



Revista Brasileira de Ciência do Solo

ISSN: 0100-0683

revista@sbccs.org.br

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
Brasil

Machado Vezzani, Fabiane; Mielińczuk, João

Agregação e estoque de carbono em argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola

Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 35, núm. 1, enero-febrero, 2011, pp. 213-223

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo

Viçosa, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180219142020>

- ▶ Como citar este artigo
- ▶ Número completo
- ▶ Mais artigos
- ▶ Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

3.2 - Manejo e conservação do solo e da água

AGREGAÇÃO E ESTOQUE DE CARBONO EM ARGISSOLO SUBMETIDO A DIFERENTES PRÁTICAS DE MANEJO AGRÍCOLA⁽¹⁾

Fabiane Machado Vezzani⁽²⁾ & João Mielniczuk⁽³⁾

RESUMO

A estrutura física é uma propriedade essencial para que o solo cumpra adequadamente suas funções e tenha qualidade. Com o objetivo de avaliar a contribuição de práticas de manejo na recuperação da agregação de um solo fisicamente degradado, estudou-se a distribuição de agregados estáveis em água e partículas simples em classes de diâmetro (9,51–4,76; 4,76–2,00; 2,00–0,25; 0,25–0,053; < 0,053 mm) e o estoque de C na camada superficial de 0–7,5 cm de um Argissolo Vermelho distrófico típico da Depressão Central do Rio Grande do Sul sob sistemas de manejo. Em parcelas experimentais com 17 anos, avaliaram-se os sistemas: solo mantido sem plantas e sem revolvimento (Descoberto); plantio direto de *Lablab purpureus* e milho (*Zea mays*) (Lablab/m); plantio direto de *Cajanus cajan* e milho (Guandu/m); e pastagem perene de *Digitaria decumbens* (Pangola). Em parcelas experimentais com 15 anos, avaliaram-se os sistemas: preparo convencional e plantio direto de *Avena strigosa* e milho (pc a/m e pd a/m, respectivamente) e *Avena strigosa* + *Vicia sativa* e milho + *Vigna unguiculata* (pc av/mc e pd av/mc, respectivamente). Avaliaram-se, também, área de lavoura de grãos em preparo convencional conduzida por 30 anos (Lavoura) e área de campo nativo (CN), representando a condição degradada e o ecossistema nativo deste solo, respectivamente. As avaliações foram realizadas em amostras de solo indeformadas coletadas em duas épocas (setembro de 1999 e setembro de 2000), compondo seis repetições por sistema de manejo. Os dados foram analisados por meio da análise de variância, e o teste de Tukey (5 %) foi utilizado para verificar as diferenças entre os sistemas de manejo. O CN apresentou 76,4 % de solo agregado, distribuídos em 63,8 % de macroagregados e 23,6 % de partículas simples, com estoque de C de 20,0 Mg ha⁻¹ na profundidade de 0–7,5 cm. O uso agrícola com revolvimento intenso do solo e baixa adição de resíduos (sistema Lavoura) reduziu a proporção de solo agregado para 49,9 % e aumentou a de partículas simples para 50,1 %. O estoque de C reduziu para 11,8 Mg ha⁻¹ na profundidade de 0–7,5 cm. A

⁽¹⁾ Parte da Tese do primeiro autor. Recebido para publicação em março de 2010 e aprovado em dezembro de 2010.

⁽²⁾ Professora Adjunta do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Paraná – UFPR. Rua dos Funcionários 1540, CEP 80035-050 Curitiba (PR). E-mail: vezzani@ufpr.br

⁽³⁾ Professor Titular Colaborador do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Av. Bento Gonçalves 7712, CEP 91540-000 Porto Alegre (RS). Bolsista do CNPq. E-mail: joao.mielniczuk@ufrgs.br

partir dessa condição, o sistema sem revolvimento de solo, com maior diversidade de espécies de plantas e grande adição de resíduos (pd av/mc) elevou, em 15 anos, a proporção de solo agregado para 70,7 %, e a dos macroagregados, para 53,5 %. A pastagem perene (Pangola) elevou a proporção de solo agregado para 74,1 % e a dos macroagregados para 61,8 %, igualando-se ao CN. Os sistemas pd av/mc, Guandu/m e Lablab/m recuperaram os estoques de C no nível do CN. No entanto, a Pangola, que apresentou os maiores índices de agregação do solo, teve o estoque de C inferior aos desses sistemas, enfatizando a ação positiva do sistema radicular denso na recuperação da agregação do solo.

Termos de indexação: macroagregados, partículas simples, matéria orgânica, sistemas de culturas, qualidade do solo.

SUMMARY: SOIL AGGREGATION AND CARBON STOCK OF A PALEUDULT UNDER DIFFERENT AGRICULTURAL MANAGAMENTS

*Soil functions and quality are closely linked to soil structure. The effect of management practices on the recovery of the aggregation of a physically degraded soil was studied based on the distribution of water-stable aggregates and single particles (diameter classes 9.51–4.76, 4.76–2.00, 2.00–0.25, 0.25–0.053, < 0.053 mm) and carbon stock (C) in the surface layer (0–7.5 cm) of a Paleudult in the Central Depression region of the state of Rio Grande do Sul, Brazil, under different management systems. The following systems were evaluated in experimental plots after 17 years: soil without plants and without tillage (fallow); no-till Lablab purpureus and maize (*Zea mays*) (Lablab/m); no-till Cajanus cajan (pea/m) and maize; perennial pasture of Digitaria decumbens (Pangola grass). The following systems were evaluated after 15 years: conventional tillage and no-till *Avena strigosa* and maize (CT a/m and NT a/m, respectively) *Avena strigosa* + *Vicia sativa* and maize + *Vigna unguiculata* (CTav/mu and NTav/mu, respectively). A conventionally tilled area was also evaluated after 30 years of grain cultivation (crop) and native grassland (NGr), representing the degraded state and the native ecosystem of this soil, respectively. Undisturbed soil samples collected in two seasons (September 1999 to September 2000) were evaluated in six replications per management system. Data were analyzed by ANOVA and Tukey's test (5 %) to detect differences between management systems. In the NGr, 76.4 % of the soil aggregates consisted of 63.8 % macroaggregates and of 23.6 % of single particles, and a C stock of 20.0 Mg ha⁻¹. The agricultural use with intense soil tillage and low residue application (crop) reduced the proportion of soil aggregates to 49.9 % and raised single particles to 50.1 %, while the C stock decreased to 11.8 Mg ha⁻¹. From this condition, 15 years of the untilled system with greater diversity of plant species and high residue application (NT av/mc) raised the proportion of soil aggregates to 70.7 % and of macroaggregates to 53.5 %. Perennial pasture (Pangola) increased the proportion of soil aggregates to 74.1 % and of macroaggregates to 61.8 %, equaling NGr. The systems NT av/mc, pea/m and Lablab/m recovered C stocks to the level of NGr. Although Pangola had the highest soil aggregation rates, the C stock was lower than in the said systems, emphasizing the positive action of a dense root system in the recovery of soil aggregation.*

Index terms: macroaggregates, single particles, organic matter, crop systems, soil quality.

