



Caracterização dos estoques e das frações da matéria orgânica em solos de várzea da Região Sul do Rio Grande do Sul

T. ZSCHORNACK⁽¹⁾, F.F. FERNANDES⁽²⁾, C.N. PILLON⁽³⁾, C.M. ROSA⁽⁴⁾, M. TOMAZI⁽⁵⁾, P.C. CONCEIÇÃO⁽⁶⁾ & C. BAYER⁽⁷⁾

RESUMO – A matéria orgânica do solo (MOS) é composta por vários substratos orgânicos em diferentes estágios de decomposição e através do fracionamento físico ela pode ser agrupada em compartimentos mais homogêneos, facilitando o seu estudo. Com o objetivo de caracterizar os estoques de carbono orgânico total (COT) e o carbono referente às diferentes frações da MOS em solos de várzea, foram coletados três solos de textura distinta em quatro profundidades (0-2,5; 2,5-5; 5-10 e 10-20 cm) sob campo natural. Além da análise do COT, foram realizados o fracionamento físico granulométrico e densimétrico. No fracionamento granulométrico o carbono foi separado em carbono orgânico particulado (COP, > 0,053 mm) e carbono associado aos minerais (CAM, < 0,053 mm), enquanto no fracionamento densimétrico a MOS foi separada em fração leve livre (FLL), leve oclusa (FLO) e Pesada (FP). Os estoques de COT, em média, foram de 14,51 Mg ha⁻¹ (0-2,5 cm); 9,62 Mg ha⁻¹ (2,5-5 cm); 16,74 Mg ha⁻¹ (5-10 cm) e 34,7 Mg ha⁻¹ (10-20 cm). No fracionamento granulométrico o CAM foi sempre superior ao COP, que na camada 0-2,5 cm representou 35% do COT, decrescendo em profundidade. O estoque de C no fracionamento densimétrico, em média, seguiu a ordem FP>FLO>FLL. Esta ordem é coerente, pois na fração FP atuam três mecanismos de proteção (recalcitrância, oclusão e proteção química), enquanto a FLO é mantida no solo pela recalcitrância e pela oclusão e a FLL, apenas pela sua recalcitrância. Os solos de textura argilosa e arenosa demonstraram similaridade entre a magnitude das frações, onde mais de 60% do COT era mantido na FP. No solo com predomínio de silte, a distribuição do COT entre as frações foi mais equitativa, indicando que as três frações da MOS são igualmente importantes.

Introdução

A quantidade de matéria orgânica do solo (MOS) varia em função do balanço entre as adições e perdas de carbono (C) no solo [1]. As adições ou entradas ocorrem principalmente através da deposição de resíduos de origem vegetal, como folhas e raízes [1]. Por outro lado, as perdas ou saídas de C decorrem de reações oxidativas mediadas por microrganismos, pela lixiviação de compostos orgânicos solúveis e pela erosão. Portanto, a MOS é constituída de um conjunto heterogêneo de materiais orgânicos em vários estágios de decomposição.

A manutenção ou acúmulo de matéria orgânica no solo é resultante de três mecanismos básicos de proteção: recalcitrância molecular; proteção física e proteção química ou coloidal [2]. O primeiro mecanismo refere-se à resistência intrínseca da molécula orgânica ao ataque microbiano, enquanto o segundo diz respeito à oclusão da MOS em agregados, tornando-a menos acessível aos microrganismos e suas enzimas e na proteção química, a microbiota tem acesso à MOS, porém encontra dificuldades em removê-la pelo fato desta estar fortemente adsorvida à superfície dos minerais.

Para facilitar o estudo da MOS, em virtude da sua heterogeneidade, a mesma é agrupada em compartimentos mais homogêneos. O fracionamento físico, segundo Christensen [3], é utilizado no estudo da dinâmica da matéria orgânica no solo, através da sua separação em reservatórios funcionais e dinâmicos.

