

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/325999317>

Matéria orgânica do solo em Sistemas Integrados de Produção Agropecuária

Chapter · June 2018

CITATIONS

0

READS

2,580

6 authors, including:



Foca - Silvia

State University of Medicine and Pharmaceuticals „Nicolae Testemițanu“

16 PUBLICATIONS 11 CITATIONS

SEE PROFILE



Edicarlos Damacena Souza

Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT)

51 PUBLICATIONS 1,669 CITATIONS

SEE PROFILE



Joao Bonetti

São Paulo State University

41 PUBLICATIONS 410 CITATIONS

SEE PROFILE

MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA NO BRASIL

Edicarlos Damacena de Souza, Francine Damian da Silva, Leandro Pereira Pacheco, Jackeline dos Santos Vieira Laroca, Juliana Mendes Andrade de Souza e João de Andrade Bonetti

INTRODUÇÃO

Em Sistemas Integrados de Produção Agropecuária (SIPA) a matéria orgânica do solo (MOS) apresenta alterações em sua dinâmica em comparação aos sistemas puros de produção com ausência de animais em pastejo. O animal em pastejo contribui para maior heterogeneidade na distribuição de resíduos sobre o solo, o que faz com que o manejo da altura do pasto seja de fundamental importância na dinâmica da MOS em SIPA. Desta forma, compreender o papel do animal na dinâmica da MOS em SIPA passa a ter relevância significativa para o correto manejo dos sistemas de produção que tem a entrada do animal na fase pastagem.

O efeito dos animais no SIPA-PD, ainda pouco discutido na literatura, inclui alterações nas taxas de ciclagem e de disponibilidade de nutrientes, decorrentes da resposta das plantas ao pastejo. O mesmo pode influenciar os processos de mineralização/imobilização de N, facilitar a decomposição de substratos (Assmann et al., 2007) e aumentar a taxa de reciclagem de N resultante da deposição de urina e placas de esterco (Monteiro & Werner, 1997). No capítulo 3 desse livro é apresentado o efeito da presença dos animais em SIPA.

A entrada de carbono no solo com pastagem é maior do que nas áreas cultivadas com espécies produtoras de grãos (Schipper & Sparling, 2000). As excreções dos animais, na forma de placas de esterco e urina, influenciam na dinâmica da MOS, que passa a ser o suprimento mais importante de nutrientes para as pastagens. A facilidade de mineralização dos nutrientes deve-se, principalmente, à baixa relação C:N das excreções (esterco é 20:1 e a urina é 3,9:1) (Whitehead, 2000) e à maior atividade das enzimas protease, urease e fosfatase ácida nos solos com presença de animais (Haynes & Williams, 1999).

A maior disponibilização e concentração de nutrientes no solo devido às excreções, melhora as condições de fertilidade do solo (Braz et al., 2003; Marchesin, 2005; Rodrigues et al., 2008; Silva et al., 2014a), proporcionando, dessa forma, desenvolvimento mais rápido e satisfatório das plantas. Marchesin (2005) constatou que o acúmulo de forragem foi maior em pontos com a presença de placas de esterco (686 kg/ha de MS) que naqueles sem a presença de placas de esterco (243 kg/ha de MS). A deposição de esterco favorece a disponibilização de nutrientes às plantas (Braz et al., 2003; Marchesin, 2005; Silva et al., 2014a), podendo influenciar no crescimento do pasto (Santos et al., 2010) em área até cinco vezes maior que aquela fisicamente coberta por placa de esterco (During & Weeda, 1973).

Entretanto, para que a dinâmica da MOS seja compreendida são necessários protocolos de longa duração e que efetivamente tenham a entrada do animal em pastejo. Porém, muitos estudos sobre SIPA no Brasil têm sido conduzidos sem a presença do animal. Desse modo, esses sistemas de manejo, apesar de terem uma fase de pasto, se comportam como sistemas puros de produção, por não ter o efeito da presença do animal atuando como um mediador de processos pelo efeito do pastejo.

A MOS é de extrema importância para a capacidade produtiva do solo, pois está relacionada às propriedades físicas, biológicas e químicas dos solos, sendo a principal responsável pela CTC de solos tropicais e subtropicais, podendo atuar na diminuição da toxidez de elementos tóxicos às plantas, além de ser fonte de energia e nutrientes para a biota do solo. O aumento desta biota favorece surgimento (ampliação das existentes) de propriedades emergentes⁴, tais como a agregação, a aeração, a densidade, a infiltração e a retenção de água no solo.

⁴ Abordado com detalhes no capítulo 3.

Assim, o acúmulo de matéria orgânica faz com que haja aumento na qualidade do solo.

Desta forma, pretende-se com esse capítulo abordar os conceitos gerais da MOS e sua dinâmica no solo em SIPA sob plantio direto, e, por fim, os efeitos dos SIPA-PD na agregação e proteção física da MOS.

CONCEITOS GERAIS

A fase sólida do solo é composta pela fração mineral e pela fração orgânica. Essa fração orgânica é representada pela MOS e se refere aos compostos presentes no solo e que contém C orgânico na sua composição. Esse C é oriundo da fotossíntese realizada por organismos autotróficos em que ocorre a conversão de energia luminosa ($6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} + \text{energia}$) em energia química ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$).

Os compostos orgânicos presentes no solo estão relacionados com o aporte de resíduos oriundos da parte aérea e de raízes de plantas (Figura 1), a exsudação pelas raízes das plantas e transformação desses resíduos pelos organismos presentes no solo. Entre esses compostos pode-se citar resíduos de plantas e animais em diferentes estágios de decomposição, macro e microrganismos vivos e mortos e substâncias orgânicas que são alteradas química e biologicamente. Desta forma, excluem-se da definição de matéria orgânica os resíduos orgânicos que estão presentes acima da superfície do solo, que podem ser chamados de liteira (Figura 2). Porém, mesmo não fazendo parte da MOS, a liteira possui grande importância na dinâmica de nutrientes no solo, principalmente em sistemas naturais (mata e cerrado nativo, por exemplo) e em sistemas conservacionistas que acumulam essa liteira na superfície do solo.



Figura 1. Resíduo vegetal de parte aérea e raízes de plantas no solo.



Figura 2. Resíduo vegetal (liteira) sobre a superfície de solo arenoso no Sul de Mato Grosso.

A MOS apresenta cerca de 52 a 58% de C, 34 a 39% de O, 3,3 a 4,8% de H e de 3,7 a 4,15% de N. Além disso, é fonte de outros nutrientes como o P, S, B, entre outros, porém em menores quantidades.

A MOS é bastante complexa nos solos e sua definição e classificação em relação às frações torna-se uma tarefa difícil, pois depende basicamente do direcionamento a ser dado nos estudos relacionados à ela. De forma

simplificada a MOS pode ser dividida nas seguintes frações:

- a) **Biomassa microbiana:** é a fração viva da MOS e rapidamente influenciada pelo manejo adotado no solo. Essa fração é composta pelos microrganismos presentes no solo, os quais incorporam C em suas células. Entre seus representantes estão fungos (Figura 3), bactéria e actinomicetes. Representa entre 0,8 e 5% da MOS, onde esse teor varia em função do aporte de resíduos ao solo. É extremamente importante para a dinâmica da MOS, pois influencia nas taxas de decomposição e na mineralização de nutrientes no solo. Por isso, em função da qualidade do resíduo adicionado ao solo a biomassa microbiana pode mineralizar ou imobilizar nutrientes que poderão ser utilizados pelas plantas, entre eles N e P. Maiores detalhes podem ser consultados no capítulo 5.



Figura 3. Fungo decompositor em placa de esterco em sistema integrado de produção agropecuária.

- b) **Matéria orgânica leve:** essa fração da MOS é composta por resíduos animais e vegetais em diferentes estágios de decomposição e tem estrutura semelhante à ladeira, porém está dentro do solo. Representa até mais de 30% da MOS e está altamente relacionada à atividade da biomassa microbiana do solo, pois é utilizada pelos microrganismos como fonte de C e energia para manutenção. A elevação nos teores dessa fração é dependente da adição constante de resíduos ao solo, do clima, do tipo de solo, do manejo e de vários outros atributos que influenciam a atividade microbiana do solo.
- c) **Biomoléculas:** são compostos orgânicos produzidos pelos microrganismos e plantas presentes no solo e apresentam composição e estrutura química conhecida (Figura 4). Entre as biomoléculas podem-se citar os carboidratos, aminoácidos, lipídeos, ácidos orgânicos de baixo peso molecular, etc. As biomoléculas são extremamente importantes na complexação de elementos no solo, além de atuar na agregação do solo. Por serem compostos de baixo peso molecular com estrutura composta por poucos carbonos, eles são facilmente degradados pelos microrganismos. No entanto, por serem constantemente produzidos no solo são importantes e sua quantidade no solo é de cerca de 5 a 25% da MOS.

