

## CARBONO ORGÂNICO TOTAL E OXIDÁVEL EM AGREGADOS DE UM ARGISSOLO ADUBADO COM DEJETOS SUÍNOS

ARCÂNGELO LOSS<sup>1\*</sup>; GUILHERME WILBERT FERREIRA<sup>1</sup>; JUCINEI JOSÉ COMIN<sup>1</sup>;  
MARCOS GERVASIO PEREIRA<sup>2</sup>; VANESSA APARECIDA FREO<sup>2</sup>;  
MARISA DE CÁSSIA PICCOLO<sup>3</sup>; GUSTAVO BRUNETTO<sup>4</sup>

Recibido: 02/07/2019

Recibido con revisiones: 14/12/2019

Aceptado: 14/12/2019

### RESUMEN

Objetivou-se avaliar os teores de carbono orgânico total (COT) e carbono das frações oxidáveis em agregados biogênicos e fisiogênicos em áreas com aplicação de dejetos líquidos de suínos (DLS) e cama sobreposta de suínos (CSS). Após 10 anos do uso de dejetos suínos (DS) na sucessão aveia/milho, coletaram-se amostras indeformadas de solo nas camadas de 0-5 e 5-10 cm, nos tratamentos sem aplicação de DS (testemunha), com aplicação de DLS e CSS em dose equivalente a uma e duas vezes a recomendação de N para o milho e aveia, respectivamente. Os agregados foram separados conforme a via de formação em biogênicos e fisiogênicos. Em seguida, estes agregados foram separados em macro, meso e microagregados. Nestes agregados determinaram-se o COT e apenas nos macroagregados para o C das frações oxidáveis (F1, F2, F3 e F4). A aplicação de DLS aumenta os teores de COT nos microagregados enquanto que o uso da CSS aumenta o conteúdo de COT nos macroagregados. O uso de CSS por longo tempo aumenta o carbono lábil (F1) e recalcitrante (F4) em comparação aos DLS e a testemunha. As frações de carbono oxidáveis permitiram evidenciar diferenças entre os agregados biogênicos e fisiogênicos, sendo maiores nos agregados biogênicos.

**Palavras chave:** dejetos líquidos de suínos, cama sobreposta de suínos, agregado biogênico, agregado fisiogênico

## TOTAL AND OXIDIZABLE ORGANIC CARBON IN AGGREGATES OF AN UDULT FERTILIZED WITH PIG MANURE

### ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the total organic carbon (TOC) and carbon contents of the oxidizable fractions in biogenic and physicogenic aggregates in areas with pig slurry (PS) and deep litter (DL). After 10 years of use of pig manure (PM) in a crop succession with black oat/maize, undisturbed soil samples were collected in the 0-5 and 5-10 cm layers, in the treatments without PM (control) application, with application of PS and DL at a dose equivalent to one and two times the N recommended for maize and black oat, respectively. The aggregates were separated according to the biogenic and physicogenic formation pathway. Then, these aggregates were separated into macro, meso and microaggregates. In these aggregates the TOC was determined in the macro, meso and microaggregates and only in the macroaggregates for the C of the oxidizable fractions (fractions F1, F2, F3 and F4). Application of PS increases the TOC contents in the microaggregates while the DL increases TOC in macroaggregates. The use of DL for a long time increases the labile carbon (F1) and recalcitrant carbon (F4) in comparison to PS and control. Oxidizable carbon fractions showed differences between biogenic and physicogenic aggregates, being greater in the biogenic aggregates.

**Key words:** pig slurry, deep litter, biogenic aggregates, physicogenic aggregates.

1 Programa de Pós-graduação em Agroecossistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC. Brasil.

2 Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ. Brasil.

3 Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP. Brasil.

4 Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Santa Maria, RS. Brasil.