O fracionamento físico densimétrico permite a obtenção de compartimentos relacionados com a localização, mecanismos de proteção e funções no solo [4]. Pela diferença de densidade entre as frações orgânica e mineral do solo, a MOS é separada em fração leve livre (FLL), leve oclusa (FLO) e pesada (FP). A primeira é composta por resíduos parcialmente decompostos e não associados aos minerais, sendo a recalcitrância molecular seu único modo de proteção. FLO é constituída de materiais orgânicos mais decompostos em relação a FLL, porém está mais protegida devido à recalcitrância e pela oclusão no interior dos agregados [4]. Na FP há predominância de materiais mais humificados, e por apresentar as três formas de proteção é considerada a fração mais estável.

O fracionamento físico granulométrico, por sua vez, possibilita separar as frações mais humificadas (<0,053 mm) daquelas menos decompostas (>0,053 mm), comumente conhecidas como matéria orgânica particulada ou carbono orgânico particulado (COP).

Os solos de várzea, formados sob condições variadas de deficiência de drenagem, ocupam aproximadamente 20% da área total do estado do Rio Grande do Sul [5]. Nestes solos predomina o sistema de produção baseado no cultivo do arroz (*Oryza sativa* L.) irrigado e a pecuária extensiva sobre a resteva desse. As pesquisas sobre a MOS estão concentradas em solos bem drenados, enquanto na várzea predominam trabalhos referentes à dinâmica da água, especialmente relacionada com a porosidade e a estabilidade dos agregados e, finalmente, química e fertilidade. Dessa forma, o trabalho teve como objetivos: caracterizar os estoques de carbono orgânico total (COT) e o carbono das frações da MOS e discutir a importância dos possíveis mecanismos de proteção da MOS envolvidos em

três solos de textura distinta sob campo natural.

Palavras-Chave: matéria orgânica; fracionamento físico; solos de várzea.

Material e métodos

A. Solos

Os solos, sob manejo com campo natural composto principalmente por gramíneas e pastejados, foram coletados no segundo semestre de 2006 nas camadas 0-2,5; 2,5-5; 5-10 e 10-20cm nos municípios de Cristal; Camaquã e Jaguarão, localizados na Região Sul do Estado. O clima, segundo Maluf [6], é classificado como temperado.

Os solos foram classificados de acordo com EMBRAPA [7] em: PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico típico (SXE); PLANOSSOLO NÁTRICO Carbonático típico (SNk) e GLEISSOLO MELÂNICO Ta Eutrófico organossólico (GMve). As concentrações de silte e argila no perfil 0-20 foram, respectivamente: 177 e 90 g kg⁻¹ (SXE); 455 e 162 g kg⁻¹ (SNk) e 164 e 705 g kg⁻¹.

Em cada sítio de amostragem, foram realizadas três coletas em pontos distintos nas profundidades acima citadas, visando a formação de amostras compostas. Foram retirados blocos inteiros, sem remover a vegetação, e cada camada foi então extraída e armazenada. Em laboratório, as amostras foram cuidadosamente destorroadas e passadas em peneira 9,52 mm, descartando-se raízes e resíduos grosseiros. Depois de secas ao ar, separou-se também amostras peneiradas a 2 mm (TFSA).

B. Carbono Orgânico Total

Para a determinação do COT, subamostras de solo (TFSA) foram moídas em gral de ágata até passar pela peneira 0,5 mm. A análise do C foi procedida em analisador de combustão seca (Shimadzu-TOC-V CSH) no laboratório de Biogeoquímica Ambiental da Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Os estoques de COT e de C nas diferentes frações foram calculados utilizando-se a espessura e a densidade do solo.

C. Fracionamento Físico

A MOS foi separada por meio do fracionamento granulométrico e densimétrico, ambos realizados nas dependências do laboratório de Biogeoquímica Ambiental da UFRGS.

O fracionamento granulométrico utilizado foi descrito por Cambardella & Elliott [8]. Para tal foram usados 20 gramas de solo (TFSA) e 60 mL de hexametáfosfato de sódio (5 g L⁻¹). O C do material retido na peneira 0,053 mm corresponde ao carbono orgânico particulado, enquanto o carbono associado aos minerais (CAM, <0,053 mm) foi obtido por diferença entre o COT e o COP.