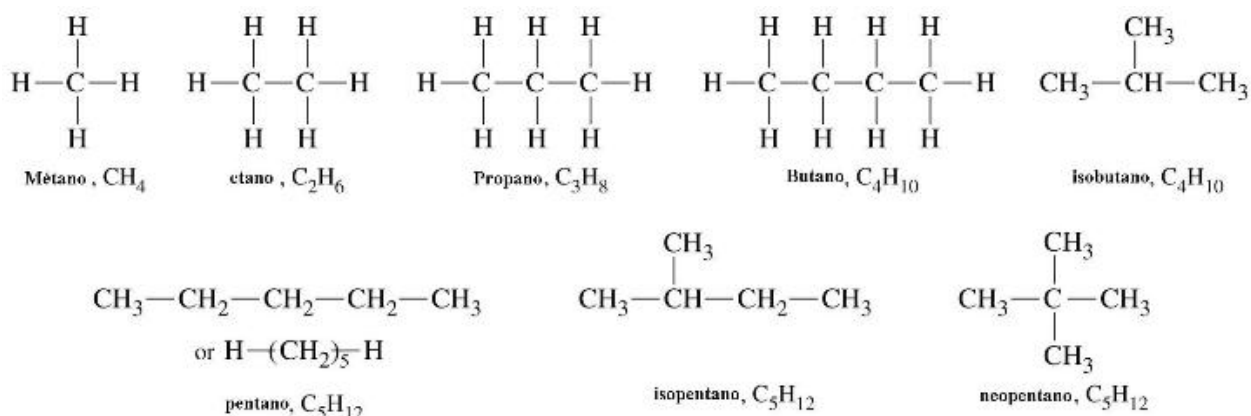


Figura 4. Exemplos de biomoléculas constituintes da Matéria Orgânica do Solo.

d) Substâncias húmicas: os compostos de C que são gerados após o processo de decomposição dos resíduos orgânicos são denominados substâncias húmicas. São compostos orgânicos de alto peso molecular (Figura 5), com coloração escura e são gerados em reações de síntese secundárias. Essa fração é a mais representativa da MOS na maioria dos solos, pois ela se acumula em maior magnitude que as demais frações, devido à complexidade da sua estrutura e de sua recalcitrância, o que limita a atividade dos microrganismos sobre essa estrutura. Esses compostos se associam facilmente aos demais constituintes do solo, tornando-os protegidos quimicamente contra o ataque dos microrganismos, o que faz com que sua decomposição seja lenta, promovendo seu acúmulo.

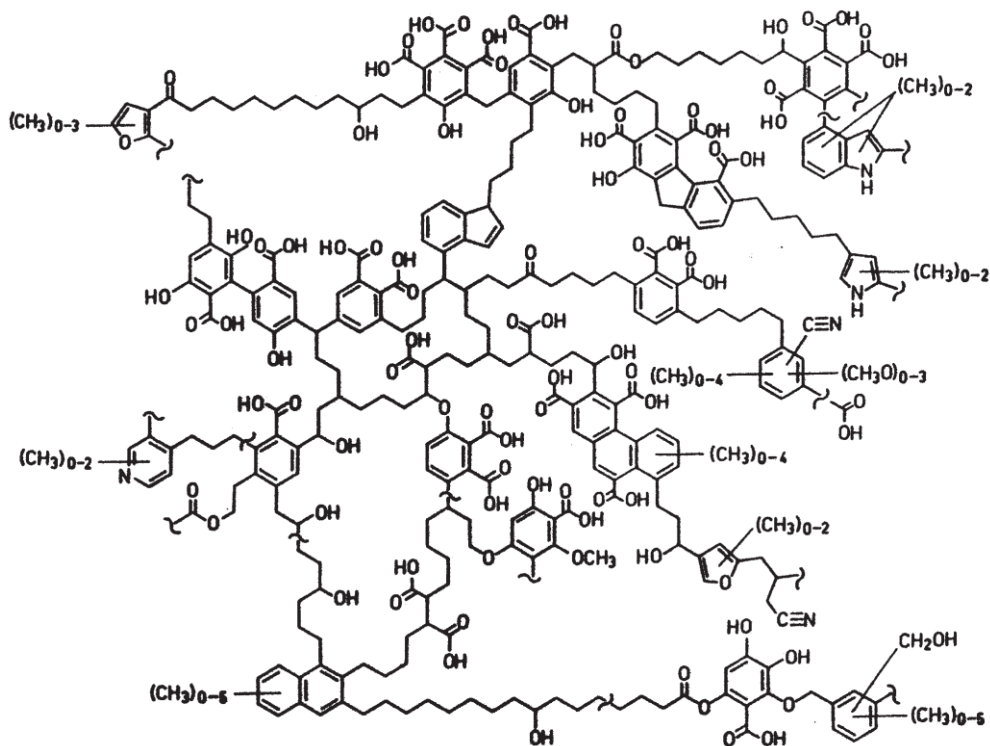


Figura 5. Estrutura proposta de um ácido húmico, componente da Matéria Orgânica do Solo. Fonte: <http://www.academiau.ca/~jmurimbo/HA.gif>

DINÂMICA DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM SIPA

O SIPA pode resultar em alterações nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, afetando o desenvolvimento radicular, a produção de parte aérea das plantas e a produtividade das culturas semeadas em sucessão ao pastejo. Desta forma, surge a necessidade de adoção de sistemas de manejo (intensidade de pastejo, espécies forrageiras, consórcios etc.) que consigam maximizar os benefícios do SIPA, com incremento nos estoques de MOS.

Um adequado sistema de manejo do solo deve ter como objetivo, além da produção primária de qualidade, o aumento da MOS. Com a adoção do SIPA em plantio direto (SIPA-PD) os resíduos vegetais são mantidos sobre a superfície do solo, com mínimo revolvimento do solo na linha de semeadura das culturas, o que resulta em incrementos significativos no armazenamento de C e N no solo, com reflexos positivos nos incrementos na produção de pasto e de lavoura. Entretanto, para melhores respostas no incremento de MOS é necessário à adoção de sistemas de rotação/sucessão de culturas que propiciem incremento de diversidade de plantas, associados a altas produções de fitomassa. Com isso, é possível obter incrementos na atividade microbiana do solo, além de favorecer a produtividade do sistema (Laroca et al., 2018).

Por manter os teores de MOS em níveis adequados, além de proporcionar maior qualidade, sustentabilidade e capacidade de produção dos solos agrícolas, o SIPA-PD pode ser considerado como um dos sistemas de produção mais eficientes em manter e recuperar a estrutura do solo (Souza et al., 2010; Bonetti et al., 2018). Algumas plantas têm a capacidade de promover melhorias na qualidade da estrutura do solo, pela ação de suas raízes

e da parte aérea, sendo a magnitude dessa melhoria variável entre as espécies (Wohlenberg et al., 2004). Mesmo representando uma pequena fração dos constituintes orgânicos do solo, as raízes têm grande influência sobre a formação e a estabilidade de agregados, sendo que as gramíneas perenes, por apresentarem maior densidade e melhor distribuição no solo, são consideradas como plantas recuperadoras da estrutura do solo em áreas degradadas (Silva & Mielniczuk, 1997). Com isso, ocorre maior estabilização dos agregados e, conseqüentemente, maior proteção física da MOS no interior dos agregados. Com essa maior proteção física da MOS contra a degradação por microrganismos, há a tendência de maior acúmulo em sistemas que promovam maior agregação do solo, como será discutido no decorrer do capítulo.

Existem diversas formas pelas quais a MOS pode ser aportada, podendo-se citar: pelos restos vegetais sobre o solo após a colheita das culturas e pelas raízes das plantas, exsudatos e micorrizas que irão se decompor inicialmente pela ação da mesofauna do solo e, posteriormente, pela ação dos microrganismos. São processos que dependem de forma sensível das condições ambientais (umidade e temperatura). Em áreas de pastejo, a deposição de dejetos pelos animais em pastejo pode constituir-se em importante fator de reciclagem e de concentração de C e de N no solo.

Desta forma, a dinâmica da MOS pode ser explicada por um modelo unicompartmental desenvolvido por Hénin & Dupuis (1945) que considera as taxas de entrada e de saída de C do sistema em função do tempo:

$$dC/dt = (k_1 \cdot A) - (k_2 \cdot C)$$

onde, k_1 = coeficiente de humificação, ou seja, a taxa de conversão dos resíduos em MOS; A = adição anual de resíduos; k_2 = taxa de mineralização da MOS; C = carbono acumulado na forma de MOS.

Desta forma, a produção primária de resíduos pelo SIPA-PD influencia o fator A da equação. Assim, a escolha das culturas que irão compor o SIPA-PD determinará a entrada de resíduos no sistema em primeiro momento, posteriormente, o manejo da taxa de lotação que terá influência. Maiores taxas de lotação determinam menores adições de resíduos vegetais ao solo, assim como menor crescimento do pasto, gerando, ao final, baixa adição de resíduos. Da mesma forma, a cultura anual a ser utilizada contribui para diferentes adições de resíduos. Assim, o cultivo da cultura do milho como cultura anual promove maiores adições de resíduos que a cultura da soja, por exemplo.

O parâmetro k_1 representa o quanto dos resíduos orgânicos adicionados ao solo efetivamente se convertem em MOS e é altamente influenciado pelo clima. Desta forma, em condições de clima que favoreçam alta atividade microbiana, como em regiões tropicais, os valores de k_1 tendem a ser menores do que em regiões temperadas, em razão das temperaturas mais baixas resultar em ciclagem mais lenta da matéria orgânica leve. Em solo da Suécia Paustian et al. (1992) encontrou valores de k_1 de $0,226 \text{ ano}^{-1}$ em solo com revolvimento, enquanto Nicoloso (2005) obteve valores de k_1 de $0,1249 \text{ ano}^{-1}$ em SIPA no Sul do Brasil. De modo geral, os valores de k_1 variam de $0,77$ a $0,23 \text{ ano}^{-1}$ segundo Bolinder et al. (1999).

