2). Semelhante ao observado em Passo Fundo, as FLI de solo sob aração e gradagem também sofreram alterações na configuração estrutural de $-\text{OH}$.

Os grupamentos alifáticos $-\text{CH}_3$ (2.929 cm^{-1}) e $-\text{CH}_2$ (2.854 cm^{-1}) apresentaram variações pronunciadas de acordo com o tipo de preparo do solo. As bandas de absorção correspondentes às frações leves-livres e intra-agregado de solo sob vegetação natural e PD mostraram-se mais definidas, quando comparadas às amostras de PC em ambas as áreas estudadas.

Todas as frações leves apresentaram banda de absorção $\text{C}=\text{C}$ de aromáticos (1.489 cm^{-1}) pouco pronunciada, característica inerente aos compartimentos lábeis da matéria orgânica. A banda de absorção em 1.647 cm^{-1} , que pode ser atribuída à presença de duplas ligações conjugadas, é mais acentuada na fração leve intra-agregado (Figura 2). O aumento de duplas ligações conjugadas indica maior condensação das moléculas, caracterizando um material mais humificado (Stevenson, 1994).

A região de absorção de estiramentos $\text{C}-\text{O}$ de éster e $\text{O}-\text{H}$ alcoólico ($1.300-1.000\text{ cm}^{-1}$), geralmente atribuída à presença de polissacarídeos na MOS, seria a mais peculiar para um composto orgânico, podendo ser utilizada para comparações no processo de humificação da MOS. A FLI apresentou bandas de absorção $\text{C}-\text{O}$ de menor intensidade do que a FLL em ambas as áreas e em todos os tratamentos estudados. As bandas de absorção de polissacarídeos nas frações leves intra-agregado em preparo convencional apresentaram menor intensidade em relação às bandas de absorção observadas nas FLI dos solos sob vegetação natural e plantio direto, revelando maior alteração destas frações, com perda de polissacarídeos, que pode ser atribuída a um maior grau de humificação.

A região espectral de 900 a 650 cm^{-1} pode expressar o grau de substituição de átomos nas ligações de grupamentos aromáticos (Nakanishi, 1962). Tomando as frações leves de solos sob vegetação natural como referência, as diferenças

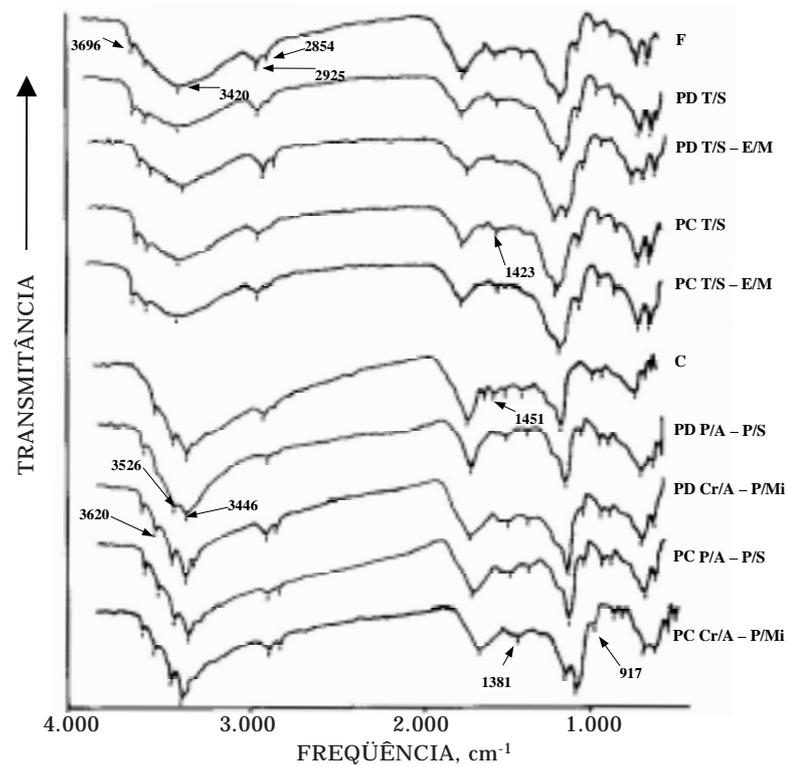


Figura 1. Espectros de infravermelho da fração leve-livre. F: Latossolo sob floresta em Passo Fundo; PD: plantio direto; T: trigo, S: soja; E: ervilhaca; M: milho; PC: preparo convencional; C: Latossolo sob Cerrado em Sto. Antº de Goiás; P: pousio; A: arroz; Cr: crotalária; Mi: milheto.