\* Autor de contacto: arcangelo.loss@ufsc.br

## INTRODUÇÃO

O sistema de manejo empregado para o cultivo do solo pode causar modificações nos atributos edáficos, sobretudo em sua agregação (Costa Junior *et al.*, 2012) e com ênfase nos agregados de origem biogênica (Loss *et al.*, 2014; 2017). De acordo com Velasquez *et al.* (2007) e Loss *et al.* (2014), os agregados do solo podem ser classificados como biogênicos e fisiogênicos, sendo estes padrões estabelecidos conforme a sua morfologia. Os agregados biogênicos apresentam formas arredondadas decorrentes da ação da fauna do solo e, ou, do sistema radicular. Os agregados fisiogênicos são aqueles que apresentam formas angulares ou prismáticas, oriundos dos ciclos de umedecimento e secagem. Segundo os autores supracitados, esse padrão de caracterização dos agregados do solo permite inferir sobre o manejo que é adotado nas áreas. Agroecossistemas com práticas de manejo intensivas, como no caso das monoculturas conduzidas no sistema de preparo convencional do solo (SPC) tendem a apresentar dominância de agregados fisiogênicos sobre os biogênicos. Em contrapartida, agroecossistemas manejados de forma mais conservacionistas, a exemplo do sistema de plantio direto (SPD), tendem a apresentar essa proporção de modo inverso, com predomínio de agregados biogênicos. Assim pode-se inferir que a maior proporção de agregados biogênicos está diretamente relacionada com a melhora da qualidade do solo.

O uso de dejetos animais por longo tempo no solo pode melhorar a agregação do solo, aumentando a estabilidade dos agregados (Comin *et al.*, 2013). Dessa forma, pode-se alterar as vias de formação dos agregados do solo, conforme relatado por Pulemann *et al.* (2005) e Loss *et al.* (2017). Em estudo pioneiro conduzido no Brasil durante 10 anos com a aplicação de DS no SPD com aveia/milho, Loss *et al.* (2017) encontraram maiores proporções de agregados biogênicos do solo em áreas submetidas a adubação com dejetos líquidos de suínos (DLS) e cama sobreposta de suínos (CSS) em comparação à área testemunha, que não recebeu a adição de DS, a qual apresentou maiores proporções de agregados fisiogênicos.

Os agregados do solo podem ser separados por classes de tamanho, sendo macroagregados ( $8,0 > \emptyset \geq 2,0$  mm), mesoagregados ( $2,0 > \emptyset \geq 0,25$  mm) e microagregados ( $\emptyset < 0,25$  mm) (Costa Junior *et al.*, 2012). Em relação a formação dos agregados, os microagregados são unidos por materiais orgânicos persistentes e substâncias poliméricas que associados a materiais como raízes de plantas e hifas de fungos formam e estabilizam os meso e macroagregados (Stevenson, 1994). Os macroagregados e os microagregados são mais suscetíveis ao manejo empregado no solo, por exemplo, têm-se maior quantidade de macroagregados estáveis em solos manejados sobre SPD em comparação ao sistema de preparo convencional (SPC). Entretanto, nos agregados de tamanho intermediário (mesoagregados) é que se refletem as diferenças na dinâmica do carbono sob diferentes sistemas de manejo (Fernández *et al.*, 2010; Costa Junior *et al.*, 2012).

Porém, dependendo do sistema de manejo e do tempo de adoção do sistema, somente a quantificação dos teores de carbono orgânico total (COT) do solo pode não evidenciar diferenças entre os sistemas e, ou, tratamentos avaliados (Loss *et al.*, 2014; Silva Neto *et al.*, 2016). Dessa forma, Chan *et al.* (2001) propuseram fracionar o COT em quatro frações com graus decrescentes de oxidação, por meio da utilização de quantidades crescentes de ácido sulfúrico, sendo denominadas de frações oxidáveis F1, F2, F3 e F4, correspondendo, respectivamente, às concentrações de 3, 6, 9 e 12 mol L<sup>-1</sup> de ácido sulfúrico. As duas primeiras frações estão mais relacionadas à disponibilidade de nutrientes e à formação e estabilização de macroagregados, enquanto que as duas últimas estão relacionadas à compostos de maior estabilidade química e peso molecular, comuns nas frações humificadas da matéria orgânica de maior tempo de residência no solo. O estudo dessas frações se torna muito importante, visto que elas auxiliam na interpretação da dinâmica de C no solo (Silva Neto *et al.*, 2016; Bieluczyk *et al.*, 2017).