Da mesma forma, o parâmetro k_2 é grandemente influenciado em SIPA-PD, pois ele é influenciado principalmente pelo manejo do solo e pela textura. Assim, a ausência de revolvimento do solo em SIPA-PD favorece diminuição nesse parâmetro. Porém, a textura do solo determina o aumento ou diminuição na taxa de mineralização da MOS, ocorrendo maior mineralização em solos arenosos em relação aos argilosos. Isso ocorre porque em solos argilosos a proteção física da MOS dentro dos agregados é superior aos solos arenosos. Ou seja, em solos argilosos os microrganismos tem acesso restrito à MOS que está armazenada dentro dos agregados. Cerca de 85% dos poros dos solos arenosos são acessíveis aos microrganismos, enquanto que, em solos argilosos somente 50% dos poros são acessíveis à eles. Como os microrganismos não acessam totalmente os poros dos solos argilosos a MOS fica protegida fisicamente contra o ataque microbiano e se acumula no solo.

Com isso, verifica-se que a dinâmica da MOS em sistemas que integram a lavoura e a pecuária é diferente de sistemas que abordam essas duas atividades isoladamente. Um modelo conceitual de funcionamento do SIPA-PD, sob a ótica da dinâmica do C no ambiente foi proposto por Salton (2005) (Figura 6), o qual foi adaptado de Vezzani (2001).

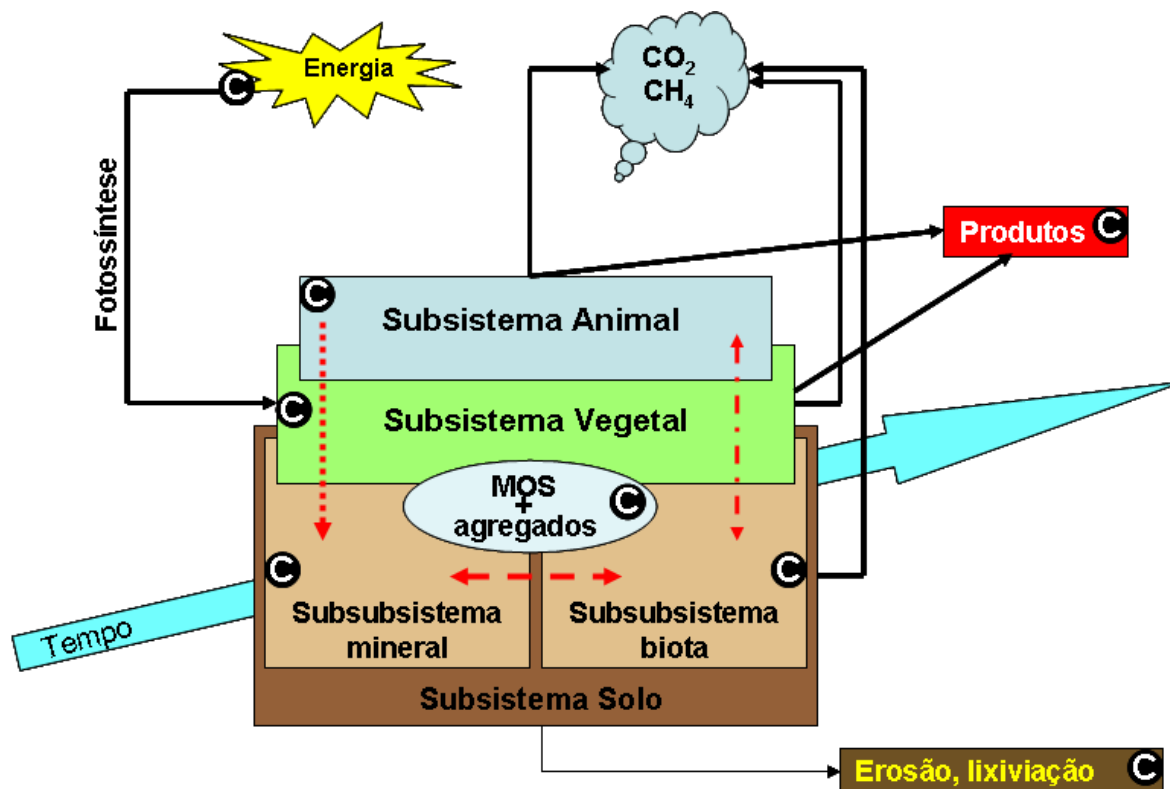


FIGURA 6. Modelo conceitual de um sistema misto de produção agropecuária, com o carbono (C) presente em todos os compartimentos e nas interações entre os componentes. Salton (2005).

Os fluxos de energia são baseados nos fluxos de C no sistema, que se iniciam com a conversão da energia luminosa em energia química e, posteriormente, matéria, via fotossíntese, pelo subsistema vegetal. Parte do C sai do sistema pela respiração e exportação de grãos, fibras e carne, que são os produtos da atividade agrícola. Uma fração do C que entrou no sistema é transformado pela biota do solo, tendo uma parte perdida via respiração, sendo que a parcela que não foi perdida ou exportada pode ser acumulada no subsistema solo, como matéria orgânica, conforme explicado acima.

Como há alta relação entre o C e o N no solo, pode-se inferir que, havendo acúmulo de C no solo haverá, concomitantemente, acúmulo de N no subsistema solo. Essa MOS acumulada interage com os componentes minerais do subsistema solo formando agregados, que terão seus tamanhos e estabilidades dependentes, principalmente, da intensidade do fluxo de C para o solo. A auto-organização⁵ do sistema em questão é expressa pela quantidade de macroagregados estáveis, que é resultado de múltiplas e complexas interações, com níveis crescentes de ordem. A um determinado nível de ordem no sistema, propriedades emergentes vão surgindo no subsistema solo, estando elas relacionadas com a produtividade do sistema e com a qualidade do solo, sendo, então, desejáveis.

A inserção do animal no sistema acarreta aumento na complexidade, pois as relações entre os compartimentos são ampliadas, visto que a presença do animal irá influenciar tanto o subsubsistema mineral como a biota, e, conseqüentemente, nas propriedades emergentes do sistema. Os fluxos de entrada e de saída não são estáveis em sistemas agrícolas, sendo assim, um determinado nível de ordem superior somente será atingido quando a magnitude dos fluxos for positiva, proporcionando alto aporte de energia para a manutenção de um dado nível de ordem e um acréscimo de energia para a passagem a um nível de ordem superior, conferindo, assim, sustentabilidade e qualidade ao sistema.

5. “Sistemas abertos funcionam afastados do equilíbrio e, assim, são capazes de se auto-organizarem. A condição de não-equilíbrio é devido ao fluxo de energia e de matéria que passa pelo sistema continuamente. A auto-organização ocorre através das relações não-lineares entre os elementos que compõem o sistema, gerando estados de ordem relativos ao fluxo e dependentes da sua própria história. Quando o fluxo proporciona aumento na quantidade de energia e matéria retida, o sistema evolui e surgem estados de ordem em níveis sucessivamente mais elevados, caracterizados pela complexidade e diversidade das relações e da estrutura” (Vezzani, 2001).

Alguns aspectos são causadores dessa dinâmica diferenciada da MOS em solos sob pastejo. As pastagens, em geral, têm a característica de possuírem sistema radicular agressivo e alta produção de parte aérea. Bonetti et al. (2015) avaliando SIPA com diferentes intensidades de pastejo no Cerrado observaram aporte de resíduos total de parte aérea e raízes de soja e pasto que variaram de 23,75 a 29,01 Mg ha⁻¹ em alta e baixa intensidade de pastejo, respectivamente, sendo 31% desse total advindo somente das raízes da gramínea. No caso das florestas, há grande acúmulo de C e de N na parte aérea das plantas; já as pastagens apresentam alto aporte desses elementos abaixo da superfície do solo, pelo sistema radicular. Fujisaka et al. (1998) e Lal (2002) atribuem ao sistema radicular de pastagens a grande capacidade de acumular MOS, sendo que esta capacidade pode ser aumentada pela adubação da pastagem. Além da ação imediata da adubação, a pastagem também pode aproveitar o resíduo da adubação da cultura de grãos antecessora, no caso de SIPA.

Além disso, podem ocorrer variações no acúmulo de MOS devido ao sistema de pastejo, a diferenças no clima, a atributos de solo, à posição na paisagem e à composição e à comunidade de plantas. Em SIPA submetidos a altas intensidades de pastejo, acarretará em menor quantidade de matéria vegetal da parte aérea disponível para pastejo pelos animais e, com isso, menores quantidades de material vegetal serão adicionadas ao solo, reduzindo os estoques de MOS. Da mesma forma, a qualidade dos resíduos adicionados ao solo irá influenciar no acúmulo de MOS. No Brasil Central muitas das leguminosas que são adicionadas ao solo têm alta relação C/N, devido ao caule altamente lignificado e com isso, tende a ser mais recalcitrante do que plantas com condição de menores teores de lignina.