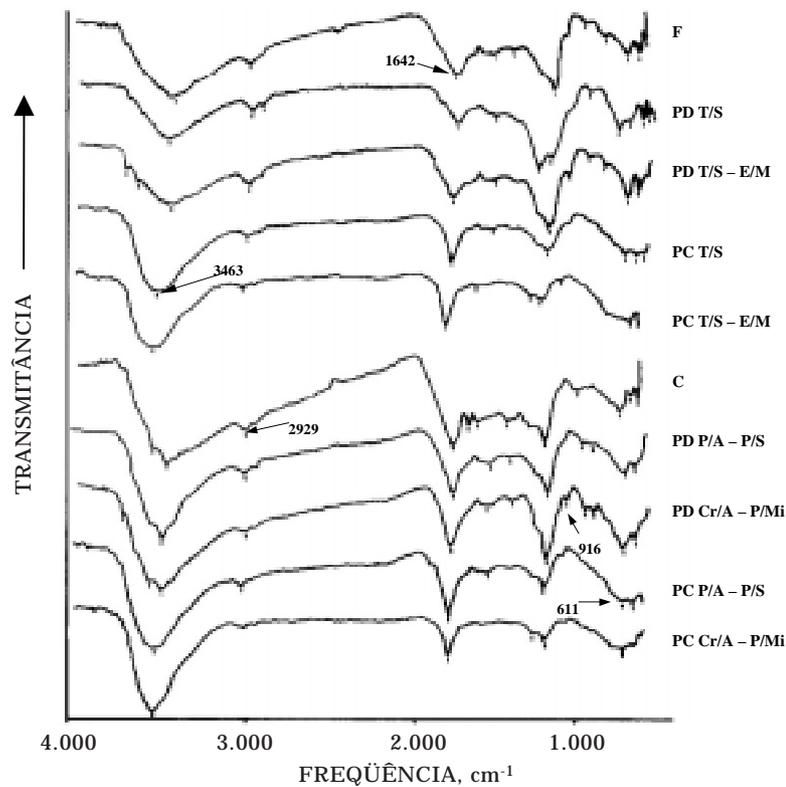


Figura 2. Espectros de infravermelho da fração leve intra-agregado. F: Latossolo sob floresta em Passo Fundo; PD: plantio direto; T: trigo, S: soja; E: ervilhaca; M: milho; PC: preparo convencional; C: Latossolo sob Cerrado em Sto. Antº de Goiás; P: pousio; A: arroz; Cr: crotalária; Mi: milheto.

encontradas nesta região mostram a influência do tipo de preparo do solo sobre a matéria orgânica. Os espectros IV da fração leve-livre, nos solos de Passo Fundo e Santo Antônio de Goiás, apresentaram feição semelhante para todos os tratamentos avaliados (Figura 1). Os grupamentos aromáticos da FLI em solos sob PC, em ambas as áreas estudadas, apresentaram maior grau de substituição do que o observado para as mesmas frações em solo sob vegetação natural e PD (Figura 2), indicando maior transformação desta fração em solos sob preparo convencional.

Os índices de hidrofobicidade e condensação para as frações leves-livres e intra-agregado dos solos de Passo Fundo estão apresentados no quadro 1. Não foram observadas diferenças significativas entre os distintos sistemas de manejo, entretanto a FLI apresentou valores de IH e IC significativamente superiores aos observados para a FLL. Os índices encontrados para as frações leves dos solos de Santo Antônio de Goiás seguiram o mesmo padrão observado em Passo Fundo (Quadro 2). Não foram observadas diferenças significativas entre os

distintos tratamentos, mas os índices das frações leves intra-agregado superaram aqueles das frações leves-livres.