Avaliando os teores de COT e das frações oxidáveis em agregados biogênicos e fisiogênicos sob em áreas de floresta em diferentes estágios

de regeneração (estágio inicial, médio e avançado) e uma área de pastagem, Silva Neto *et al.* (2016) não encontraram diferenças entre os teores de COT para os agregados biogênicos em nenhuma das áreas avaliadas. Porém, quando esses autores fracionaram o COT, observaram maiores teores de carbono nas frações F1, F2 e F3 nas áreas de floresta estágio avançado e pastagem em comparação áreas de floresta estágio médio e inicial de regeneração.

A hipótese deste trabalho é de que a aplicação de DS aumenta o conteúdo de carbono nos agregados biogênicos em comparação aos fisiogênicos; e que o uso por longo tempo de CSS aporta mais C lábil e recalcitrante, contribuindo para formação de agregados e para o acúmulo de C no solo. Dessa forma, este trabalho objetivou avaliar os teores de COT e das frações oxidáveis nos agregados biogênicos e fisiogênicos do solo de diferentes tamanhos sob áreas com aplicação de DLS e CSS.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em 2002, em Argissolo Vermelho-Amarelo, cultivado sob SPD com a sucessão aveia/milho, em Braço do Norte, SC, Brasil. O clima é do tipo subtropical úmido mesotérmico (Cfa), com precipitação média anual de 1.471 mm (Alvares *et al.*, 2013). Previamente à instalação do experimento, na camada de 0-10 cm, conforme Donagema *et al.* (2011), encontrava-se  $\text{pH-H}_2\text{O} = 5,1$ , argila =  $330 \text{ g kg}^{-1}$ , Al =  $0,8 \text{ cmolc dm}^{-3}$ , Mg =  $0,8 \text{ cmolc dm}^{-3}$ , Ca =  $3,0 \text{ cmolc dm}^{-3}$ , P =  $19 \text{ mg dm}^{-3}$ , K =  $130 \text{ mg dm}^{-3}$  e matéria orgânica =  $33,0 \text{ g kg}^{-1}$ .

Em dezembro de 2002 foi aplicado na superfície do solo  $6 \text{ Mg ha}^{-1}$  de calcário (PRNT = 87,5%), para elevar o pH em água até 6,0 (CQFS-RS/SC, 2004). Em seguida, foram instalados cinco tratamentos: testemunha (sem adubação); adubação com dejetos líquido de suínos (DLS), equivalente a recomendação de  $\text{N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  para a cultura do milho e da aveia (DLS1X); adubação com DLS, equivalente ao dobro da recomendação de  $\text{N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  para a cultura do milho e da aveia (DLS2X); adubação com cama sobreposta de suínos (CSS), equivalente a recomendação de  $\text{N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  para

a cultura do milho e da aveia (CSS1X) e adubação com CSS, equivalente ao dobro da recomendação de  $\text{N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  para a cultura do milho e da aveia preta (CSS2X).

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com cinco tratamentos e três repetições. A quantidade necessária de dejetos para suprir a demanda de N para a sucessão aveia/milho em cada tratamento, usada ao longo do período de 2002 até 2012 foi estabelecida de acordo com a recomendação proposta pela Comissão Química e Fertilidade do Solo (CQFS RS/SC, 2004), que é de  $30 \text{ kg de N ha}^{-1}$  para a aveia e  $70 \text{ kg de N ha}^{-1}$  para o milho. O DLS foi coletado em esterqueira de sistema de criação ciclo completo situada na mesma propriedade na qual o experimento foi instalado. A CSS foi obtida na Escola Agrotécnica Federal de Concórdia, onde o sistema de criação de suínos é feito com substrato de maravalha.