SIPA E ALTERAÇÕES NA MOS

O C e o N são os principais componentes da MOS e seus estoques variam conforme discutido anteriormente. E, em solos sem ação antrópica, o teor e estoque desses elementos no solo são determinados basicamente pela vegetação natural, temperatura, pela umidade e pelo tipo de solo (Bayer & Mielniczuk, 1997). E, de forma geral nessas áreas os estoques desses elementos permanecem constantes ao longo do tempo, após atingido o equilíbrio entre as entradas e saídas de C do sistema.

O C e N são bons indicadores de alterações no manejo adotado no solo. Além disso, a biomassa microbiana do solo, por ser a fração viva do solo, é alterada rapidamente à medida que ocorre mudanças nos fluxos de matéria e energia no sistema solo. Por esse motivo esses atributos podem ser considerados como excelentes indicadores da qualidade do solo, sendo de fácil mensuração, porém devem ser avaliados ao longo do tempo, a fim de se ter informações mais precisas sobre o manejo adotado.

Em SIPA-PD ocorre aporte diferenciado de resíduos vegetais em relação aos sistemas puros de produção de grãos, tanto na superfície quanto no perfil do solo pelas raízes. Com a presença dos animais em pastejo há maior perfilhamento das gramíneas e também maior crescimento do sistema radicular, tanto do pasto como da cultura de grãos cultivada em sucessão e, com isso, o aporte de MOS em SIPA-PD pode ser maior. Souza et al. (2008) em experimento de longa duração em SIPA com a produção de soja na safra e bovinos de corte na segunda safra observaram que a presença do animal influencia positivamente o crescimento radicular de aveia e azevém. Esses autores verificaram que a produção de raízes, na camada de 0-10 cm, variou de 566 a 1238 kg ha⁻¹ em pasto onde não há a presença do animal e com moderada intensidade de pastejo, respectivamente.

Na Tabela 1 são apresentados resultados de diversos trabalhos que compararam o C orgânico total (COT) em sistemas puros de produção em plantio direto (PD) e SIPA em condições Tropicais e Subtropicais no Brasil. Em busca realizada em diversas bases de dados, observa-se que a maior parte das publicações sobre MOS em SIPA no Brasil ocorrem em região tropical. Isso ocorre porque o direcionamento dos estudos sobre a temática no Brasil Central foi à comparação de sistemas de manejo, entre eles o PD e o SIPA. E, geralmente ocorreram em fazendas em que o SIPA era adotado e também outros sistemas de manejo do solo. Com isso, os estudos avaliavam em nível de fazenda os diferentes atributos de solo, entre eles a MOS. Por outro lado, no Sul do Brasil os estudos foram direcionados ao entendimento do SIPA, principalmente em relação à intensidades de pastejo. Além disso, os estudos no Sul do Brasil são conduzidos em experimentos de longa duração.

Tabela 1. Teores e estoques de Carbono Orgânico Total (COT) em Sistemas Puros de Produção sob Plantio Direto (PD) e em Sistemas Integrados de Produção Agropecuária sob plantio direto (SIPA) em diferentes regiões do Brasil.

Indicador	Sistema		Clima	Argila	Fonte
	PD	SIPA		(%)	
COT (Mg ha ⁻¹) ¹	58	59	Subtropical	54	Asmann (2013)
COT (g kg ⁻¹) ¹	13,2	11,8	Subtropical	17	Carvalho et al. (2016)
COT (Mg ha ⁻¹) ¹	59,4	59,6	Subtropical	62	Paier (2015)
COT (g kg ⁻¹) ⁴	46,9	46,2	Subtropical	51	Balbinot Jr et al. (2011)
COT (g kg ⁻¹) ³	18,2	24,5	Subtropical	63	Boeni et al. (2014)
COT (g kg ⁻¹) ²	21,9	23,0	Tropical	>60	Loss et al. (2013)
COT (g kg ⁻¹) ²	8,9	10,0	Tropical	5	Souza et al. (2006)
COT (Mg ha ⁻¹) ¹	43,0	51,0	Tropical	66	Loss et al. (2013)
COT (g kg ⁻¹) ¹	36,4	55,6	Tropical	48	Gazolla et al. (2015)
COT (Mg ha ⁻¹) ⁵	104,2	101,0	Tropical	71	Silva et al. (2011)
COT (g kg ⁻¹) ¹	19,7	19,5	Tropical	49	Silveira et al. (2011)
COT (g kg ⁻¹) ³	22,4	30,0	Tropical	54	Boeni et al. (2014)
COT (g kg ⁻¹) ³	25,2	21,9	Tropical	36	Boeni et al. (2014)
COT (Mg ha ⁻¹)	42,9	48,0	Tropical	62	Carvalho et al. (2010)
COT (Mg ha ⁻¹) ¹	48,4	54,2	Tropical	52	Carvalho et al. (2010)

¹Teores ou estoques na camada de 0-20 cm; ²Teores ou estoques na camada de 0-10 cm; ³Estoque na camada de 0-5 cm; ⁴Teor na camada de 0-15 cm; ⁵Estoque na camada de 0-30 cm.

De forma geral, o acúmulo de MOS é menos pronunciado em região com clima Subtropical em relação ao clima Tropical (Tabela 1). Percebe-se que o SIPA no subtropical mantém os mesmos teores e estoques de COT que os sistemas puros de produção em PD, mesmo após nove anos de implantação, como no caso do estudo conduzido por Asmann (2013). No subtropical a variação no COT entre PD e SIPA foi de -11,0% a 1,7%, demonstrando pouca influência do SIPA no incremento de MOS nessa região.

Por outro lado, em solos de Cerrado há um considerável aumento nos teores e estoques de COT no SIPA em relação aos sistemas puros de produção em PD, em praticamente todos os estudos. Dos 10 trabalhos avaliados somente três não apresentaram incremento da MOS em SIPA, com incrementos entre 1,1 e 13,1% no PD em relação ao SIPA. Por outro lado, em sete estudos os teores e estoques de COT em SIPA variaram desde baixo incremento (5,0%) até altíssimo incremento (52,7%) em relação ao PD.

Esses dados contrariam informações de que em solos de região subtropical há maior acúmulo de MOS do que em solos de região tropical. De forma geral, a maior produção de resíduos vegetais (fator A da equação) em regiões tropicais chuvosas, favorece a alta adição de resíduos vegetais, promovendo maior incremento de MOS mesmo com a maior atividade microbiana (fator k_2 da equação) nessa região.

Porém, surge a necessidade de estudos de longo prazo e mais detalhados para o entendimento dessa dinâmica diferenciada da MOS em SIPA nessas duas regiões. Além disso, é necessário avaliar o efeito das diferentes combinações de SIPA sobre as variações da MOS, uma vez que, tanto a escolha das culturas a serem utilizadas bem como o manejo adotado são responsáveis por alterações na MOS.

Silva et al. (2014b) estudaram o balanço de C em experimento de longa duração conduzido no Sul do Brasil com SIPA em diferentes intensidades de pastejo. Verificou-se que a biomassa total adicionada ao solo tem influência direta sobre o balanço de C no solo (Tabela 2). A menor adição de biomassa no solo, na maior intensidade de pastejo (10 cm de altura do pasto) promoveu balanço negativo de C no solo, ou seja, ocorre perdas na MOS com o passar do tempo em sistemas com baixa adição de resíduos em SIPA-PD. Por outro lado, a altura de pasto de 20 cm seria a altura mínima de manejo, para aquela condição, para que se mantenham os estoques de C no solo. Ao passo que, quanto menor a intensidade de pastejo (maior adição de biomassa) mais positivo é o balanço de C no solo.

Tabela 2. Balanço de carbono do solo em diferentes alturas de manejo do pasto, na camada de 0 a 20 cm, seguindo o modelo de dinâmica do carbono proposto por Henin e Dupuis (1945) (Silva et al. 2014b).

Intensidade de pastejo (m)	Biomassa adicionada [†]			Entrada de C	K ₁ x A [§] (Anual)	Estoque de C ^{§§}	K ₂ x C ^{††} (Anual)	Balanço de C dC/dt ^{§§§}
	PA ^{††}	Raízes	Total					
Mg ha ⁻¹								
0,10*	4,17 d	1,95 a	6,12 d	2,54 d	0,50 d	44,08 a	0,53 a	-0,04 d
	(±0,54)	(±0,02)	(±0,50)	(±0,21)	(±0,04)	(±0,19)	(±0,05)	(±0,03)
0,20	5,85 c	1,89 ab	7,74 c	3,21 c	0,63 c	46,60 a	0,56 a	0,06 c
	(±0,91)	(±0,09)	(±1,00)	(±0,39)	(±0,06)	(±0,15)	(±0,04)	(±0,03)
0,30	7,83 b	1,80 b	9,63 b	4,06 b	0,79 b	45,00 a	0,54 a	0,25 b
	(±0,25)	(±0,03)	(±0,30)	(±0,11)	(±0,02)	(±1,26)	(±0,02)	(±0,05)
0,40	9,61 a	1,70 c	11,30 a	4,80 a	0,93 a	46,51 a	0,56 a	0,37 a
	(±0,60)	(±0,01)	(±0,60)	(±0,26)	(±0,05)	(±1,32)	(±0,02)	(±0,07)

Médias seguidas pela mesma letra, nas colunas, não diferem pelo teste de Tukey (p <0,05). [†]Biomassa adicionada ao longo de um ano: azevém consorciado com aveia preta + soja; ^{††}PA = parte aérea; [§]K₁ x A = C humificado com base no coeficiente (K₁ = 0,194) proposto por Campos (2006), onde, A = entrada de C; ^{§§}Estoque C; ^{††}K₂ x C = perda de C calculada com base no coeficiente de decomposição, K₂ = 0,012 proposto por Bayer (1996), onde, C = estoque C; ^{§§§}dC/dt = -K₂C^{††} + K₁A[§]; *Altura do pasto (m).