INTRODUÇÃO

O termo estrutura do solo refere-se ao tamanho, à forma e ao arranjo dos sólidos e vazios, à continuidade de poros e vazios, à sua capacidade de reter e transmitir fluidos e substâncias orgânicas e inorgânicas, bem como à habilidade de suportar crescimento e desenvolvimento vigoroso de raízes (Bronick & Lal, 2005). É, portanto, uma propriedade fundamental para que o solo tenha capacidade de cumprir suas funções e garantir sua qualidade (Doran & Parkin, 1994).

A formação dos agregados, que são unidades básicas da construção da estrutura do solo, é o resultado da interação entre minerais, cátions polivalentes, matéria orgânica, microrganismos, raízes das plantas vivas e fragmentos de plantas e de microrganismos (Edwards & Bremner, 1967; Tisdall & Oades, 1982; Miller & Jastrow, 1990; Golchin et al., 1998; Schjonning et al., 2007) numa combinação de dois processos. Em um deles, ocorre a formação de uma hierarquia de estruturas. Agregados < 0,25 mm (microagregados) são formados pela repetida interação de moléculas

orgânicas, cátions polivalentes e partículas minerais da fração argila (Edwards & Bremner, 1967), principalmente caulinita e óxidos de Fe, nos solos oxídicos. Agregados $>0,25$ mm (macroagregados) são formados pela união mecânica dos microagregados durante o crescimento das raízes de plantas vivas e hifas de fungos rizosféricos (Tisdall & Oades, 1982; Miller & Jastrow, 1990; Tisdall, 1994). Em outro processo, fragmentos de plantas em decomposição e colônias de bactérias formam macroagregados por meio da interação dos polissacarídeos extracelulares, produzidos ao seu redor, com microagregados e partículas simples. Esses macroagregados rompem-se em microagregados, quando a atividade microbiana ao redor dos fragmentos de plantas e colônias de bactérias é reduzida pela diminuição da disponibilidade de C orgânico para a sua atividade (Golchin et al., 1998).

Portanto, além das características intrínsecas do solo (textura e mineralogia), as práticas de manejo agrícola interferem diretamente na formação dos agregados do solo, por influenciarem a dinâmica da matéria orgânica (Zanatta et al., 2007), a atividade dos microrganismos (Vargas & Scholles, 2000) e o desenvolvimento das raízes das plantas (Li et al., 2006).

Sob condições nativas, o solo organiza-se ao longo do tempo em uma estrutura bem definida pela sua composição granulométrica, química e atuação dos agentes biológicos, subordinados às condições ambientais em que o solo está inserido. A conversão da condição natural para agricultura convencional impõe mudanças drásticas nessa estabilidade, refletindo-se na perda da matéria orgânica e dos agregados mais complexos, representados pelos macroagregados estáveis em água. Contudo, a adoção de práticas conservacionistas baseadas no mínimo revolvimento, no correto manejo de resíduos e na inclusão de gramíneas perenes na rotação de culturas pode prevenir a degradação da matéria orgânica (Bayer et al., 2006) e manter ou recuperar a estrutura do solo (Haynes & Beare, 1996).

Neste trabalho, buscou-se estudar a contribuição de práticas de manejo para recuperar a agregação de um solo de textura franco-argiloarenosa, degradado pelo uso agrícola intensivo sem práticas conservacionistas. O estudo foi feito por meio da análise da proporção de agregados e partículas simples em classes de diâmetro e do estoque de C do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área experimental

A área experimental está localizada na Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), na região fisiográfica da Depressão Central do Estado, nas coordenadas

geográficas $30^{\circ} 50' 52''$ sul e $51^{\circ} 38' 08''$ oeste e altitude média de 46 m (Weber & Mieliaczuk, 2009).

O solo é classificado como Argissolo Vermelho distrófico típico (Embrapa, 2006), com 30,0 dag kg⁻¹ de areia grossa e média (2,0 a 0,2 mm), 23,7 dag kg⁻¹ de areia fina (0,2 a 0,06 mm), 21,1 dag kg⁻¹ de silte e 25,3 dag kg⁻¹ de argila, na profundidade de 0 a 10 cm (Silva, 1993), textura franco-argiloarenosa, sendo a caulinita (720 g kg^{-1}) e os óxidos de Fe (109 g kg^{-1} Fe_2O_3) os minerais dominantes na fração argila (Bayer et al., 2001).

Delineamento experimental e tratamentos

Os tratamentos, que correspondem aos sistemas de manejo estudados, fazem parte de dois experimentos de longa duração. Um com início em 1983 e outro com início em 1985, ambos conduzidos até a data da amostragem desta pesquisa, perfazendo 17 e 15 anos, respectivamente. A área de ambos, originalmente até 1969, era Campo Nativo. No período de 1969 a 1983, foram cultivadas as culturas de girassol (*Helianthus annuus*) e colza (*Brassica napus*) com preparo de solo por enxada rotativa.

Os sistemas de manejo do experimento instalado em 1983 constituem culturas em cultivo estreme ou em consórcio, em plantio direto, sem aplicação de nitrogênio, no delineamento experimental de blocos ao acaso com três repetições. Os sistemas de manejo estudados foram: cultivo estreme de pangola (*Digitaria decumbens*) (Pangola), cultivo em consórcio de guandu (*Cajanus cajan*) e milho (*Zea mays*) (Guandu/m), cultivo em consórcio de lablab (*Lablab purpureus*) e milho (Lablab/m) e o sistema de manejo mantido sem plantas e sem revolvimento de solo (Descoberto) (Quadro 1).

Os sistemas de manejo do experimento instalado em 1985 constituem combinações de dois tipos de preparo do solo e dois sistemas de culturas, todos sem aplicação de N, no delineamento experimental de blocos ao acaso com três repetições. Os sistemas de manejo estudados foram: preparo convencional dos cultivos estremos de aveia (*Avena strigosa*) no inverno e milho no verão (pc a/m); preparo convencional dos consórcios de aveia e ervilhaca (*Vicia sativa*) no inverno e de milho e caupi (*Vigna unguiculata*) no verão (pc av/mc); plantio direto dos cultivos estremos de aveia no inverno e milho no verão (pd a/m); e plantio direto dos consórcios de aveia e ervilhaca (*Vicia sativa*) no inverno e de milho e caupi (*Vigna unguiculata*) no verão (pd av/mc) (Quadro 1).

Ambos os experimentos foram conduzidos seguindo as especificações técnicas para cada cultura quanto a época, densidade de semeadura, adubação (P e K), calagem e irrigação nos períodos de deficiência hídrica.