O fracionamento densimétrico foi realizado segundo Golchin *et al.* [9] para as camadas 0-2,5 e 2,5-5 cm, utilizando solução de politungstato de sódio

(PTS) com densidade 2,0 g cm⁻³. Foram pesados 10 gramas de solo (< 9,52 mm), obtidos proporcionalmente das classes maior e menor que 2 mm. A energia de sonicação usada foi de 250 J mL⁻¹, tendo sido determinada previamente como suficiente para a dispersão total do solo. O esquema do fracionamento, adaptado de Conceição [5], pode ser visualizado na Fig. 1. Na ocasião, o C da fração pesada (FP) foi obtido pela diferença entre o COT e a fração leve (FLL + FLO).

Resultados e discussão

A. Estoque de carbono orgânico total

Os estoques de COT entre os solos oscilaram de 47,34 a 124,52 Mg ha⁻¹ na camada 0-20 cm (Tabela 1). O menor conteúdo de COT foi observado no solo SXE, sendo a matriz mineral deste solo dominada pela fração areia. No solo SNk, dominado pela fração silte, o estoque de C foi intermediário (54,85 Mg ha⁻¹) enquanto que no GMve de textura argilosa, o COT atingiu 124,52 Mg ha⁻¹. O arranjo das partículas primárias em um solo arenoso resulta em uma distribuição de poros de maior tamanho, facilitando o acesso da microbiota à MOS [1]. Amado *et al.* [10] também encontraram maior estoque de COT nos solos argilosos do que nos arenosos, atribuindo esse resultado à maior disponibilidade de nutrientes e à proteção física e química dos solos argilosos. Além das diferenças na composição granulométrica, o regime hídrico, no caso o alagamento, de cada solo pode estar influenciando o estoque de COT, principalmente a decomposição.

Observando o estoque dos três solos por camada (Tabela 1), aproximadamente 19% do COT está localizado na camada 0-2,5 cm. Quando somado ao estoque da camada 2,5-5 cm, este percentual chega a 31% em relação ao COT do perfil 0-20 cm. Esses valores se devem à constante deposição de resíduos vegetais e ao intenso desenvolvimento radicular das plantas nessa região e são equivalentes aos encontrados por Amado *et al.* [10] nas áreas sob campo nativo de solos bem drenados.

B. Fracionamento físico granulométrico

No perfil 0-20 cm, os estoques de carbono orgânico particulado (COP) variaram entre 7,32 e 22,87 Mg ha⁻¹ nos solos SXE e GMve, respectivamente (Tabela 2). Efetuando a relação COP/COT, o COP em média representou 17,41% do COT nessa mesma camada.

Em todas as camadas o estoque de COP seguiu a ordem GMve > SNk > SXE. Na camada 0-2,5 cm os estoques oscilaram de 2,26 a 9,76 Mg ha⁻¹, na camada 2,5-5 cm de 1,07 a 3,47 Mg ha⁻¹, de 5-10 cm entre 1,51 e 3,34 Mg ha⁻¹, enquanto na camada 10-20 cm variaram entre 2,48 e 6,3 Mg ha⁻¹ (Tabela 2).

O carbono associado aos minerais (CAM) foi sempre superior ao COP, mas na camada 0-2,5 cm a diferença entre essas frações foi menos pronunciada, por ser uma região de intensa deposição de materiais orgânicos. O COP na camada superficial significou em média 35% do COT. Entretanto, no solo SXE a proporção COP/COT foi menor (26%), provavelmente pela facilidade de acesso da microbiota a esse substrato, por se tratar de um solo arenoso de amplo espaço poroso, ou ainda possíveis

condições ambientais (como temperatura, umidade e oxigênio) favoráveis à decomposição microbiana.