Com isso, pode-se afirmar que em intensidades elevadas de pastejo o sistema se comporta como fonte de C para a atmosfera, enquanto em menores intensidades de pastejo o sistema se comporta como um dreno de C (Silva et al., 2014b). Isso sugere que o manejo inadequado do pasto com altas intensidades de pastejo compromete o potencial dos SIPA em atuar como um dreno de C atmosférico.

Estudos conduzidos por Laroca et al. (2018) e Souza et al. (2018) demonstram que as gramíneas utilizadas em SIPA-PD pouco influenciam os estoques de COT no curto prazo (Tabela 3). Por outro lado, os consórcios com leguminosas incrementam os estoques de COT em cerca de 18%, em relação às gramíneas cultivadas solteiras. Já os estoques de N total são incrementados quando se substitui a gramínea *Uroclhoa ruziziensis* por *U. brizantha* BRS Paiaguás e também ao se consorciar as gramíneas com as leguminosas feijão-caupi e feijão-guandu.

Tabela 3. Estoque de carbono orgânico total (E-COT) e estoque de nitrogênio total (E-NT), na camada de solo 0 a 10 cm, em Sistema Integrado de Produção Agropecuária sob Plantio Direto com consórcio na fase pastagem.

Gramíneas	Consórcios			Média
	Caupi	Guandu	Solteiro	
-----E-COT (Mg ha ⁻¹)-----				
Ruziziensis	32,5	36,7	32,5	33,9
Paiaguás	31,1	37,1	30,4	32,9
Tamani	40,8	33,2	26,8	33,6
Piatã	34,7	33,7	29,8	32,7
Média	34,8	35,2	29,9	
-----E-NT (Mg ha ⁻¹)-----				
Ruziziensis	5,0	5,9	4,5	5,1
Paiaguás	7,0	7,0	5,5	6,5
Tamani	7,0	6,3	4,6	5,9
Piatã	6,0	5,7	5,2	5,6
Media	6,2	6,2	4,9	

Com isso, os sistemas integrados demonstram ser importantes para atenuar o problema da falta de rotação de culturas, pois demonstram incrementos na MOS. Com base nos resultados citados, pode-se afirmar que o aumento da diversidade de plantas no sistema tem promovido benefícios ao solo e planta. Com isso, protocolos

que abordem o incremento de diversidade no sistema deve ser foco das pesquisas, porém, com aumento na diversidade funcional (aumento de famílias de plantas) e não somente na diversidade florística (número de gêneros e espécies).

Com relação à fração viva da MOS observa-se maior sensibilidade em prever alterações nos SIPA. Estudos conduzidos por Souza et al. (2010) avaliaram o C da biomassa microbiana em SIPA sob plantio direto com soja na safra e pasto na safrinha e verificaram incremento de 23% nesse atributo em relação ao plantio direto sem entrada de animais.

Estudos conduzidos no Sul de Mato Grosso em SIPA com soja na safra e pasto consorciado na safrinha indicam melhorias na biomassa microbiana do solo em SIPA com a introdução de consórcios na fase de pastagem. O incremento chega a 3,47 vezes nos SIPA consorciados em relação ao solteiro ou ao plantio direto sem a entrada de animais. Esses resultados indicam que há certo favorecimento do SIPA em relação ao plantio direto mesmo quando solteiro, entretanto, com o aumento na diversidade dos sistemas integrados há incrementos consideráveis na qualidade do solo.

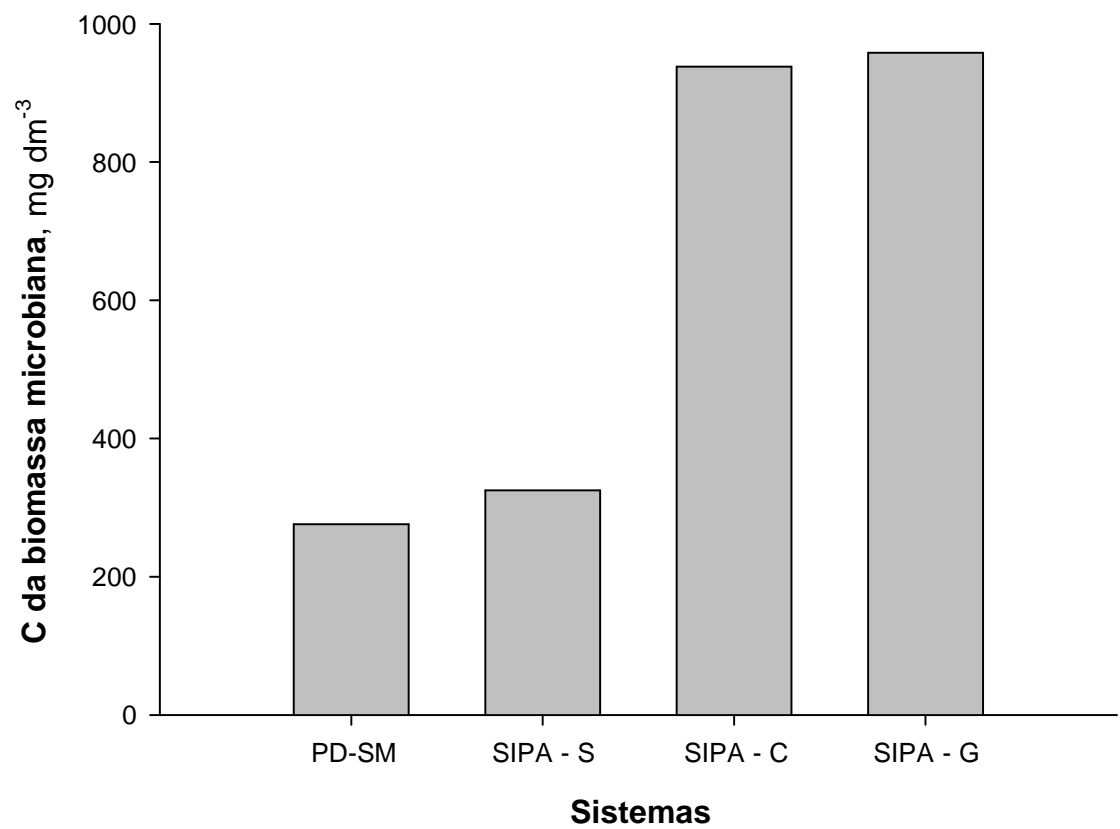


Figura 7. Carbono da biomassa microbiana em Plantio Direto sem entrada de animais (PD-SM), sistema integrado com pasto solteiro (SIPA-S), consorciado com caupi (SIPA-C) e guandu (SIPA-G).

MOS E AGREGAÇÃO DO SOLO EM SIPA

A interação dos minerais, das plantas e da biota edáfica, em função do andamento do fluxo de energia e matéria do sistema solo, segue uma sequência de fenômenos, que resultam na formação dos agregados do solo (Vezzani & Mielniczuk, 2011). Em área nativa o ambiente está em equilíbrio e os principais agentes da agregação (matéria orgânica e microrganismos) atuam com o máximo potencial e complexidade, sendo, portanto, sensíveis às alterações. Com a retirada da vegetação nativa para cultivos agrícolas ocorre perda drástica de MOS, com impacto nos microrganismos, que proporciona ao solo a busca de um novo estado de equilíbrio. O nível do estado de equilíbrio e reorganização do sistema vai depender do manejo do solo, podendo ser baixo em sistema intensivo como nas pastagens mal manejadas e cultivo convencional, ou alto como ocorre em PD e SIPA.

A organização dos agregados do solo, após a retirada da vegetação nativa ou manejo inadequado, depende do reabastecimento e da qualidade dos compostos orgânicos oriundos dos sistemas manejo. Nos sistemas de

manejo conservacionistas, como o SIPA, a deposição de resíduos é constante e de variadas formas (Clegg, 2006), tornando a agregação uma propriedade do solo fruto desses compostos, em conjunto com a ação dos microrganismos. Os benefícios do SIPA estão relacionados à interação solo-planta-animal e os resultados são observados em melhoria nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. As plantas atuam principalmente na adição de MO na superfície e sub-superfície e pela ação mecânica e química das raízes, com produção de substâncias com ação cimentante. A interação da MO com as partículas minerais, estimulada pela constante deposição de biomassa de plantas e resíduo animal, aumenta a agregação ao longo dos anos. Em condições de manejo inadequado pode ocorrer à quebra dos agregados, e o sistema solo tende a retornar à condição de desagregação, ou individualização das partículas (Figura 8).