Em adição às parcelas experimentais, foi amostrada uma área adjacente, utilizada com cereais para avaliação de melhoramento genético, com intenso revolvimento do solo com aração e gradagens duas

Quadro 1. Caracterização dos sistemas de manejo (tratamentos) estudados

Denominação do sistema de manejo (Tratamento) ⁽¹⁾	Tipo de cultura		Preparo do solo	Tempo de experimento no ano 2000	C adicionado pelas plantas
	Inverno	Verão			
Campo Nativo	campos mistos com pastejo moderado		sem	indefinido	ND
Lavoura	trigo e aveia ⁽²⁾	milho e girassol ⁽²⁾	lavração e gradagem ⁽⁴⁾	30	ND
Descoberto	sem ⁽³⁾	sem	sem	17	0,7 ⁽⁸⁾
pc a/m	aveia	milho	convencional ⁽⁵⁾	15	4,23 ⁽⁷⁾
pc av/mc	aveia e vica	milho e caupi	convencional	15	7,52 ⁽⁷⁾
pd a/m	aveia	milho	plantio direto ⁽⁶⁾	15	3,92 ⁽⁷⁾
pd av/mc	aveia e vica	milho e caupi	plantio direto	15	6,90 ⁽⁷⁾
Lablab/m	lablab	milho e lablab	plantio direto	17	6,1 ⁽⁸⁾
Guandu/m	guandu	milho e guandu	plantio direto	17	8,9 ⁽⁸⁾
Pangola	pangola	pangola	sem	17	5,4 ⁽⁸⁾

⁽¹⁾ pc: preparo convencional; pd: plantio direto; a: aveia; m: milho; v: vica; c: caupi. ⁽¹⁾ Em anos alternados. ⁽³⁾ Parcelas mantidas sem plantas por preparo de solo até o ano de 1988, pela aplicação de herbicidas. ⁽⁴⁾ Sem revolvimento do solo nos últimos cinco anos anteriores à coleta das amostras. ⁽⁵⁾ Uma aração e duas gradagens antes da semeadura da cultura de verão e plantio direto da cultura de inverno após uso de rolo-faca sobre a cultura de verão. ⁽⁶⁾ Plantio direto após uso de rolo-faca sobre a cultura anterior. ⁽⁷⁾ Lovato et al. (2004). Dados já consideram o carbono adicionado pelas raízes. ⁽⁸⁾ Burle et al. (1997). Foram acrescidos 30 % aos dados de Burle et al. (1997), referentes às raízes. ND: não determinado.

vezes ao ano, de 1969 até 1995. A partir de 1995, foram introduzidos períodos de pousio das culturas comerciais por três anos, em alternância com preparos convencionais de solo e plantio direto. Essa área foi denominada de Lavoura e tomada como referência do estado máximo de degradação desse solo (Quadro 1).

Como referência da condição original, amostrou-se também o campo nativo em três locais adjacentes e de mesma cota das áreas experimentais e da Lavoura (Quadro 1). No campo nativo, a cobertura vegetal predominante é de Campos Mistos, que possuem cobertura vegetal ao redor de 60 %, constituída por várias espécies de gramíneas, com dominância de *Paspalum notatum* e razoável ocorrência de leguminosas de produção estival dos gêneros *Desmodium*, *Macroptilium* e *Stylosanthes* (Paim, 2003). A área estava bastante infestada por capim-barba-de-bode (*Aristida pallens*) e com moderado pastejo animal.

Amostragem de solo e preparo das amostras

A coleta de amostras foi realizada em duas épocas: setembro de 1999 e setembro de 2000, com o objetivo de aumentar a representatividade dos dados. Portanto, em função das três repetições e dos dois anos de coleta, cada tratamento teve seis repetições.

Em cada repetição (parcela experimental) foi aberta uma trincheira, com área aproximada de 0,2 m² e profundidade de 10 cm, e uma amostra indeformada de solo, na profundidade de 0–7,5 cm, foi coletada com auxílio de uma pá de corte.

As amostras foram destoroadas levemente com os dedos, respeitando-se os pontos de fraqueza da

massa de solo, a fim de obter agregados inferiores a 9,51 mm de diâmetro, utilizando, para isso, peneira com esse tamanho de abertura de malha. Após secas ao ar por 72 h, foram armazenadas em recipientes plásticos.

Distribuição dos agregados e partículas simples em classes de diâmetro

A partir das amostras de agregados inferiores a 9,51 mm secas ao ar, a determinação da distribuição dos agregados em classes de diâmetro consistiu em três etapas: peneiramento úmido, seguido de peneiramento seco dos agregados de cada classe e separação das partículas simples em cada classe.

O peneiramento úmido seguiu o método descrito em Carpenedo & Mieliaczuk (1990), utilizando, aproximadamente, 50 g de agregados secos ao ar e, após, umedecidos por capilaridade em 16 h, em um conjunto de peneiras de 4,76; 2,00; 0,25; e 0,053 mm de diâmetro de malha. Os agregados e partículas de tamanho menor que 0,053 mm, que ficaram dispersos na água do recipiente de peneiramento, foram obtidos por floculação com alumínio de K a 5 %.

Após o peneiramento úmido, os agregados foram secos a 105 °C e obteve-se sua massa. A partir desses agregados, realizou-se o peneiramento seco com o objetivo de separar os agregados menores que a respectiva classe que ficaram retidos na borda das peneiras ou se desprenderam dos agregados maiores durante seu manuseio. O processo consistiu em passar, agitando manualmente, os agregados secos das classes 9,51–4,76, 4,76–2,00 e 2,00–0,25 mm, obtidos no peneiramento úmido, num conjunto de

peneiras com malhas de 4,76, 2,00 e 0,25 mm de diâmetro, provido de fundo coletor. Os agregados menores que 0,25 mm retidos no coletor foram incorporados à classe 0,25–0,053 mm.

A separação das partículas simples teve a finalidade de obter a massa de solo que o sistema foi capaz de agregar. Para isso, considerou-se *partícula simples* toda aquela partícula de mineral quartzo ou concreções de minerais que não estava associada, formando agregados. O processo de separação foi distinto para cada classe. Com auxílio de lupa com aumento de duas (classe 9,51–4,76 mm), 10 (classe 4,76–2,00 mm) e 20 vezes (classe 2,00–0,25 mm) e manuseio das amostras com instrumento pontiagudo, separaram-se os agregados e as partículas simples, obtendo-se a massa respectiva. Para a classe 0,25–0,053 mm, uma porção da amostra foi colocada sobre papel milimetrado e, com auxílio de lupa com aumento de 63 vezes, as frequências de agregados e de partículas simples foram contadas num campo de 2 mm², e o peso foi obtido considerando densidade igual para ambos. Para a classe < 0,053 mm, considerou-se que partículas de silte (> 0,002 mm) estariam isoladas, caracterizando as partículas simples, enquanto as partículas de argila (< 0,002 mm) estariam associadas, formando agregados. A amostra foi dispersa com NaOH 1 mol L⁻¹ para obtenção do peso da fração silte.

Determinação do estoque de carbono

O C total no solo foi determinado pelo método Walkley-Black, descrito em Tedesco et al. (1995) e expresso em massa equivalente, a fim de corrigir diferenças entre os tratamentos referentes à compactação e à densidade do solo (Diekow et al., 2005). A massa de solo de cada tratamento foi ajustada para a massa de solo do Campo Nativo, utilizando a

densidade de 1,50 Mg m⁻³ determinada em 1998 por Lovato et al. (2004).