Por se tratar de um compartimento lábil [10], o COP é rapidamente decomposto quando há conversão de áreas sob vegetação natural em lavoura [8]. Como os solos de várzea normalmente apresentam um período saturado por água (alagado), a decomposição desse compartimento pode ser mais lenta nesses solos em virtude dos poros estarem preenchidos com água, interferindo na ação da biomassa decompositora, na sua maioria aeróbia, sobre o substrato orgânico disponível, o que não foi observado neste trabalho já que todos solos estavam sob manejo natural.

C. Fracionamento físico densimétrico

O fracionamento densimétrico foi efetuado apenas nas duas primeiras camadas (0-2,5 e 2,5-5 cm). Os estoques de C na fração leve livre (FLL) e leve oclusa (FLO) nos três solos (Tabela 3) seguiram a mesma ordem observada no fracionamento granulométrico: GMve > SNk > SXe.

Os estoques de C na FLL e na FLO foram superiores na camada 0-2,5 cm em comparação à camada subjacente, e na fração pesada (FP) o estoque de C foi maior na camada 0-2,5 cm em relação a camada 2,5-5 cm somente no solo GMve. No SXe o estoque se manteve igual, enquanto no SNk houve acréscimo de C em profundidade.

A FP apresentou a maior proporção de COT (Tabela 3), seguido da FLO e da FLL em todos os solos e nas duas camadas (exceto na camada 0-2,5 cm do solo SNk). Esse predomínio na FP é coerente pelo fato dos três mecanismos de proteção estarem atuando nessa fração, e está de acordo com os resultados da literatura que indicam ser essa a fração responsável pela manutenção da maior parte do estoque de COT [3,4]. Esta fração teve grande destaque na camada de 2,5-5 cm onde representou 71% do COT, entretanto, na camada 0-2,5 cm, o estoque de COT se mostrou equilibrado entre as frações, indicando maior balanço entre os mecanismos de proteção.

O estoque de C na FLO foi superior ao da FLL em virtude dos mecanismos de recalitrância e oclusão estarem atuando sobre aquela fração. A FLL é estabilizada no solo unicamente pela sua própria recalitrância e por isso o seu estoque depende das adições de resíduos e da velocidade de decomposição.

Nas camadas 0-2,5 e 2,5-5 cm, o C da FLO representou em média 31% e 22% do COT, respectivamente. Na camada superficial do solo SNk, o

estoque de C FLO foi superior ao das outras frações, demonstrando assim a grande importância da recalitrância e da oclusão na proteção do COT.

Mesmo tão distintos, os solos GMve (argiloso) e SXe (arenoso) demonstraram um comportamento muito semelhante, com a maior parte do C na camada 0-5 cm estocada na FP (> 60%). Por outro lado, no SNk a distribuição do C foi mais eqüitativa entre as frações, indicando que as três frações são igualmente importantes. Dessa forma, as perdas de C podem ser mais pronunciadas no SNk se houver a transformação do campo natural em lavoura, pois a FP é menos influenciada pelas mudanças de manejo do solo em comparação às frações leves e grosseiras [1,3].

Agradecimentos

CNPq e Laboratório de Biogeoquímica Ambiental (UFRGS).