A análise dos índices de hidrofobicidade e condensação das frações leves revela que a FLI apresenta-se mais humificada que a FLL, por mostrar maior proporção de grupamentos recalcitrantes e maior condensação. O aumento da proporção de grupamentos -CH₃ na FLI constitui o resultado da utilização de carboidratos facilmente decomponíveis pelos microrganismos e a preservação seletiva do carbono mais recalcitrante, durante o processo de decomposição da matéria orgânica e de agregação do solo. (Ladd et al., 1993; Golchin et al., 1994a; Golchin et al., 1994b; Zech et al., 1997).

A análise espectroscópica de infravermelho possibilitou a identificação de grandes diferenças estruturais entre as frações leves-livres e intra-agregado. A FLI apresentou espectros com bandas de absorção menos intensas e mais sobrepostas do que a FLL, em virtude da maior alteração em sua estrutura, em decorrência do processo de humificação.

Quadro 2. Índices de hidrofobicidade (IH) e de condensação (IC) para as frações leves-livres(FLL) e intra-agregado (FLI) na camada de 0-5 cm de solo em Passo Fundo⁽¹⁾

Tratamento ⁽²⁾	IH		IC	
	FLL	FLI	FLL	FLI
Mata	0,47 (0,06)	0,63 (0,09)	1,13 (0,02)	1,16 (0,03)
PD T/S	0,38 (0,09)	0,54 (0,05)	1,10 (0,02)	1,17 (0,10)
PD T/S-E/M	0,32 (0,02)	0,49 (0,16)	1,07 (0,09)	1,15 (0,08)
PC T/S	0,38 (0,04)	0,63 (0,23)	1,09 (0,03)	1,18 (0,15)
PC T/S-E/M	0,40 (0,10)	0,67 (0,22)	1,07 (0,03)	1,18 (0,28)
Médias ⁽³⁾	0,39 (0,08)	0,59 (0,16)	1,10 (0,04)	1,17 (0,13)

⁽¹⁾ Valores entre parênteses referem-se ao erro-padrão da média. ⁽²⁾ PD: plantio direto; PC: plantio convencional; T: trigo; S: soja; E: ervilhaca; M: milho. ⁽³⁾ Médias diferem estatisticamente pelo teste t de Student, p < 0,05.

Quadro 3. Índices de hidrofobicidade (IH) e de condensação (IC) para as frações leves (FLL e FLI) na camada de 0-5 cm de solo em Santo Antônio de Goiás⁽¹⁾

Tratamento ⁽²⁾	IH		IC	
	FLL	FLI	FLL	FLI
Mata	0,70 (0,10)	0,88 (0,01)	1,13 (0,01)	1,28 (0,01)
PD T/S	0,61 (0,09)	0,84 (0,07)	1,11 (0,07)	1,54 (0,34)
PD T/S-E/M	0,56 (0,16)	0,79 (0,05)	1,05 (0,05)	1,17 (0,11)
PC T/S	0,52 (0,09)	0,93 (0,02)	1,03 (0,02)	1,61 (0,57)
PC T/S-E/M	0,47 (0,04)	0,72 (0,03)	1,01 (0,03)	1,15 (0,07)
Médias ⁽³⁾	0,57 (0,12)	0,83 (0,15)	1,07 (0,06)	1,35 (0,32)

⁽¹⁾ Valores entre parênteses referem-se ao erro-padrão da média. ⁽²⁾ PD: plantio direto; PC: plantio convencional; T: trigo; S: soja; E: ervilhaca; M: milho. ⁽³⁾ Médias diferem estatisticamente pelo teste t de Student, p < 0,05.

O aumento da condensação e a redução de polisacarídeos seriam conseqüências deste processo. As diferenças na composição elementar destas distintas frações (relação C/N), observadas por Freixo (2000), confirmam os resultados obtidos por infravermelho.

CONCLUSÕES

1. As análises espectroscópicas por infravermelho indicam que as frações leves-livres e intra-agregado constituem dois compartimentos distintos da matéria orgânica do solo.