Análises estatísticas

A análise de variância foi utilizada para avaliar a ocorrência de diferença significativa entre os sistemas de manejo quanto às percentagens de agregados e partículas simples nas classes de diâmetro e ao estoque de C. O teste de Tukey foi utilizado para avaliar as diferenças entre as médias em um nível de significância de 5 %.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Aggregados e estoque de C no solo sob campo nativo e lavoura

O ecossistema nativo da área em que se encontra o estudo era predominantemente coberto por vegetação composta por várias espécies de gramíneas e frequência moderada de leguminosas estivais adaptadas ao ambiente (Paim, 2003). O solo na sua condição original (Campo Nativo) apresentou em torno de 76,4 % de solo agregado e 23,6 % de partículas simples, distribuídos nas diferentes classes de diâmetro (Quadros 2 e 3). Do total do solo, 63,8 % foi composto por macroagregados maiores que 0,25 mm. Essa boa estrutura do sistema Campo Nativo é o resultado da longa e contínua atuação do sistema radicular das gramíneas (Bradfield, 1937; Jastrow et al., 1998; Silva & Mielniczuk, 1998; Blanchart et al., 2004) e do adequado estoque de C (20 Mg ha⁻¹ na camada 0–7,5 cm, Figura 1).

A maior presença de partículas simples ocorreu na classe > 0,25 mm, o que se deve às frações granulométricas < 0,25 mm, que, normalmente,

Quadro 2. Proporção de agregados nas classes de diâmetro do sistema Campo Nativo como condição original da área experimental, sistema Lavoura como condição inicial degradada e sistemas de manejo adotados por 15 e 17 anos

Sistema de manejo ⁽¹⁾	Classe de diâmetro de agregados (mm) ⁽²⁾					Soma
	9,51–4,76	4,76–2,00	2,00–0,25	0,25–0,053	< 0,053	
%						
Campo Nativo	36,8 a	14,9 a	12,1 b	7,4 c	5,2 b	76,4 a
Lavoura	5,6 d	5,1 d	12,1 b	14,2 a	12,9 a	49,9 e
Descoberto	9,5 cd	6,7 cd	15,9 ab	13,6 ab	10,1 ab	55,8 de
pc a/m	9,2 cd	7,8 cd	19,6 a	11,9 abc	10,4 ab	58,8 d
pc av/mc	14,7 c	8,1 cd	15,9 ab	13,7 ab	10,3 ab	62,6 cd
pd a/m	28,8 ab	9,3 bed	12,6 b	9,7 abc	7,8 ab	68,2 bc
pd av/mc	29,0 ab	11,1 abc	13,4 b	9,7 abc	7,5 ab	70,7 ab
Lablab/m	23,4 b	10,6 abc	16,0 ab	9,1 abc	7,7 ab	66,7 bc
Guandu/m	23,8 b	14,1 a	15,3 ab	8,3 bc	8,7 ab	70,2 ab
Pangola	35,9 a	13,2 ab	12,7 b	7,0 c	5,3 b	74,1 ab
CV (%)	19,7	24,0	20,0	27,2	36,1	6,0

⁽¹⁾ pc: preparo convencional; pd: plantio direto; a: aveia; m: milho; v: vica; c: caupi. ⁽²⁾ Letras comparam sistemas de manejo pelo teste de Tukey a 5 %.

Quadro 3. Proporção de partículas simples do solo nas classes de diâmetro do sistema Campo Nativo como condição original da área experimental, sistema Lavoura como condição inicial degradada e sistemas de manejo adotados por 15 e 17 anos

Sistema de manejo ⁽¹⁾	Classe de diâmetro de partículas simples (mm) ⁽²⁾					Soma
	9,51–4,76	4,76–2,00	2,00–0,25	0,25–0,053	< 0,053	
			%			
Campo Nativo	0,2 a	1,2 a	14,6 d	5,7 d	1,9 a	23,6 e
Lavoura	0,0 a	1,3 a	33,5 a	11,9 a	3,6 a	50,1 a
Descoberto	0,1 a	1,5 a	28,3 ab	10,5 abc	3,9 a	44,2 ab
pc a/m	0,1 a	2,0 a	22,8 bc	11,3 ab	5,0 a	41,2 b
pc av/mc	0,0 a	2,3 a	20,9 cd	11,4 ab	2,8 a	37,4 bc
pd a/m	0,2 a	1,8 a	17,5 cd	9,5 abcd	2,9 a	31,8 cd
pd av/mc	0,1 a	1,8 a	17,1 cd	7,4 bcd	3,0 a	29,3 de
Lablab/m	0,0 a	1,3 a	21,4 c	8,2 abcd	2,4 a	33,3 cd
Guandu/m	0,1 a	1,6 a	20,0 cd	6,1 d	2,1 a	29,8 de
Pangola	0,1 a	1,3 a	16,6 cd	6,3 cd	1,6 a	25,9 de
CV (%)	250,3	50,0	16,0	25,0	88,5	11,4

⁽¹⁾ pc: preparo convencional; pd: plantio direto; a: aveia; m: milho; v: vica; c: caupi. ⁽²⁾ Letras comparam sistemas de manejo pelo teste de Tukey a 5 %.

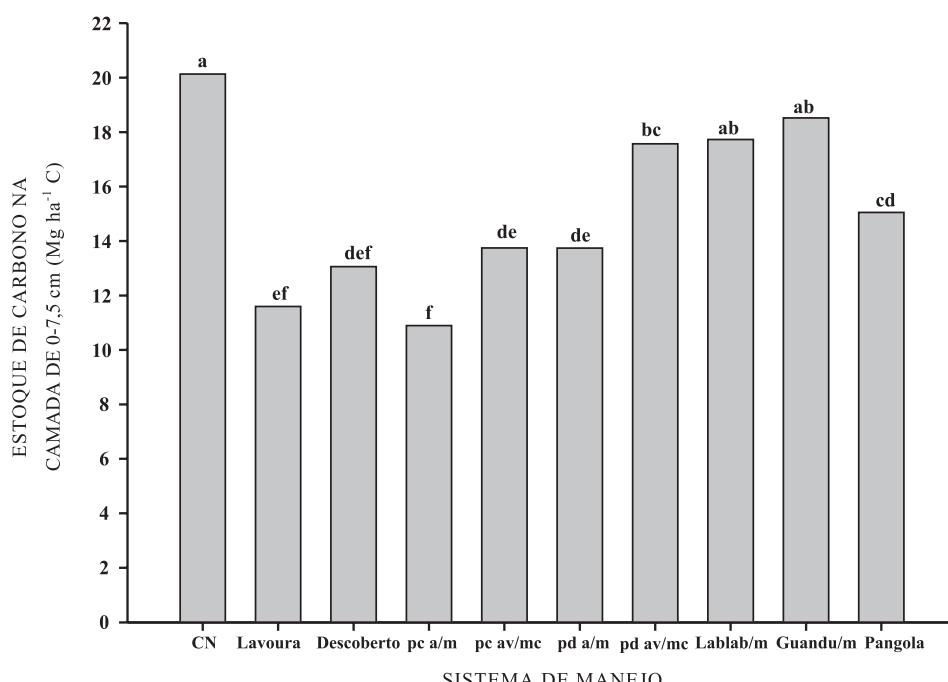


Figura 1. Estoques de C na camada de solo de 0–7,5 cm sob sistema Campo Nativo como condição original da área experimental, sistema Lavoura como condição inicial degradada e sistemas de manejo adotados por 15 e 17 anos. Letras comparam sistemas de manejo pelo teste de Tukey a 5 %. Coeficiente de variação: 8,7 %. CN: Campo Nativo; pc: preparo convencional; pd: plantio direto; a: aveia; m: milho; v: vica; c: caupi.