Referências

- [1] PILLON, C.N. 2000. *Alterações no conteúdo e qualidade da matéria orgânica do solo induzido por sistemas de culturas em plantio direto*. Tese de Doutorado, Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, UFRGS, Porto Alegre.
- [2] SOLLINS, P.; HOMANN, P. & CALDWELL, B. A. 1996. Stabilization and destabilization of soil organic matter: mechanisms and controls. *Geoderma*, 74: 65-105.
- [3] CHRISTENSEN, B.T. 2001. Physical fractionation of soil and structural and functional complexity in organic matter turnover. *European Journal of Soil Science*, 52: 345-353.
- [4] CONCEIÇÃO, P.C. 2006. *Agregação e proteção física da matéria orgânica em dois solos do sul do Brasil*. Tese de Doutorado, Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, UFRGS, Porto Alegre.
- [5] PINTO, L.F.S.; NETO, J.A.L. & PAULETTO, E.A. 2004. Solos de várzea do sul do Brasil cultivados com arroz irrigado. In: GOMES, A.S. & MAGALHÃES JÚNIOR, A.M. (Eds.). *Arroz irrigado no sul do Brasil* Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. p.75-95.
- [6] MALUF, J.R.T. 2000. Nova classificação climática do estado do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, 8: 141-150.
- [7] EMBRAPA. 2006. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Brasília: Embrapa Produção de Informação. p.306.
- [8] CAMBARDELLA, C.A. & ELLIOTT, E.T. 1992. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Science Society of America Journal*, 56: 777-783.
- [9] GOLCHIN, A.; OADES, J.M.; SKJEMSTAD, J.O. & CLARKE, P. 1994. Study of free and occluded particulate organic matter in soils by solid state ¹³C CP/MAS NMR -spectroscopy and scanning electron microscopy. *Australian Journal of Soil Research*, 32: 285-309.
- [10] AMADO, T.J.C.; BAYER, C.; CONCEIÇÃO, P.C.; SPAGNOLLO, E.; CAMPOS, B.C. & VEIGA, M. 2006. Potential of carbon accumulation in no-till soils with intensive use and cover crops in southern Brazil. *Journal Environmental Quality*, 35: 1599-1607.

Tabela 1. Estoques de carbono orgânico total (COT) nas diferentes camadas dos três solos estudados.

Solo ^{1/}	Camada (cm)				
	0-2,5	2,5-5	5-10	10-20	0-20
	Mg ha ⁻¹				
SXe	8,38	6,17	11,76	21,03	47,34
SNk	9,84	6,84	12,08	26,09	54,85
GMve	25,32	15,85	26,38	56,97	124,52
Média	14,51	9,62	16,74	34,70	75,57

^{††} SXe - PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico típico; SNk - PLANOSSOLO NÁTRICO Carbonático típico e GMve - GLEISSOLO MELÂNICO Ta Eutrófico organossólico.

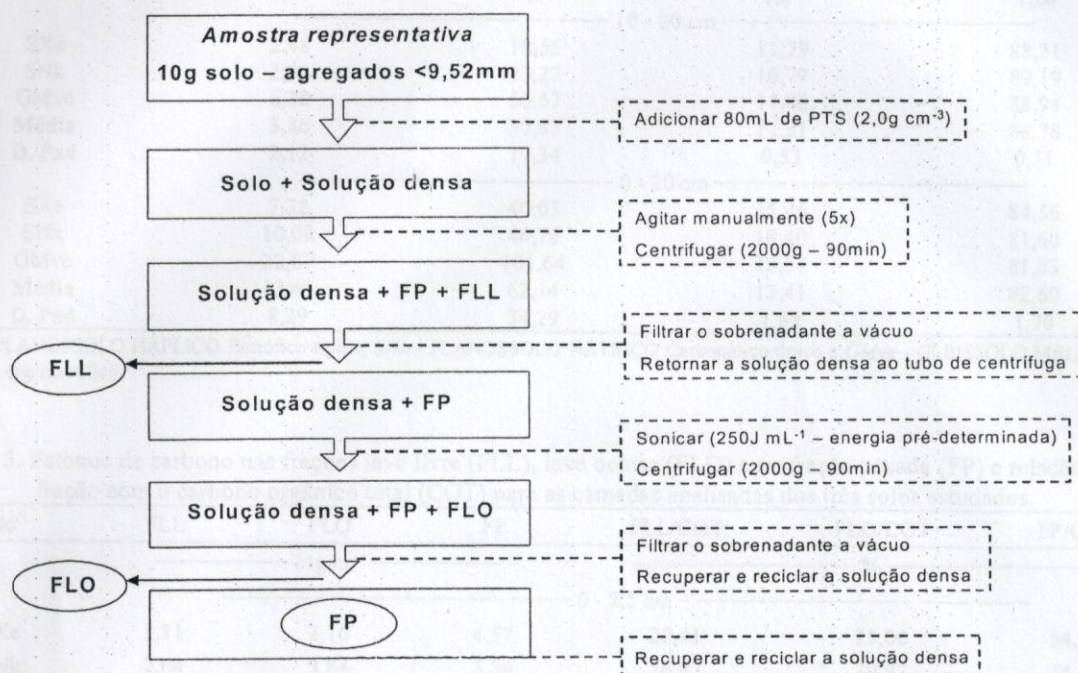


Figura 1. Esquema simplificado do fracionamento físico densimétrico. Adaptado de Conceição [4].