A média de massa seca (MS) e volume de dejetos aplicados, assim como a caracterização dos dejetos ao longo dos 10 anos de aplicações encontram-se na **Tabela 1**. Em cada tratamento foram abertas três trincheiras ( $40 \times 40 \times 40 \text{ cm}$ ) nas entrelinhas do milho e coletadas amostras indeformadas de solo nas camadas de 0-5 e 5-10 cm. No laboratório, as amostras foram secas à sombra, destorroadas manualmente, seguindo as fendas ou pontos de fraqueza e peneiradas em um conjunto de peneiras de malha de 9,5; 8,0 e 4,0 mm, para obtenção dos agregados do solo (Donagema *et al.*, 2011). Para a separação dos agregados conforme a via de formação, utilizaram-se os agregados contidos no intervalo de 9,5 a 8,0 mm. Estes foram observados sob microscópio binocular e separados à mão conforme Velasquez *et al.* (2007), em agregados fisiogênicos e biogênicos. Após a separação dos agregados, estes foram submetidos a análise de estabilidade dos agregados via úmida, conforme Donagema *et al.* (2011). Para tal, os agregados foram novamente passados na peneira de 8,00 e 4,00 mm, sendo pesados 25 gramas dos agregados retidos na peneira de 4,00 mm para a avaliação da estabilidade. O material pesado foi transferido para uma peneira de 2,00 mm. Esta compõe um conjunto de peneiras de malhas decrescentes, com

os seguintes diâmetros: 2,00; 1,00; 0,50; 0,25 e 0,105 mm, conforme metodologia descrita em Donagema *et al.* (2011). Os agregados inicialmente colocados na peneira de 2,00 mm foram umedecidos com borrifador de água e, posteriormente, o conjunto de peneiras foi submetido à tamisação vertical via úmida por 15 minutos no Yoder. Transcorrido esse tempo, o material retido em cada peneira foi retirado, separado com jato d'água, colocado em placas de Petri previamente pesadas e identificadas, e levado à estufa de circulação de ar, à 60°C, até a obtenção de massa seca constante. Em seguida, com a massa seca dos agregados de cada peneira, fez-se a sua separação nas seguintes classes de diâmetro médio, conforme Costa Junior *et al.* (2012):  $8,00 > \emptyset \geq 2,0$  mm (macroagregados);  $2,0 > \emptyset \geq 0,25$  mm (mesoagregados) e  $\emptyset < 0,25$  mm (microagregados). Para a caracterização química dos macro, meso e microagregados, estes foram macerados em gral de porcelana e passados por peneira de 100 mesh (150  $\mu$ m). Neste material determinaram-se os teores de COT via auto-analisador elementar acoplado a um espectrômetro de massa "Carlo Erba/Delta Plus; e o carbono das frações oxidáveis (Chan *et al.*, 2001), obtendo-se as frações de carbono F1, F2, F3 e F4. O carbono

das frações oxidáveis foi determinado apenas nos macroagregados.

Os resultados foram submetidos à análise de variância com aplicação do teste F e os valores médios dos tratamentos, quando significativos pelo teste F, foram comparados entre si pelo teste Skott-knott a 5% de probabilidade com o auxílio do software Sisvar 5.6. Foram feitas comparações entre os tratamentos para cada tipo de agregado e também comparações entre os tipos de agregados em cada tratamento.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Teores de carbono orgânico total nas classes de agregados

Os menores teores de COT para macroagregados biogênicos foram encontrados no tratamento com DLS2X (0-5 cm) e DLS2X e testemunha (5-10 cm). Nos macroagregados fisiogênicos, os menores teores de COT também foram observados nos tratamentos com DLS e a testemunha (0-5 cm) e DLS2X e testemunha (5-10 cm). Os tratamentos com CSS, de maneira geral, apresentaram maiores teores de COT entre os tratamentos, para macroagregados biogênicos e fisiogênicos. Entre os agregados dentro de cada tratamento, verificaram-se diferenças apenas na profundidade

**Tabela 1.** Volume de dejetos líquido de suínos (DLS) e quantidade de cama sobreposta de suínos (CSS) aplicados no solo, caracterização química dos dejetos e produção média por safra de matéria seca de aveia e grãos de milho, em Mg ha<sup>-1</sup>, ao longo de 10 anos de aplicação de dejetos de suínos.

**Table 1.** Amount of pig slurry (PS) and deep litter (DL) applied to the soil, chemical waste characterization and average yield per crop of dry matter of oats and corn grains, in Mg ha<sup>-1</sup>, during 10 years of application of swine manure.