2. A fração leve intra-agregado apresentou espectros com bandas de absorção mais sobrepostas do que a fração leve-livre, indicando maior transformação de sua estrutura em decorrência do processo de humificação.

3. O tipo de preparo do solo e a rotação de culturas não promoveram alterações na natureza química da fração leve-livre em ambos os Latossolos de Passo Fundo e de Santo Antônio de Goiás.

4. A fração leve intra-agregado sofreu maior alteração estrutural em solos sob preparo convencional.

5. Os índices de hidrofobicidade (IH) e condensação (IC) foram superiores na fração leve intra-agregado, caracterizando sua maior recalcitrância e condensação.

AGRADECIMENTOS

À Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ), pelo auxílio financeiro à pesquisa; ao Dr. Cleber M. Guimarães (Embrapa Arroz e Feijão) e Dr. Henrique P. dos Santos (Embrapa Trigo), por disponibilizarem os experimentos de campo para a coleta de amostras de solos; ao Sr. Eli, técnico do Instituto de Química da UFRRJ, pela confecção dos espectros de infravermelho, e ao professor Fernando Guridi, pelas sugestões na redação deste trabalho.

LITERATURA CITADA

BAES, A.U. & BLOOM, P.R. Diffuse reflectance and transmission Fourier transform infrared (DRIFT) spectroscopy of humic and fulvic acids. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 53:695-700, 1989.

CABANISS, S.E. Carboxylic acid content of a fulvic acid determined by potentiometric and aqueous Fourier-transform infrared spectrometry. *Anal. Chim. Acta*, 255:23-30, 1991.

CANELLAS, L.P. Avaliação de características físico-químicas de ácidos húmicos. Seropédica, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 1999. 164p. (Tese de Doutorado)

CELI, L.; SCHNITZER, M. & NÈGRE, M. Analysis of carboxyl groups in soil humic acids by a wet chemical method, Fourier-transform infrared spectrophotometry, and solution-state carbon-13 nuclear magnetic resonance: a comparative study. *Soil Sci.* 162:189-197.

CHRISTENSEN, B.T. Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates. *Adv. Soil Sci.*, 20:1-90, 1992.

CHRISTENSEN, B.T. Matching measurable soil organic matter fractions with conceptual pools in simulation models of carbon turnover: revision of model structure. In: POWLSON, D.S.; SMITH, P. & SMITH, J.V., eds. Evaluation of soil organic matter models. NATO ASI Series, Volume I, 38, Berlin, Springer-Verlag. p.143-159. 1996.

COLTHUP, N.B.; DALY, L.H. & WIBERLEY, S.E. Introduction to infrared and raman spectroscopy. New York, Academic Press, 1964. 511p.

DAVIS, W.M.; ERICSON, C.L.; JOHNSTON, C.T.; DELFINO, J.J. & PORTER, J.E. Quantitative Fourier-transform infrared spectroscopic investigation of humic substance functional group composition. *Chemosphere*, 38:2913-2928. 1999.

FELLER, C. Organo-mineral interactions in tropical soils – In search of “functional” organic matter pools: the particle-size fractionation approach. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS, 3., Santa Maria, 1999. Anais. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 1999. p.104-124.

FELLER, C. & BEARE, M.H. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. *Geoderma*, 79:69-116, 1997.

FREITAS, P.L.; BLANCANEAX, P.; GAVINELLI, E.; LARRÉ-LARROUY, M.C. & FELLER, C. Nível e natureza do estoque orgânico de Latossolos sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Pesq. Agropec. Bras.*, 35:157-170, 2000.

FREIXO, A.A. Caracterização da matéria orgânica de Latossolos sob diferentes sistemas de cultivo através de fracionamento físico e espectroscopia de infravermelho. Seropédica, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2000. 86p. (Tese de Mestrado)

GOLCHIN, A.; OADES, J.M.; SKJEMSTAD, J.O. & CLARKE, P. Study of free and occluded particulate organic matter in soils by solid state ¹³C CP/MAS NMR spectroscopy and scanning electron microscopy. *Aust. J. Soil Res.*, 32:285-309, 1994a.