participam da formação dos macroagregados ($> 0,25$ mm) (Tisdall & Oades, 1982), não ficando livres na massa do solo. No caso deste estudo, a grande presença da fração areia no solo (53,7 % – contra apenas 21,1 % de silte e 25,3 % de argila) tem forte influência nesse resultado.

Quando comparado ao Campo Nativo, o sistema Lavoura, com 30 anos de intenso revolvimento do solo e baixa adição de C por meio das plantas, reduziu a proporção de solo agregado para 49,9 %, e a dos agregados com diâmetro $> 0,25$ mm, para 22,8 % (Quadro 2), ao passo que as partículas simples aumentaram para

50,1 % (Quadro 3). Da mesma forma como no Campo Nativo, a maior presença de partículas simples no sistema Lavoura ocorreu na classe > 0,25 mm.

A redução drástica da macroagregação (> 0,25 mm) no sistema Lavoura, possivelmente, deveu-se à quebra mecânica dos agregados e à redução da matéria orgânica em decorrência do intenso revolvimento de solo (Chevallier et al., 2004; Bhattacharyya et al., 2009), que nesse sistema é duas vezes ao ano, e da ausência da atuação do sistema radicular de gramíneas perenes (Bradfield, 1937; Tisdall & Oades, 1982; Jastrow et al., 1998; Blanchart et al., 2004). O manejo inadequado do sistema Lavoura alterou, também, a microagregação. Enquanto o solo agregado em macroagregados reduziu 41,0 pontos percentuais, os microagregados aumentaram em apenas 14,5 pontos percentuais, resultando numa diferença de 26,5 pontos percentuais no total de solo agregado (Quadro 2). Esse efeito deve-se, provavelmente, à redução da matéria orgânica associada aos minerais, que, por meio das ligações organometálicas, é a principal responsável pela formação e estabilização dos microagregados (Edwards & Bremner, 1967; Tisdall & Oades, 1982; Diekow et al., 2005).

A predominância de silte e areia (74,8 %) e a baixa atividade dos minerais da fração argila do solo deste estudo, com predomínio de caulinita e baixos teores de óxidos de Fe (Bayer et al., 2001), causam fragilidade estrutural, expondo a matéria orgânica à elevada perda sob preparamos convencionais de solo, que chega a mais de 4 % ao ano (Bayer et al., 2006). Como resultado, o estoque de C reduziu de 20 Mg ha⁻¹ no Campo Nativo para 11,8 Mg ha⁻¹ no sistema Lavoura (Figura 1). Esse fato compromete o desempenho do sistema Lavoura na execução das suas funções na natureza, já que estas são relacionadas ao conteúdo de C no solo (Vezzani & Mieliñczuk, 2009).

Recuperação dos agregados e estoque de C no solo nos sistemas de manejo

Considerando o sistema Lavoura como a condição degradada inicial do solo, todos os outros sistemas de manejo avaliados tiveram efeito positivo sobre a agregação total (Quadro 2).

Os sistemas constituíram dois grupos distintos quanto ao efeito sobre a macroagregação. Um grupo, composto pelos sistemas sem atuação de plantas e sem revolvimento de solo (Descoberto) e com plantas, mas com revolvimento anual do solo (pc a/m e pc av/mc), apresentou pequeno efeito, embora significativo, sobre a macroagregação. O outro grupo com maior efeito sobre a macroagregação foi constituído pelos sistemas com plantas e sem revolvimento do solo (pd a/m, pd av/mc, Guandu/m e Lablab/m).

Esses efeitos dos sistemas podem ser mais bem visualizados organizando-se os resultados do quadro 2 em duas classes de agregados (macroagregados > 0,25 mm e microagregados < 0,25 mm) e no total de partículas simples, conforme quadro 4, e representando esses valores em formato de figura com linhas de tendência, utilizando os sistemas de manejo distribuídos no eixo x do gráfico, conforme a expectativa teórica de seu efeito crescente sobre a macroagregação do solo, e unindo os respectivos pontos experimentais (Figura 2). A expectativa teórica é de que a redução no revolvimento do solo, o aumento da adição de C por meio do cultivo de plantas, o aumento do número de espécies vegetais cultivadas e o aumento da densidade do sistema radicular promovam ganhos crescentes na proporção de macroagregados do solo. Essa forma de representação foi adotada por Conceição et al. (2005) para demonstrar o resultado de um contínuo de práticas de manejo que, somadas, aumentaram o efeito da matéria orgânica e seus atributos relacionados sobre a qualidade do solo.

Quadro 4. Proporção de solo agregado em macroagregados (> 0,25 mm), microagregados (< 0,25 mm) e partículas simples do sistema Campo Nativo como condição original da área experimental, sistema Lavoura como condição inicial degradada e sistemas de manejo adotados por 15 e 17 anos

Sistema de manejo ⁽¹⁾	Macroagregado ⁽²⁾	%	
		Macroagregado	Partícula simples
Campo Nativo	63,8 a	12,6 de	23,6 e
Lavoura	22,8 e	27,1 a	50,1 a
Descoberto	32,1 de	23,7 ab	44,2 ab
pc a/m	36,6 d	22,3 bc	41,2 b
pc av/mc	38,7 d	24,0 ab	37,4 bc
pd a/m	50,7 c	17,5 cd	31,8 cd
pd av/mc	53,5 bc	17,2 cde	29,3 de
Lablab/m	50,0 c	16,8 de	33,3 cd
Guandu/m	53,2 bc	17,0 de	29,8 de
Pangola	61,8 ab	12,3 e	25,9 de
CV (%)	11,3	13,6	11,4

⁽¹⁾ pc: preparo convencional; pd: plantio direto; a: aveia; m: milho; v: vica; c: caupi. ⁽²⁾ Letras comparam sistemas de manejo pelo teste de Tukey a 5 %.