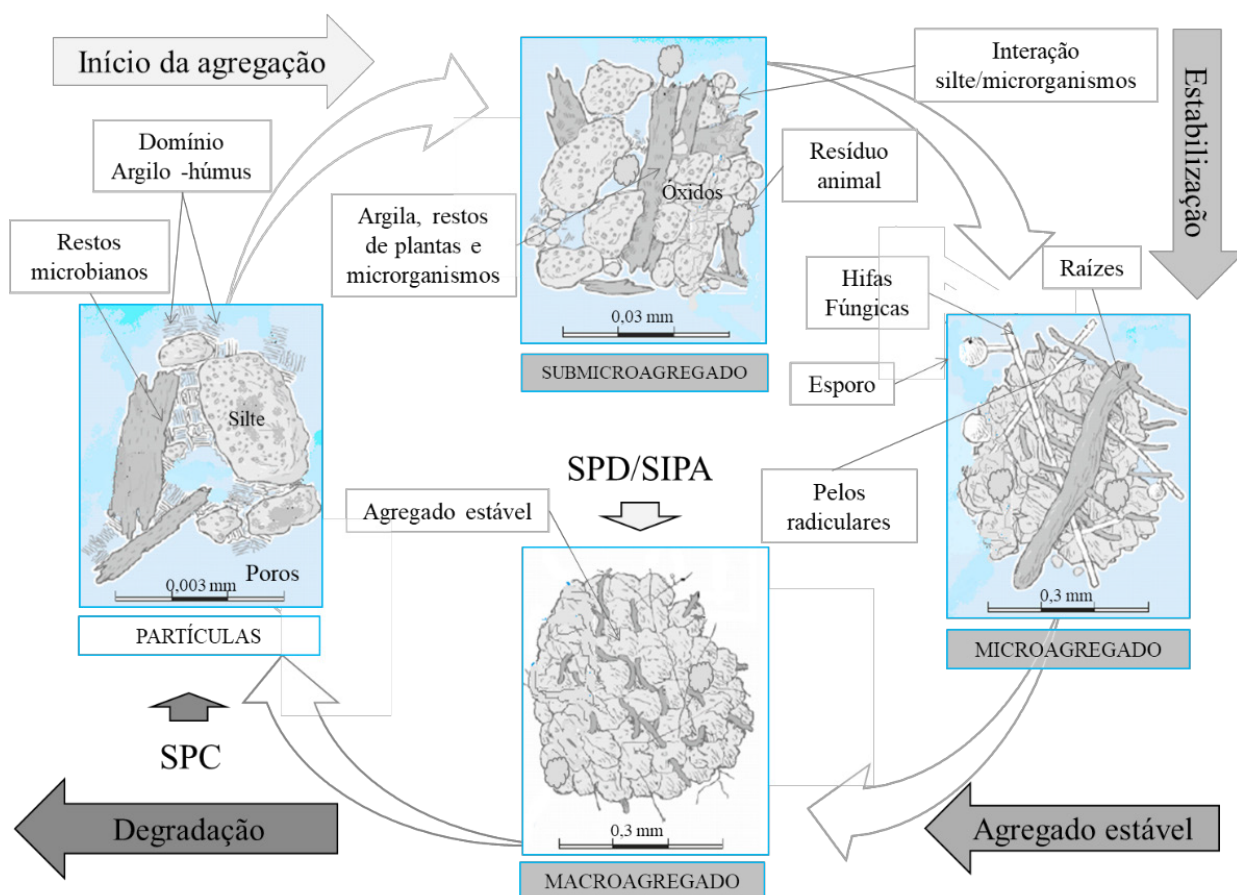


Figura 8. Formação de agregados do solo e seus fatores atuantes neste processo. Adaptado (Oades, 1984). SPD: Sistema Plantio Direto. SIPA: Sistemas Integrados de Produção Agropecuária. SPC: Sistema de Plantio Convencional.

A MO atua no processo de agregação, pela combinação de partículas (microagregados e macroagregados) e fragmentação, pela ação de raízes e microrganismos (macroporos e microporos), resultando em um ambiente que proporciona a interação física, química e biológica no solo. Essa interação vai favorecer a agregação do solo (Figura 8). Isso ocorre, especialmente, devido à produção de substâncias húmicas, que são importantes no processo de formação e estabilização, devido sua ação cimentante, possibilitando a formação de agregados estáveis (Vezzani & Mielniczuk, 2011). A relação da MO com a agregação é fundamentada pelas suas características coloidais, considerando-se que pelo menos uma de suas dimensões ocorre dentro do intervalo de 1-1000 nm, que confere uma grande relação área/volume às partículas do solo (Novotny & Martin-Neto, 2008). As substâncias húmicas possuem propriedades coloidais (cargas elétricas) fruto da ionização e adsorção, podendo ligar-se a fração mineral através de cátions polivalentes, tendo como resultado o aumento da agregação das partículas (Novotny & Martin-Neto, 2008). Portanto, a matéria orgânica adicionada via biomassa vegetal e/ou resíduo animal, no SIPA, é fundamental para que esse processo ocorra no solo.

Estudos em SIPA tem demonstrado a relação da MO com a agregação, onde em áreas com presença animal o diâmetro médio dos agregados aumenta com o aumento do conteúdo de C no solo (Figura 9), principalmente na camada de 0 a 5 e 5 a 10 cm (Souza et al., 2010).

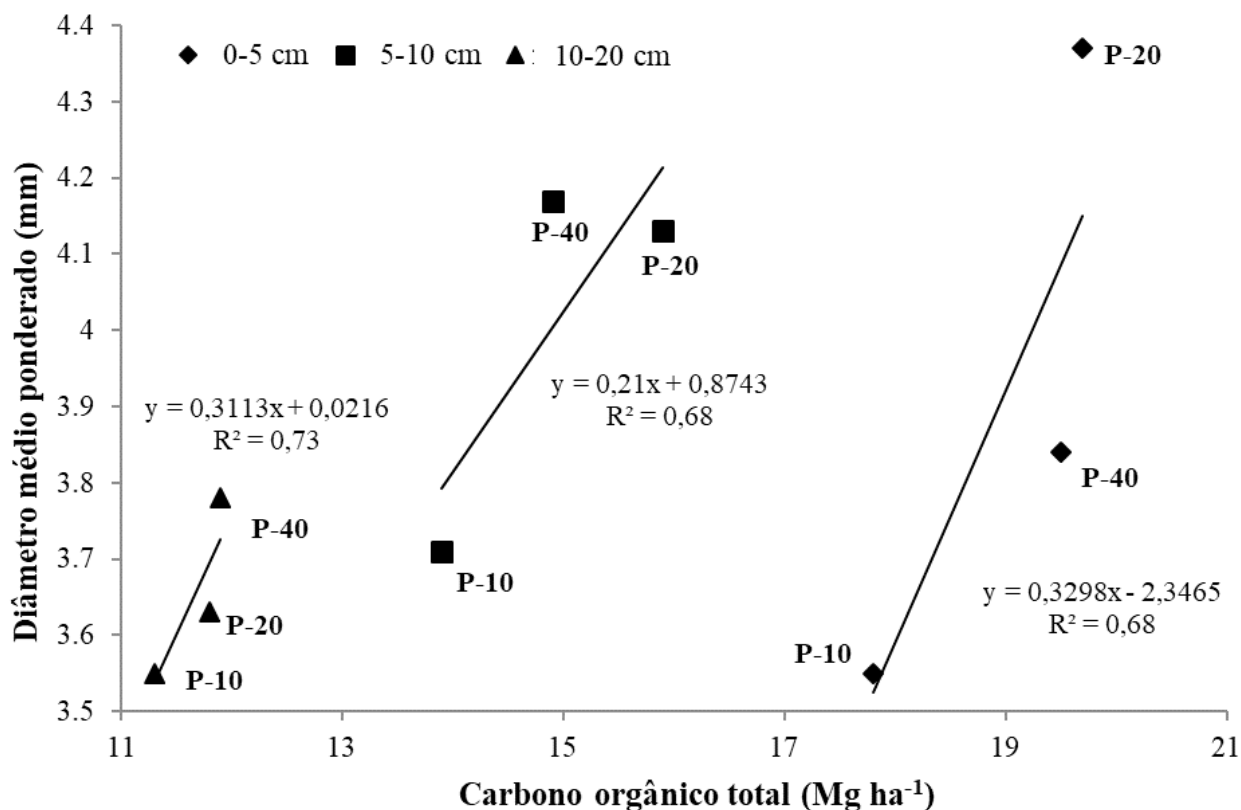


Figura 9. Relação entre os estoques orgânicos totais de carbono e o diâmetro médio ponderado dos agregados nas camadas de 0 a 5, 5 a 10 e 10 a 20 cm em um Latossolo Vermelho em SIPA. P-10, P-20, P-40 representam altura de manejo do pasto 10, 20 e 40 cm, respectivamente.

O cultivo de plantas com sistema radicular fino e agressivo tem se mostrado efetivo na melhoria da agregação do solo, devido à deposição de material orgânico, por intensificar os ciclos de secagem e umedecimento, contribuindo para a redução da compactação e aumento da estabilidade do solo, contra as forças de compressão aplicadas pelas máquinas agrícola e pisoteio de animais. O animal atua na deposição de fezes e urina, que contêm substratos prontamente utilizáveis que pode resultar em aumento da biomassa microbiana (Clegg, 2006; Lovell & Jarvis, 1996), além de aumentar a diversidade da fauna edáfica (Lemaire et al., 2014).