GOLCHIN, A.; OADES, J.M.; SKJEMSTAD, J.O. & CLARKE, P. Soil structure and carbon cycling. *Soil Biol. Biochem.*, 32:1043-1068, 1994b.

INBAR, Y.; CHEN, Y. & HADAR, Y. Solid-state carbon-13 nuclear magnetic resonance and infrared spectroscopy of composted organic matter. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 53:1695-1701. 1989.

JOHNSTON, C.T.; DAVIS, W.M.; ERICKSON, C. & DELFINO, J.J. Characterization of humic substances using Fourier transform infrared spectroscopy. In: SENESI, N. & MIANO, T.M., eds., Humic substances in the global environment and implications on human health. New York: Elsevier Scientific Publ. Co., 1994. p.145-152.

- JOHNSTON, C.T. & AOCHI, Y.O. Fourier transform infrared and raman spectroscopy. In: SPARKS, D.L., ed. *Methods of soil analysis. Chemical methods*. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, 1996. p. 269-321. (SSSA Book Series, 5)
- LADD, J.N.; FOSTER, R.C. & SKJEMSTAD, J.O. Soil structure: carbon and nitrogen metabolism. *Geoderma*, 56:401-434, 1993.
- MARTIN-NETO, L.; CRUVINEL, P.E.; MATTOSO, L.H.C. & COLNAGO, L.A. Espectroscopias de infravermelho, ultravioleta-visível e pñix: alguns resultados disponíveis. In: CRESTANA, S.; CRUVINEL, P.E.; MASCARENHAS, S. & BISCEGLI, C.I., eds. *Instrumentação agropecuária: contribuições no limiar do novo século*. São Carlos, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1996. p.51-90.
- NAKANISHI, K. *Infrared absorption spectroscopy*. Tokyo, Nankondo Company, 1962. 233p.
- PARTON, W.J.; SCHIMEL, D.S. & COLE, C.V. Analysis of factors controlling soil organic matter levels in great plains grasslands. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 51:1173-1179, 1987.
- SCHNITZER, M. Characterization of humic constituents by spectroscopy. In: McLAREN, A.D. & SKUJINS, J., eds. *Soil Biochemistry*, V.2, New York: Marcel-Decker. p. 60-95. 1971.
- SILVA, C.A.; ANDERSON, S.J. & VALE, F.R. Carbono, nitrogênio e enxofre em frações granulométricas de dois Latossolos submetidos à calagem e adubação fosfatada. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:593-602, 1999.
- SILVERSTEIN, R.M.; BASSLER, G. & MORRILL, T.C. *Identificação espectrométrica de compostos orgânicos*. Rio de Janeiro, Guanabara-Koogan, 1994. 387p.
- SIX, J., ELLIOTT, E.T. & PAUSTIAN, K. Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. *Soil Biol. Biochem.*, 32:2099-2103, 2000
- SKJEMSTAD, J.O.; DALAL, R.C. & BARRON, P.F. Spectroscopic investigations of cultivation effects on organic matter of vertisols. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 50:354-359, 1986.
- SOHI, S.; MAHIEU, N.; ARAH, J.R.M.; POWLSON, D.S.; MADARI, B. & GAUNT, J.L. A procedure for isolating soil organic matter fractions suitable for modelling. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 65:1121-1128, 2001.
- STEVENSON, F.J. *Humus chemistry: genesis, composition, reactions*. 2.ed. New York, John Wiley & Sons, 1994. 496p.
- THENG, B.K.G.; TATE, KR. & SOLLINS, P. Constituents of organic matter in temperate and tropical soils. In: COLEMAN, D.C.; OADES, J.M. & UEHARA, G., eds. *Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems*. Honolulu, University of Hawaii Press, 1989. p.5-32.
- WANDER, M.M. & TRAINA, S.J. Organic matter fractions from organically and conventionally managed soils: II. Characterization of composition. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 60:1087-1094, 1996.
- ZECH, W.; SENESI, N.; GUGGENBERGER, G.; KAISER, K.; LEHMANN, J.; MIANO, T.M.; MILTNER, A. & SCHROTH, G. Factors controlling humification and mineralization of soil organic matter in the tropics. *Geoderma*, 79:117-161, 1997.