Ano agrícola	MS %	C/N ---	pH ---	CE ds m <sup>-1</sup>	VA ----	Ca	Mg	N	P	K
	-----kg ha <sup>-1</sup> -----									
2002/12	Dejetos líquidos de suínos (DLS)									
	2,25	4,4	8,1	9,3	538,90	68,75	26,38	126,25	37,88	62,75
2002/12	Cama sobreposta de suínos (CSS)									
	50,95	13,2	8,8	5,9	153,10	322,38	97,88	171,06	103,13	169,50

Tratamentos	Dados de produção	
	MS da aveia	MS de grãos de Milho
TESTEMUNHA	6,5	2,9
DLS1X	8,1 (25%)	5,0 (72%)
DLS2X	8,7 (34%)	5,5 (90%)
CSS1X	8,2 (26%)	5,6 (93%)
CSS2X	8,9 (37%)	6,0 (107%)

MS=massa seca; CE=condutividade elétrica; VA=volume aplicado, sendo para DLS em m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> e para CSS em Mg ha<sup>-1</sup>. Dados de produção retirados de Loss *et al.* (2017). Para os dejetos, tem-se o somatório das quantidades totais aplicadas ao longo do período de 2002-2012.

Para a caracterização dos dejetos tem-se a média dos valores obtidos ao longo de 2002-2012. O número entre parênteses representa o aumento % em relação à testemunha. DLS1X, DLS2X = dejetos líquido de suínos, 1 e 2 vezes a quantidade; CSS1X, CSS2X= cama sobreposta de suínos, 1 e 2 vezes a quantidade

**Tabela 2.** Distribuição dos teores de COT nos macro, meso e microagregados biogênicos e fisiogênicos sob sistema de plantio direto do solo em Braço do Norte, Santa Catarina, Brasil.

**Table 2.** Distribution of TOC levels in biogenic and physiogenic macro, meso and microaggregates in no-tillage system of soil in Braço do Norte, Santa Catarina, Brazil.

Sistemas de uso do solo	Macroagregados (8,0 > X ≥ 2,0 mm)		Mesoagregados (2,0 > X ≥ 0,25 mm)		Microagregados (0,25 > X ≥ 0,105 mm)	
	Biogênico	Fisiogênico	Biogênico	Fisiogênico	Biogênico	Fisiogênico
	-----g kg <sup>-1</sup> -----					
	0-5 cm					
Test	54,92 Aa	48,82 Ba	32,47 Ab	47,72 Ba	23,03 Ab	52,80 Ba
DLS1X	49,38 Aa	44,10 Ca	28,82 Aa	46,01 Ba	26,38 Ab	46,83 Ba
DLS2X	32,18 Ba	30,24 Da	29,68 Ab	92,37 Aa	20,57 Bb	82,53 Aa
CSS1X	63,25 Aa	57,97 Aa	34,40 Ab	96,54 Aa	16,96 Bb	30,13 Da
CSS2X	57,14 Aa	61,31 Aa	28,01 Aa	34,68 Ca	20,47 Bb	40,10 Ca
CV(%)	10,97	11,67	17,29	8,15	9,20	9,41
	5-10 cm					
Test	18,03 Da	15,81 Ba	48,05 Ab	68,09 Ba	30,17 Bb	62,43 Aa
DLS1X	37,73 Ba	36,06 Aa	28,85 Cb	48,27 Ca	40,00 Ab	52,93 Ba
DLS2X	22,75 Ca	18,03 Bb	27,75 Cb	96,26 Aa	21,80 Cb	33,10 Ca
CSS1X	41,33 Ba	40,22 Aa	35,56 Ba	26,49 Ea	10,50 Db	30,70 Ca
CSS2X	46,60 Aa	34,12 Ab	35,79 Ba	33,90 Da	22,77 Cb	34,17 Ca
CV (%)	7,74	10,08	10,91	6,62	8,99	9,58

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre os sistemas de uso do solo para cada tipo de agregado e mesma letra minúscula na linha não difere entre os tipos de agregados para cada sistema avaliado (teste Skott-Knott,  $p < 0,05$ ). Test = testemunha; DLS1X, DLS2X = dejetos líquidos de suínos, 1 e 2 vezes a quantidade; CSS1X, CSS2X = cama sobreposta de suínos, 1 e 2 vezes a quantidade; CV = coeficiente de variação.

de 5-10 cm para CSS2X e DLS2X, com os maiores teores de COT encontrados nos macroagregados biogênicos (**Tabela 2**).