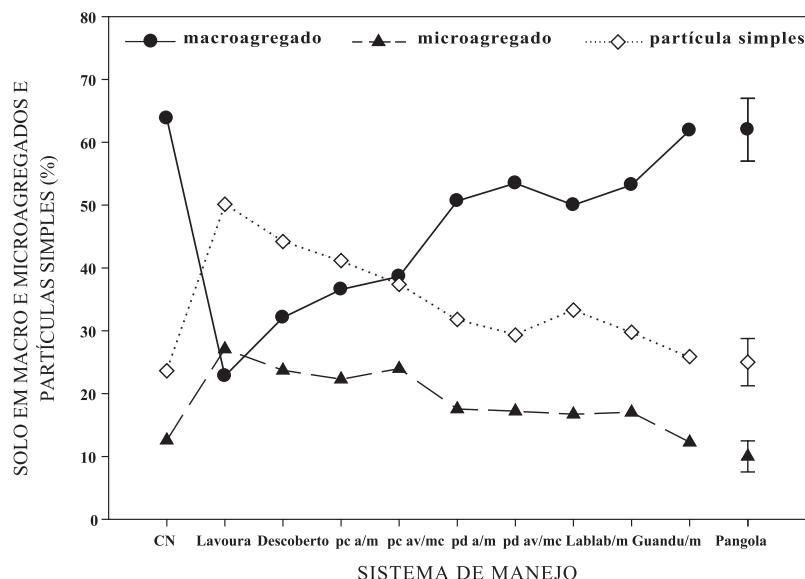


Figura 2. Percentagem de macroagregados ($> 0,25$ mm), microagregados ($< 0,25$ mm) e partículas simples do solo em diferentes sistemas de manejo com a respectiva barra da Diferença Mínima Significativa (Tukey, 5 %). Sistemas de manejo ordenados de acordo com a expectativa teórica de promover ganhos crescentes na proporção de macroagregados: redução do revolvimento do solo, aumento da adição de C por meio do cultivo de plantas, aumento do número de espécies vegetais cultivadas e aumento da densidade do sistema radicular.

Observando a linha de tendência na figura 2, percebe-se a degradação da estrutura após 30 anos da conversão do Campo Nativo em lavoura, com redução dos macroagregados e aumento de microagregados e partículas simples. Esse efeito pode ser atribuído à substituição da vegetação nativa de Campos Mistos (Quadro 1) por culturas anuais, revolvimento do solo e perda do estoque de C (Figura 1).

Tomando como referência da condição degradada inicial o sistema Lavoura e analisando o efeito das práticas de manejo sobre a agregação do solo, verifica-se que os sistemas pc a/m e pc av/mc apresentaram aumento significativo dos macroagregados, redução significativa de partículas simples e pequena redução dos microagregados (Quadro 4). De forma estática, esses resultados indicam que os macroagregados foram formados pelo envolvimento de partículas simples, por meio da ação de raízes, hifas de fungos e materiais orgânicos em decomposição, sem participação significativa dos microagregados. No entanto, a agregação é um processo dinâmico que responde à ação das plantas e às formas de manejo a que o solo é submetido (Golchin et al., 1998).

No sistema Descoberto, a formação de macroagregados ao longo de 17 anos sem revolvimento do solo e com mínima participação das plantas, evidenciada pela baixa adição anual de C (Quadro 1), deve-se, provavelmente, à consolidação natural do solo, o que Larson & Allmaras (1971) denominam de efeito do empacotamento da estrutura. Como não houve ação

suficiente das raízes para incorporar partículas simples em agregados, estas ficaram soltas, numa proporção semelhante à do sistema Lavoura.

Nos sistemas pc a/m e pc av/mc houve maior participação das plantas na agregação. O aumento dos macroagregados observado nos sistemas pc a/m e pc av/mc, em relação à Lavoura (Figura 2), deve-se, em parte, à redução do revolvimento do solo para uma vez ao ano, favorecendo o processo de consolidação natural (Larson & Allmaras, 1971), assim como no sistema Descoberto. No entanto, quando se observam os valores das partículas simples—que, nesta classe de solo, têm sua maioria composta por partículas de mineral quartzo que não interagem quimicamente por carga de superfície com outros minerais e compostos orgânicos—, fica evidente a ação biológica no processo de agregação. A ação do sistema radicular mais denso nos sistemas pc a/m e pc av/mc em relação ao Descoberto, somada à ação das hifas dos fungos rizosféricos (Schjonning et al., 2007), provavelmente, contribuíram para englobar as partículas simples na estrutura dos macroagregados, diminuindo a proporção total de partículas simples nesses sistemas, comparados ao sistema Descoberto (Figura 2). Pode ter ocorrido, também, nesses sistemas com preparo convencional a formação de macroagregados oriundos do encrustamento de fragmentos de plantas e colônias de bactérias por microagregados e partículas minerais, no período entre as práticas de revolvimento do solo, como destacam Six et al. (1999).

Os sistemas Lavoura, Descoberto e pc a/m resultaram em estoque de C igual (Figura 1), mesmo com quantidades distintas de C adicionadas (Quadro 1). A menor quantidade de C adicionada no Descoberto em relação ao pc a/m foi compensada pelo não revolvimento do solo, permitindo que o estoque de C no Descoberto fosse semelhante ao do sistema com maior adição de C por meio das plantas (pc a/m). Quanto ao estoque de C, o efeito do revolvimento do solo foi preponderante sobre a adição de C. Esse fato fica evidente quando se analisa o sistema pc av/mc, que teve adição de C maior (Quadro 1), mas não diferiu do Descoberto em relação ao estoque de C (Figura 1).

O segundo grupo de sistemas, constituído pelos manejos com atuação das plantas e sem revolvimento de solo (pd a/m, pd av/mc, Guandu/m e Lablab/m), atingiu um patamar de macroagregação mais elevado e nítida redução da proporção de microagregados e partículas simples (Figura 2). O efeito de consolidação natural do solo pela ausência de revolvimento (Larson & Allmaras, 1971), como foi observado no sistema Descoberto, possivelmente potencializou a ação dos outros fatores envolvidos na formação e estabilização dos agregados.

O sistema pd a/m teve adição de C semelhante à do pc a/m (Quadro 1). Mesmo com pouca adição de C, o não revolvimento do sistema pd a/m favoreceu a agregação; à medida que a macroagregação foi construída pela ação biológica, não houve a quebra mecânica pelo revolvimento. Assim, o pd a/m teve patamar de agregação semelhante ao dos sistemas com maior adição de C e sem revolvimento.

Ressalta-se o aumento do número de espécies vegetais em cada estação de crescimento, no sistema pd av/mc em relação ao pd a/m, que, consequentemente, aumentou a adição de C nos sistemas (Quadro 1). A introdução de plantas leguminosas nas duas estações de crescimento pode ter estimulado o desenvolvimento de raízes e hifas de fungos rizossféricos (Haynes & Beare, 1996; Blanchart et al., 2004; Chevallier et al., 2004), ocasionado pela diversidade de espécies vegetais crescendo simultaneamente no espaço e no tempo (Kroon, 2007). O sistema pd av/mc igualou-se ao Campo Nativo em agregação – dado significativo quando se considera que este é um sistema de produção agrícola, evidenciando a capacidade de a agricultura produzir alimentos e ainda atingir estrutura capaz de garantir Qualidade do Solo (Vezzani & Mieliaczuk, 2009). O pd av/mc distingue-se do CN pelo estoque de C, porém a expectativa, por simulação do estoque de C por meio do modelo Century, é de que o estoque de C do solo neste sistema agrícola possa atingir o patamar do Campo Nativo com o passar do tempo, em função da quantidade de C adicionado por meio das plantas e do não revolvimento do solo (Fernandes, 2002).