As forrageiras, como por exemplo, a ruziizensis, cultivada em SIPA tem potencial para aumentar a agregação do solo devido a produção de biomassa seca total, que pode atingir até 17,12 Mg ha⁻¹ (raízes na camada 0 a 20 cm e parte aérea) (Bonetti et al., 2015). Portanto, as mudanças na estrutura do solo com o crescimento da raiz, devido à rizo-deposição e aos repetidos ciclos de secagem e umedecimento, alteram a distribuição do tamanho dos poros e distribuição de compostos orgânicos no solo (Bengough, 2012). Produtos como os exsudatos radiculares incluem secreções e mucilagens, os quais são liberados ativamente da raiz, sendo lançadas passivamente devido a diferenças osmóticas entre a solução do solo e a célula (Macnear, 2013) e que contribuem para aumentar a agregação do solo.

As raízes podem liberar de 10 a 250 mg de C/g de raiz produzida, o qual está em formas orgânicas (por exemplo, de ácidos orgânicos de baixo peso molecular) e formas inorgânicas (por exemplo, HCO₃⁻), sendo que as formas orgânicas são as mais variadas e podem ter a maior influência nos processos químicos, físicos e biológicos na rizosfera (Jones et al., 2009). Em adição, o crescimento de gramíneas perenes melhora a agregação do solo devido ao comprimento da raiz e da massa radicular, da densidade radicular, da distribuição de tamanho (Bronick & Lal, 2015), da produção de quantidades elevadas de polissacarídeos e agentes fenólicos na rizosfera das raízes (Gichangi et al., 2016). Portanto, as raízes das plantas e a sua rizosfera têm muitos efeitos na agregação do solo (Bronick & Lal, 2015), na qual a estabilidade dos agregados é maior no solo da rizosfera, comparado com a massa de solo fora da zona da rizosfera (Caravaca et al., 2002).

A agregação deve ser considerada um atributo do solo que integra propriedades (física-química-biológica). A agregação (estabilidade de agregados) deve ser estudada em conjunto com outros atributos, especialmente os

relacionados à MO e propriedades biológicas do solo, evitando assim que considerações errôneas sejam feitas, como: “*solo compactado aumenta a agregação e a estabilidade de agregados*”. De fato, o que aumenta a agregação do solo é o conjunto de fatores, que no SIPA inclui as premissas do sistema PD (mínimo revolvimento do solo, rotação de culturas e solo coberto o ano todo por biomassa), aliado ao fator máster, que é o animal. O SIPA aumenta a diversidade de organismos no solo (Lemaire et al., 2014; Pompeo et al., 2017), e, além disso, a alta atividade biológica estimulada por exsudatos radiculares e minhocas, promovendo a formação de microagregados de MOS, com matriz mineral do solo com alto grau de proteção física (Schmidt et al., 2011). Portanto, o principal fator na abordagem de agregação do solo é a análise integrada dos atributos do solo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O SIPA tem sido difundido no Brasil como uma tecnologia capaz de promover melhorias na qualidade dos sistemas de produção com incrementos na produtividade das culturas produtoras de grãos, no ganho de peso animal e também na matéria orgânica do solo.

Sua adoção por parte dos produtores tem sido crescente a cada ano, entretanto, muitas das tecnologias adotadas foram implantadas sem uma validação científica. Isso porque para se validar um sistema de produção há a necessidade de muito tempo de pesquisa, tempo esse que os agricultores não esperam. Por esse motivo, muitos dos resultados encontrados para a região do Cerrado são baseados em experiência e não em validação científica, sendo o contrário observado no Sul do Brasil.

Entre os principais atributos de solo que são bons indicadores da qualidade do manejo do solo está a matéria orgânica. Esse atributo tem grande importância na dinâmica de diversos processos que ocorrem no solo e por esse motivo são necessários estudos de longo prazo em SIPA a fim de se melhor identificar a dinâmica diferenciada da matéria orgânica nesses sistemas.

Por se tratar de um atributo de solo muito influenciado pelo manejo, os estudos relacionados à matéria orgânica devem sempre estar presentes em protocolos experimentais, sendo talvez o primeiro atributo de solo a ter sua evolução acompanhada, juntamente com atributos biológicos do solo.

Além disso, o responsável técnico pela condução dos SIPA deve compreender que apesar dos princípios desse sistema serem conservacionistas a não observância de um aporte considerável de resíduos ao sistema pode comprometer a eficácia do SIPA.

REFERÊNCIAS

- ASSMANN, J.M. Estoque de carbono e nitrogênio no solo e ciclagem de nutrientes em sistema de integração soja-bovinos de corte em plantio direto de longa duração. 2013. 151f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- ASSMANN, T.S.; ASSMANN A.L.; SOARES, A.B.; CASSOL, L.C.; GIASSEN, M.S.; GIASSEN, N.F. Fixação biológica de nitrogênio por plantas de trevo (*Trifolium spp*) em sistema de integração lavoura-pecuária no Sul do Brasil. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 36, n.5, p.1435-1442, 2007.
- BALBINOT JUNIOR, A.A.; VEIGA, M. da; MORAES, A. de; PELISSARI, A.; MAFRA, A.L.; PICCOLLA, C.D. Winter pasture and cover crops and their effects on soil and summer grain crops. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.46, p.1357-1363, 2011.
- BAYER, C. Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas de manejos de solos. 1996. 240f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, n. 21, n.1, p.105-112, 1997.
- BENGOUGH, A. G. Water dynamics of the root zone: rhizosphere biophysics and its control on soil hydrology. *Vadose zone journal*, v. 11, n. 2, p. 205-212, 2012.
- BOENI, M., BAYER, C., DIECKOW, J., CONCEIÇÃO, P. C., DICK, D. P., KNICKER, H., MACEDO, M. C. M. Organic matter composition in density fractions of Cerrado Ferralsols as revealed by CPMAS ¹³ C NMR: influence of pastureland, cropland and integrated crop-livestock. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 190, p. 80-86, 2014.
- BOLINDER, M. A.; ANGERS, D.A.; GREGORICH, E. G.; CARTER, MR. The response of soil quality indicators to conservation management. *Canadian Journal of Soil Science*, v. 79, n. 1, p. 37-45, 1999.
- BONETTI, J. A.; PAULINO, H.B.; SOUZA, E.D.; CARNEIRO, M.A.C.; SILVA, G.N. Influência do sistema integrado de produção

agropecuária no solo e na produtividade de soja e braquiária. *Pesquisa Agropecuaria Tropical*, v. 45, n. 1, p. 104–112, 2015.

BRAZ, S.P.; NASCIMENTO JR.D.; CANTARUTTI, R.B.; MARTINS, C.E.; FONSECA, D.M.; BARBOSA, R. A. Caracterização da distribuição espacial das fezes por bovinos em uma pastagem de *Brachiaria decumbens*. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.32, n.4, p.787-794, 2003.

BRONICK, C. J.; LAL, R. Soil structure and management : a review. *Geoderma*, v. 124, n.2, p. 3-22, 2005.

CAMPOS, B.C. Dinâmica do carbono em Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo de solo e de culturas. 2006. 188 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Santa Maria.

CARAVACA, F.; HERNANDEZ, C. T.; ROLDAN, G. A. Improvement of rhizosphere aggregate stability of afforested semiarid plant species subjected to mycorrhizal inoculation and compost addition. *Geoderma*, v. 108, p. 133-144, 2002.

CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de latossolos roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 14, p. 99–105, 1990.

CARVALHO, J.S.; KUNDE, R.J.; STÖCKER, C.M.; LIMA, A.C.R.; SILVA, J.L.S. Evolução de atributos físicos, químicos e biológicos em solo hidromórfico sob sistemas de integração lavoura-pecuária no bioma Pampa. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.51, n.9, p.1131-1139, 2016.

CARVALHO, P. C. de F.; ANGUINONI, I.; MORAES, A. de; SOUZA, E. D. de; SULC, R.M.; LANG, C.R.; FLORES, J. P. C.; LOPES, M. L. T.; SILVA, J. L. S. da; CONTE, O.; WESP, C. de L.; LEVIEN, R.; FONTANELI, R.S.; BAYER, C. Managing grazing animals to achieve nutrient cycling and soil improvement in no-till integrated systems. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v.88, p.259-273, 2010.

CLEGG, C. D. Impact of cattle grazing and inorganic fertiliser additions to managed grasslands on the microbial community composition of soils. *Applied soil ecology*, v. 31, n. 1–2, p. 73–82, 2006.

DURING, C.; WEEDA, W. C. Some effects of cattle dung on soil properties, pasture production, and nutrient uptake. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, v. 16, n.3, p. 423-30, 1973.

FUJISAKA, S.; CASTILLA, C.; ESCOBAR, G.; RODRIGUES, V.; VENEKLAAS, E.J.; THOMAS, R.; FISHER, M. The effects of forest conversion on annual crops and pastures: estimates of carbon emissions and plant species loss in a Brazilian Amazon colony. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v.69, n.1, p.17-26, 1998.

GAZOLLA P. R.; GUARESCHI R. F.; PERIN A.; PEREIRA M. G.; ROSSI C. Q. Frações da matéria orgânica do solo sob pastagem, sistema plantio direto e integração lavoura-pecuária. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 36, n.2, p. 693-704, 2015.

GICHANGI, E. M.; NJARUI, D.M.G.; GHIMIRE, S.R.; GATHERU, M.J.; MAGIROI, K.W.N.. Effects of cultivated brachiaria grasses on soil aggregation and stability in the semi-arid tropics of kenya. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, v. 19, n. 2, p. 205–217, 2016.