Para os mesoagregados, nos biogênicos verificaram-se diferenças apenas na profundidade de 5-10 cm, com maiores teores de COT na testemunha e menores nos tratamentos com DLS. Nos fisiogênicos, os maiores teores de COT foram encontrados nos tratamentos com CSS1X e DLS2X, sendo no tratamento com CSS2X verificado o menor teor de COT (0-5 cm). Na profundidade de 5-10cm, os tratamentos com CSS e DLS1X apresentaram os menores teores de COT. Na comparação entre os agregados, verificaram-se maiores teores de COT nos fisiogênicos nas duas profundidades para os tratamentos CSS1X, DLS e testemunha (0-5cm) e testemunha e DLS (5-10cm).

Os maiores teores de COT para os microagregados biogênicos, nas duas profundidades, foram encontrados nos tratamentos DLS1X e testemun-

ha, com menores teores de COT para os demais tratamentos, destacando-se o tratamento com CSS1X que apresentou o menor teor para 5-10 cm. Para os microagregados fisiogênicos, o maior teor de COT foi encontrado no tratamento DLS2X e os menores, nos tratamentos com CSS para 0-5 cm. Para a profundidade de 5-10 cm, os maiores teores de COT foram encontrados nos tratamentos testemunha e DLS1X, sendo os demais tratamentos com menores valores. Na comparação entre os agregados, os microagregados fisiogênicos apresentaram maiores teores de COT para todos os sistemas de uso do solo nas duas profundidades.

De maneira geral, os maiores valores de COT na classe dos macroagregados biogênicos e fisiogênicos para os tratamentos com CSS podem ser devidos a maior relação C/N, maior quantidade de MS e ao maior aporte de C presente na CSS em comparação aos DLS (**Tabela 1**). Segundo Brunetto *et al.* (2012), a baixa quantidade de MS

que constitui os DLS implica em uma baixa relação C/N, o que somado ao menor tamanho de partículas no DLS em comparação a CSS, favorece o aumento da velocidade de mineralização do COT contido nesse material, facilitando a sua mineralização pelos microrganismos. Ao contrário disso, a CSS apresenta maior quantidade de COT devido a maior quantidade de MS e maior aporte de C (**Tabela 1**). O aporte de C pela CSS é maior que dos DLS (**Tabela 1**), sendo também mais recalcitrante, o que causa uma decomposição mais lenta no solo. Isto implica em maior recuperação como COT e formação de macroagregados. O uso continuado no solo de CCS por 10 anos também aumenta o conteúdo de matéria orgânica particulada (MOP), e isto favorece a formação de agregados, pois a MOP pode formar pontes de nucleação contribuindo para a formação de microagregados no interior de macroagregados (Golchin *et al.*, 1994).

No tratamento com DLS, comparando-se as doses (DLS1X e DLS2X), verificou-se uma diminuição dos teores de COT na maior dose (DLS2X) nas duas profundidades para biogênicos e fisiogênicos. Isto também pode estar associado a menor relação C/N desse material e altas quantidades aplicadas de DS, o que favorece uma maior disponibilidade de material de baixa relação C/N (**Tabela 1**), aumentando a atividade dos microrganismos e, conseqüentemente, tem-se uma mineralização mais rápida do COT (Giacomini *et al.*, 2008) nesse tratamento para os macroagregados.

Os maiores teores de COT para o tratamento com DLS nos mesoagregados fisiogênicos e microagregados biogênicos e fisiogênicos, nas duas profundidades, podem ser decorrentes da maior interação dos dejetos líquidos com a fração argila, principalmente nos agregados fisiogênicos, que tem maiores teores de argila que os biogênicos (Ventura *et al.*, 2018). A adsorção dos ácidos orgânicos aos componentes da fração argila gera uma proteção química que potencializa a estabilidade do COT associado à fase mineral dos microagregados (Burak *et al.*, 2011).