O consistente aumento do estoque de C nos sistemas sem revolvimento do solo pd av/mc, Lablab/m e Guandu/m, em relação ao grupo com revolvimento do solo (Figura 1), juntamente com a atuação das

raízes e hifas de fungos, é o principal agente responsável pela agregação nesses sistemas (Chevallier et al., 2004). Bayer et al. (2001) determinaram, no mesmo solo do presente estudo, que o compartimento do C associado aos minerais foi o que quantitativamente mais aumentou entre sistemas com diferentes adições de C pelas plantas, indicando que este C está compondo a estrutura dos agregados.

No estoque de C, a exceção deste grupo foi o sistema pd a/m. Comparando, o sistema pd av/mc acumulou 3,9 Mg ha⁻¹ C nos 7,5 cm superficiais a mais que o pd a/m (Figura 1). Se for feita uma análise conjunta do estoque de C com a agregação, observa-se que ambos os sistemas se organizaram com uma mesma distribuição de agregados nas classes de diâmetro (Quadro 2), mas, na composição dos agregados do pd av/mc, houve maior quantidade de C (Figura 1). Uma distribuição de agregados igual com estoque de C maior, como é o caso do sistema pd av/mc, é um indicativo de que a estrutura dos agregados está mais complexa e de que possui mais componentes orgânicos, como fragmentos de tecidos de plantas e macrorganismos; hifas e células de microrganismos; e substâncias húmicas. A presença de C na estrutura habilita o solo a exercer suas funções, garantindo a Qualidade do Solo (Vezzani & Mieliaczuk, 2009). Esse fato ressalta a superioridade do pd av/mc como sistema de produção agrícola sustentável.

O sistema mais eficiente para a agregação foi o Pangola, que atingiu nível de macroagregados muito próximo do Campo Nativo e redução adicional dos microagregados e partículas simples. Ao lado do C orgânico, a ação do sistema radicular e das hifas de fungos associados a essa gramínea perene foi, provavelmente, o principal agente agregante, pois o estoque de C orgânico situa-se em patamar inferior ao dos sistemas do grupo sem revolvimento do solo (Figura 1).

Pela equação obtida da relação entre o estoque de C na camada de 0-7,5 cm e o solo agregado nessa camada (Figura 3), estima-se que a agregação máxima de 828,2 Mg ha⁻¹ de solo seria atingida com 21,3 Mg ha⁻¹ de C – muito próximo dos valores experimentais encontrados para o Campo Nativo (20,0 Mg ha⁻¹ de C e 830,0 Mg ha⁻¹ de solo agregado). O sistema Pangola com apenas 15 Mg ha⁻¹ de C agregou, aproximadamente, a mesma quantidade de solo que a do Campo Nativo, com distribuição de agregados nas classes de diâmetro também igual à do Campo Nativo (Quadro 2). A ação eficiente da gramínea pangola sobre a agregação do solo já foi observada nos primeiros cinco e oito anos de condução da área experimental por Paladini & Mieliaczuk (1991) e Silva & Mieliaczuk (1998), respectivamente.

A alta densidade de raízes adiciona C ao solo e atua fisicamente na formação e estabilização de macroagregados. Na camada de solo onde há o desenvolvimento de raízes, desenvolve-se um ambiente propício para processos de difusão de nutrientes

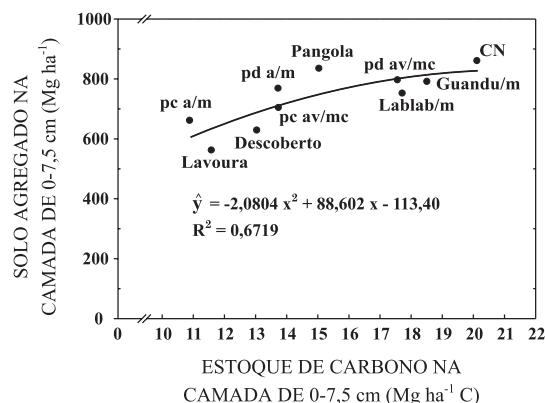


Figura 3. Relação entre o estoque de C do solo e o total de solo agregado na camada de 0-7,5 cm nos sistemas de manejo. CN: Campo Nativo; pc: preparo convencional; pd: plantio direto; a: aveia; m: milho; v: vica; c: caupi.

(Muneer & Oades, 1989), habitat de organismos (Miller & Jastrow, 1992; Six et al., 2000) e transformações bioquímicas (Bradfield, 1937), favorecendo a formação e estabilização dos agregados do solo (Tisdall & Oades, 1982; Blanchart et al., 2004; Chevallier et al., 2004). Isso resulta em fenômenos de retroalimentação positiva do processo de agregação do solo.

CONCLUSÕES

1. Práticas de manejo sem revolvimento do solo, associadas à maior adição de C pelos sistemas de culturas por 15 a 17 anos, recuperaram a agregação do solo e o estoque de C próximo da condição original de Campo Nativo.

2. A utilização de gramíneas perenes (pangola) com sistema radicular denso promoveu, em 17 anos, a recuperação da proporção de macroagregados do solo. Contudo, o estoque de C foi menor, evidenciando a ação eficiente do sistema radicular na recuperação da agregação de solos degradados.