Tabela 2. Estoques de carbono orgânico particulado (COP) e carbono associado aos minerais (CAM) e relação das frações com o carbono orgânico total (COT) nas camadas dos três solos estudados.

Solo ^{††}	COP	CAM	COP/COT		CAM/COT	
			Mg ha ⁻¹		%	
	0 - 2,5 cm					
SXe	2,26	6,12		26,97		73,03
SNk	3,98	5,86		40,45		59,55
GMve	9,76	15,56		38,55		61,45
Média	5,33	9,18		35,32		64,68
D. Pad	3,93	5,53		7,30		7,30
	2,5 - 5 cm					

SXe	1,07	5,11	17,34	82,82
SNk	1,50	5,34	21,93	78,07
GMve	3,47	12,37	21,89	78,04
Média	2,01	7,61	20,39	79,64
D. Pad	1,28	4,13	2,64	2,75
----- 5 - 10 cm -----				
SXe	1,51	10,25	12,84	87,16
SNk	1,80	10,29	14,90	85,18
GMve	3,34	23,04	12,66	87,34
Média	2,22	14,53	13,47	86,56
D. Pad	0,98	7,37	1,24	1,20
----- 10 - 20 cm -----				
SXe	2,48	18,55	11,79	88,21
SNk	2,81	23,27	10,77	89,19
GMve	6,30	50,67	11,06	88,94
Média	3,86	30,83	11,21	88,78
D. Pad	2,12	17,34	0,53	0,51
----- 0 - 20 cm -----				
SXe	7,32	40,03	15,46	84,56
SNk	10,09	44,76	18,40	81,60
GMve	22,87	101,64	18,37	81,63
Média	13,43	62,14	17,41	82,60
D. Pad	8,29	34,29	1,69	1,70

^{††} SXe - PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico típico; SNk - PLANOSSOLO NÁTRICO Carbonático típico e GMve - GLEISSOLO MELÂNICO Ta Eutrófico organossólico.

Tabela 3. Estoque de carbono nas frações leve livre (FLL), leve oclusa (FLO) e na fração pesada (FP) e relação de cada fração com o carbono orgânico total (COT) para as camadas analisadas dos três solos estudados.

Solo ^{††}	Mg ha ⁻¹			%		
	FLL	FLO	FP	FLL/COT	FLO/COT	FP/COT
----- 0 - 2,5 cm -----						
SXe	1,71	2,10	4,57	20,41	25,06	54,53
SNk	2,64	3,84	3,36	26,83	39,02	34,15
GMve	4,44	7,46	13,42	17,54	29,46	53,00
Média	2,93	4,47	7,12	21,59	31,18	47,23
D. Pad	1,39	2,73	5,49	4,76	7,14	11,35
----- 2,5 - 5 cm -----						
SXe	0,54	1,06	4,58	8,75	17,18	74,23
SNk	0,60	1,99	4,25	8,77	29,09	62,13
GMve	0,78	3,11	11,96	4,92	19,62	75,46
Média	0,64	2,05	6,93	7,48	21,96	70,61
D. Pad	0,12	1,03	4,36	2,22	6,29	7,36
----- 0 - 5 cm -----						
SXe	2,25	3,16	9,15	15,46	21,72	62,89
SNk	3,24	5,83	7,61	19,42	34,95	45,62
GMve	5,22	10,57	25,38	12,68	25,67	61,65
Média	3,57	6,52	14,05	15,86	27,45	56,72
D. Pad	1,51	3,75	9,85	3,39	6,79	9,63

^{††} SXe - PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico típico; SNk - PLANOSSOLO NÁTRICO Carbonático típico e GMve - GLEISSOLO MELÂNICO Ta Eutrófico organossólico.