HAYNES, R.J.; WILLIAMS, P.H. Influence of stock camping behavior on the soil microbiological and biochemical properties of grazed pastoral soils. *Biology and Fertility of Soils*, v.28, n.3, p.253-258, 1999.

HÉNIN, S.; DUPUIS, M. Essai du bilan de la matière organique du sol. *Ann. Agron*, v.15, p. 17-29, 1945.

JONES, D. L.; NGUYEN, C.; FINLAY, R. D. Carbon flow in the rhizosphere : carbon trading at the soil-root interface. *Plant and Soil*, v. 321, p. 5-33, 2009.

KEMPER, W. D.; CHEPIL, W. S. Size distribution of aggregation. In: BLACK, C. A. (Org.). *Methods of Soil Analysis*. Madison: [s.n.], p. 499–510, 1965.

LAL, R. Soil carbon dynamics in cropland and rangeland. *Environmental Pollution*, v.116, n.3, p.353-362, 2002.

LAROCA, J.V.S.; SOUZA, J.M.A.; PIRES, G.C.; PIRES, G.J.C.; PACHECO, L.P.; SANTOS, F.D.; WRUCK, F.J.; CARNEIRO, M.A.C.; SOUZA, E.D. Soil quality and soybean productivity in Crop-Livestock Integration Systems in Direct Planting. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 2018 (no prelo).

LEMAIRE, G.; FRANZLUEBBERS, A.; CARVALHO, P.C.F.; DEDIEU, B. Integrated crop-livestock systems: strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 190, n.1, p. 4–8, 2014.

LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; GIÁCOMO, S.G.; PERIN, A.; ANJOS, L.H.C. Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura - pecuária. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. v.46, n. 1, p. 1269–1276, 2011.

LOSS A.; PEREIRA M. G.; PERIN A.; COUTINHO F. S.; ANJOS L. H. C. Particulate organic matter in soil under different management systems in the Brazilian Cerrado. *Soil Research*, v. 50, n. 8, p. 685–693, 2013.

LOVELL, R. D.; JARVIS, S. C. Effects of urine on soil microbial biomass, methanogenesis, nitrification and denitrification in grassland soils. *Plant and Soil*, v. 186, p. 265–273, 1996.

- MACNEAR, D. H. The rhizosphere-roots , soil and everything in between. *Nature Education Knowledge*, v. 4, n. 3, p. 375-396, 2013.
- MARCHESIN, W.A. Dinâmica de deposição de fezes em pastagem de *Brachiaria brizantha* submetida a intensidades de pastejo. 2005. 63f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Pirassununga.
- MONTEIRO, F.A.; WERNER, J.C. Reciclagem de nutrientes nas pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 14., 1997, Piracicaba. Anais ... Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, p. 55-84, 1997.
- NICOLOSO, R.S. Dinâmica da matéria orgânica do solo em áreas de integração lavoura-pecuária sob sistema plantio direto. 2005. 149p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
- NOVOTNY, E. H.; MARTIN-NETO, L. Propriedades coloidais da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A. et al. (Org.). *Fundamentos da matéria orgânica do solo*. 2. ed. Porto Alegre: Metropole, 2008, 654p.
- OADES, J. M. Soil organic matter and structural stability : mechanisms and implications for management. *Plant and Soil*, v. 76, p. 319-337, 1984.
- PAIER, C.D. Qualidade física e matéria orgânica do solo em sistema de Integração lavoura – pecuária submetido a doses de nitrogênio. 2015.74p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco.
- PAUSTIAN, R.; PARTON W.J.; PERSSON J. Modeling soil organic matter in organic-amended and nitrogen-fertilized long-term plots. *Soil Science Society America Journal*, v.56, n.2, p.476-488, 1992.
- POMPEO, P. N.; OLIVEIRA FILHO, L.C.I.; SANTOS, M.A.B.S.; MAFRA, A.L.; KLAUBERG FILHO, O.; BARETTA, D. Morphological diversity of coleoptera (arthropoda : insecta) in agriculture and forest systems. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 41, p. 1-15, 2017.
- RODRIGUES, A.M.; CECATO, U.; FUKUMOTO, N.M.; GALBEIRO, S.; SANTOS, G.T.; BARBERO, L.M. Concentrações e quantidades de macronutrientes na excreção de animais em pastagem de capim-mombaça fertilizada com fontes de fósforo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.37, n.6, p.990-997, 2008.
- SALTON, J. C. Matéria orgânica e agregação do solo na rotação lavoura-pastagem em ambiente tropical. 2005. 158 p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P.C.; FABRÍCIO, A.C.; MACEDO, M.C.M.; BROCH, D.L.. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, n. 1, p. 11-21, 2008.
- SANTOS, M.E.R.; FONSECA, D.M.; BALBINO, E.M.; GOMES, V.M.; SILVA, S.P. Correlações entre características estruturais e valor nutritivo de perfilhos em pastos de capim-braquiária diferidos e adubados com nitrogênio. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, v.11, n.3, p.595-605, 2010.
- SCHMIDT, M. W. I.; RASGADO, M.S.; ABIVEN, S.; DITTMAR, T.; GUGGENBERGER, G.; JANSSENS, I.A.; KLEBER, M.; KÖGEL-KNABNER, I.; LEHMANN, J.; MANNING, D.A.C.; NANNIPIERI, P.; RASSE, D.P.; WEINER, S.; TRUMBORE, S.W. Persistence of soil organic matter as an ecosystem property. *Nature*, v. 478, p. 49-56, 2011.
- SCHIPPER, L.A., SPARLING, G. P. Performance of soil condition indicators across taxonomic groups and land uses. *Soil Science Society of America Journal*, v.64, n.1, p. 300-311, 2000.
- SILVA, E. D., LOURENTE, E. P. R., MARCHETTI, M. E., MERCANTE, F. M., FERREIRA, A. K. T., FUJII, G. C. Frações lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica em solos sob integração lavoura-pecuária. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 46, n. 10, p. 1321-1331, 2011.
- SILVA, F.D.; AMADO, T.J.C.; BREDEMEIER, C.; BREMM, C., ANGHINONI, I., CARVALHO, P.C.F. Pasture grazing intensity and presence or absence of cattle dung input and its relationships to soybean nutrition and yield in integrated crop–livestock systems under no-till. *European Journal of Agronomy*, v. 57, p. 84–91, 2014a.
- SILVA, F.D., AMADO, T.J.C., FERREIRA, A. O, ASSMANN, J.M., ANGHINONI, I., CARVALHO, P.C.F. Soil carbon indices as affected by 10 years of integrated crop–livestock production with different pasture grazing intensities in Southern Brazil. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 190, p. 60–69, 2014b.
- SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Avaliação do estado de agregação do solo afetado pelo uso agrícola. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 21, n.2 p. 313–319, 1997.
- SILVEIRA, P. M.; SILVA, J. H.; JUNIOR, M. L.; CUNHA P. C. R. da. Atributos do solo e produtividade do milho e do feijoeiro irrigado sob sistema integração lavoura pecuária. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 46, n. 10, p. 1170-1175, 2011.
- SOUZA, E.D.; CARNEIRO, M.A.C.; PAULINO, H.B.; SILVA, C.A.; BUZETTI, S. Frações do carbono orgânico, biomassa e atividade microbiana em um Latossolo Vermelho sob cerrado submetido a diferentes sistemas de manejos e usos do solo. *Acta Scientiarum Agronomy*, v. 28, n. 3, p. 323-329, 2006.
- SOUZA, E. D.; COTA, S. E. V. G. A.; LIMA, C. V. S.; ANGHINONI, I.; MEURER, E. J.; CARVALHO, P. C. F. Carbono orgânico

e fósforo microbiano em sistema de integração agricultura-pecuária submetido a diferentes intensidades de pastejo em plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, p. 1273-1282, 2008.

SOUZA, E. D.; COSTA, S.E.V.G.A.; Anghinoni, I.; Carvalho, P.C.F.; Oliveira, E.V.F.; Martins, A.P.; Cao, E.; Andrighetti, M. Soil aggregation in a crop-livestock integration system under no-tillage. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 34, n. 4, p. 1365–1374, 2010.

SOUZA, J.M.A.; PIRES, G.C.; SILVA, L.S.; LAROCA, J.V.S.; PACHECO, L.P.; SILVA, F.D.; WRUCK, F.J.; CARNEIRO, M.A.C.; SOUZA, E.D. Legume intercrops in an integrated crop-livestock system improve soil attributes and increase soybean productivity, *Soil Tillage*, 2018 (No prelo).

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. O solo como sistema. 1. ed. Curitiba: [s.n.], 2011.

VEZZANI, F.M. Qualidade do sistema solo na produção agrícola. 2001. 184p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

WHITEHEAD, D. C. Nutrient elements in grassland: soil-plant-animal relationships. Department of Soil Science, University of Reading. Reading, UK, 2000. 384p.

WOHLENBERG, E.V.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; BLUME, E. Dinâmica da agregação de um solo franco-arenoso em cinco sistemas de culturas em rotação e em sucessão. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 28, p. 891-900, 2004.

YODER, R. E. A direct method of aggregate analysis of soil and a study of the physical nature erosion losses. *Journal American Society Agriculture*, v. 337–351, p. 337–351, 1936.