LITERATURA CITADA

- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PILLON, C.N. & SANGOI, L. Changes in soil organic matter fractions under subtropical no-till cropping systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 65:1473-1478, 2001.
- BAYER, C.; LOVATO, T.; DIECKOW, J. ZANATTA, J.A. & MIELNICZUK, J. A method for estimating coefficients of soil organic matter dynamics based on long-term experiments. *Soil Till. Res.*, 91:217-226, 2006.
- BHATTACHARYYA, R.; PRAKASH, V.; KUNDU, S.; SRIVASTVA, A.K. & GUPTA, H.S. Soil aggregation and organic matter in a sandy clay loam soil of the Indian Himalayas under different tillage and crop regimes. *Agric., Ecosys. Environ.*, 132: 126-134, 2009.
- BLANCHART, E.; ALBRECHT, A.; CHEVALLIER, T. & HARTMANN, C. The respective roles of roots and earthworms in restoring physical properties of Vertisol under a *Digitaria decumbens* pasture (Martinique, WI). *Agric., Ecosys. Environm.*, 103: 343-355, 2004.
- BRADFIELD, R. Soil conservation from viewpoint of soil physics. *J. Am. Soc. Agric.*, 29: 85-92, 1937.
- BRONICK, C.J. & LAL, R. Soil structure and management: A review. *Geoderma*, 124:3-22, 2005.
- BURLE, M.L.; MIELNICZUK, J. & FOCCHI, S. Effect of cropping systems on soil chemical characteristics, with emphasis on soil acidification. *Plant Soil*, 190:309-316, 1997.
- CARPENEDO, V. & MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. *R. Bras. Ci. Solo*, 14:99-105, 1990.
- CHEVALLIER, T.; BLANCHART, E.; ALBRECHT, A. & FELLER, C. The physical protection of soil organic carbon in aggregates: a mechanism of carbon storage in a Vertisol under pasture and market gardening (Martinique, West Indies). *Agric., Ecosys. Environm.*, 103:375-387, 2004.
- CONCEIÇÃO, P.C.; AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J. & SAPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. *R. Bras. Ci. Solo*, 29:777-788, 2005.
- DIECKOW, J.; MIELNICZUK, J.; KNICKER, H.; BAYER, C.; DICK, D.P. & KÖGEL-KNABNER, I.K. Carbon and nitrogen stocks in phisical fractions of a subtropical Acrisol as influenced by long-term no-till cropping systems and N fertilisation. *Plant Soil*, 268:319-328, 2005.
- DORAN, J.W. & PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. & STEWART, B.A.. eds. Defining soil quality for a sustainable environment. Madison, Soil Science Society of America, 1994. p.1-20. (Special Publication, 35)
- EDWARDS, A.P. & BREMNER, J.M. Microaggregates in soils. *J. Soil Sci.*, 18:64-73, 1967.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.
- FERNANDES, F.F. Uso do modelo Century no estudo da dinâmica do carbono orgânico em solos do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002. 158p. (Tese de Doutorado).
- GOLCHIN, A.; BALDOCK, J.A. & OADES, J.M. A model linking organic matter decomposition, chemistry and aggregate dynamics. In: LAL, R.; KIMBLE, J.; FOLLETT, R.F. & STEWART, B.A., eds. *Soil processes and the carbon cycle*. Boca Raton, CRC Press, 1998. p.245-266.

- HAYNES, R.J. & BEARE, M.H. Aggregation and organic matter storage in meso-thermal, humid soils. In: CARTER, M.R. & STEWART, B.A., eds. *Structure and organic matter storage in agricultural soils*. Boca Raton, CRC Press, 1996. p.213-262.
- JASTROW, J.D.; MILLER, R.M. & LUSSENHOP, J. Contributions of interacting biological mechanisms to soil aggregate stabilization in restored prairie. *Soil Biol. Biochem.*, 30:905-916, 1998.
- KROON, H. How do roots interact? *Science*, 318:1562-1563, 2007.
- LARSON, W.E. & ALLMARAS, R.R. Management factors and natural forces as related to compaction. In: BARNES, K.K.; CARLETON, W.M.; TAYLOR, H.M.; THROCKMORTON, R.I. & van den BERG, G.E. *Compaction of agricultural soils*. St. Joseph, American Society of Agricultural Engineers, 1971. p.367-381.
- LI, L.; SUN, J.; ZHANG, F.; GUO, T.; BAO, X.; SMITH, A. & SMITH, S. Root distribution and interactions between intercropped species. *Oecologia*, 147:280-290, 2006.
- LOVATO, T.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C. & VEZZANI, F. Adições de carbono e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo e com o rendimento do milho em sistemas de manejo. *R. Bras. Ci Solo*, 28:175-187, 2004.
- MILLER, R.M. & JASTROW, J.D. Hierarchy of root and mycorrhizal fungal interactions with soil aggregation. *Soil Biol. Biochem.*, 22:579-584, 1990.
- MILLER, R.M. & JASTROW, J.D. The role of mycorrhizal fungi in soil conservation. In: BETHLENFALVAY, G.J. & LINDERMAN, R.G., eds. *Mycorrhizae in sustainable agriculture*. Madison, American Society of Agronomy, 1992. p.29-44. (Special Publications, 54)
- MUNEER, M. & OADES, J.M. The role of Ca-organic interactions in soil aggregate stability. III. mechanisms and models. *Austr. J. Soil Sci.*, 27:411-423, 1989.
- PAIM, N.R. Pastagens nativas da região sul do Brasil. In: FEDERACITE, XI Livro da Federacite. As pastagens nativas gaúchas. Porto Alegre, Ideograf Editora Gráfica, 2003. p.23-38.
- PALADINI, F.L.S. & MIELNICZUK, J. Distribuição de tamanho de agregados de um solo Podzólico Vermelho-Escuro afetado por sistemas de culturas. *R. Bras. Ci. Solo*, 15:135-140, 1991.
- SCHJONNING, P.; MUNKHOLM, L.J.; ELMHOLT, S. & OLESEN, J.E. Organic matter and soil tilth in arable farming: Management makes a difference within 5-6 years. *Agric., Ecosys. Environ.*, 122:157-172, 2007.
- SILVA, I.F. Formação, estabilidade e qualidade de agregados do solo afetados pelo uso agrícola. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1993. 182p. (Tese de Doutorado).
- SILVA, I.F. & MIELNICZUK, J. Sistemas de cultivo e características do solo afetando a estabilidade de agregados. *R. Bras. Ci. Solo*, 22:311-317, 1998.
- SIX, J.; ELLIOTT, E.T. & PAUSTIAN, K. Aggregation and soil organic matter dynamics under conventional and no-tillage systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 63:1350-1358, 1999.
- SIX, J.; PAUSTIAN, K.; ELLIOTT, E.T. & COMBRINK, C. Soil structure and organic matter: I. Distribution of aggregate-size classes and aggregate-associated carbon. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 64: 681-689, 2000.
- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S.J. Análise de solo, plantas e outros materiais. 2.ed. Porto Alegre, Departamento de Solos da UFRGS, 1995. 174p. (Boletim Técnico de Solos, 5)
- TISDALL, J.M. & OADES, J.M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *J. Soil Sci.*, 33:141-163, 1982.
- TISDALL, J.M. Possible role of soil microorganisms in aggregation in soils. *Plant Soil*, 159:115-121, 1994.
- VARGAS, L.K. & SCHOLLES, D. Biomassa microbiana e produção de C-CO₂ e N mineral de um Podzólico Vermelho-Escuro submetido a diferentes sistemas de manejo. *R. Bras. Ci. Solo*, 24:35-42, 2000.
- VEZZANI, F.M. & MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 33:743-755, 2009.
- WEBER, M.A. & MIELNICZUK, J. Estoque e disponibilidade de nitrogênio no solo em experimento de longa duração. *R. Bras. Ci. Solo*, 33:429-437, 2009.
- ZANATTA, J.A.; BAYER, C.; DIECKOW, J.; VIEIRA, F.C.B. & MIELNICZUK, J. Soil organic carbon accumulation and carbon costs related to tillage, cropping systems and nitrogen fertilization in a subtropical Acrisol. *Soil Till. Res.*, 94:510-519, 2007.