Neste estudo, a agregação do solo segue a teoria da hierarquia dos agregados, onde agregados menores se unem, formando os agregados maiores (Tisdal & Oades, 1982). Dessa forma, tem-se

a interação da argila com compostos orgânicos persistentes, tais como o carbono da fração húmica (Ventura *et al.*, 2018 favorecendo a formação dos microagregados. Por sua vez, da união dos microagregados surgem os macroagregados, que são estabilizados por meio de compostos transitórios, tais como as frações mais lábeis da matéria orgânica (Fração F1, **Tabela 3**), adicionados ao solo *via* sistema radicular e deposição de resíduos vegetais, conforme relataram Barreto *et al.* (2009). Dessa forma, nos macroagregados biogênicos, com ênfase para 0-5 cm, e nos macroagregados biogênicos e fisiogênicos, ambos com CSS, tem-se teores de COT oriundo da união dos microagregados que são nucleados pelo sistema radicular e a fração F1, formando os macroagregados, e assim aumenta a proteção do COT no interior dos agregados. Isso pode causar os maiores teores de COT nesses macroagregados. De acordo com Chan *et al.* (2001), a fração F1 está associada à formação de macroagregados, os quais dependem da ligação das moléculas orgânicas com a argila para sua formação.

### Teores de carbono das frações oxidáveis nos macroagregados

Os maiores teores de carbono das frações mais lábeis, fração F1 e F2, foram observados nos tratamentos com CSS, sendo para a fração F1 verificados maiores teores para CSS2X (0-5 cm) e CSS1X e CSS2X (5-10 cm), em ambos os agregados. Os biogênicos, para a fração F1, mostraram-se mais sensíveis para evidenciar diferenças entre os tratamentos quando comparado aos fisiogênicos. A área testemunha apresentou os menores valores da fração F1, não diferindo da área com DLS1X (0-5 cm). A fração F2 apresentou menores valores na área testemunha (0-5 cm) e não diferiu da área com DLS para a profundidade de 5-10 cm, nos agregados biogênicos. Para os agregados fisiogênicos (F1 e F2), a área testemunha e os tratamentos com DLS apresentaram os menores valores, com exceção da profundidade de 5-10 cm para a fração F2, que não diferiu do tratamento com CSS (**Tabela 3**).

Entre os agregados, verificaram-se diferenças para a fração F1 (0-10 cm) e F2 (0-5 cm), com maiores valores para os agregados

**Tabela 3.** Carbono das frações oxidáveis nos macroagregados ( $8,0 > X \geq 2,0$  mm) biogênicos e fisiogênicos sob sistema de plantio direto do solo em Braço do Norte, Santa Catarina, Brasil.

**Table 3.** Oxidizable carbon fractions in the biogenic and physiogenic macroaggregates ( $8.0 > X \geq 2.0$  mm) in no-tillage system of soil in Braço do Norte, Santa Catarina, Brazil.

Tratamentos	F1		F2		F3		F4	
	Bio	Fis	Bio	Fis	Bio	Fis	Bio	Fis
	-----g kg <sup>-1</sup> -----							
	0-5 cm							
Test	13,83 Da	10,38 Bb	6,80 Ca	5,90 Ba	6,00 Ba	5,05 Aa	9,30 Ba	8,35 Ba
DLS1X	14,90 Da	12,15 Bb	10,78 Ba	7,58 Bb	5,30 Ba	4,95 Aa	10,20 Ba	8,50 Bb
DLS2X	15,25 Ca	10,70 Bb	11,03 Ba	6,60 Bb	4,65 Ba	5,28 Aa	9,00 Ba	8,85 Ba
CSS1X	19,63 Ba	12,40 Bb	14,55 Aa	9,58 Ab	6,23 Ba	5,00 Aa	10,15 Ba	11,45 Aa
CSS2X	23,78 Aa	20,73 Ab	11,35 Ba	9,88 Ab	11,7 Aa	6,75 Ab	17,10 Aa	10,33 Ab
CV(%)	12,35	17,70	11,64	18,95	28,64	28,59	17,78	24,07
	5-10 cm							
Test	6,97 Ca	5,53 Bb	3,45 Ba	4,73 Aa	5,83 Ba	3,93 Bb	10,18 Ba	9,75 Ba
DLS1X	9,75 Ba	7,43 Bb	3,98 Ba	3,58 Ba	6,08 Ba	3,68 Bb	10,38 Ba	7,80 Cb
DLS2X	10,13 Ba	6,87 Bb	3,10 Ba	3,85 B a	7,13 Ba	2,70 Bb	10,33 Ba	7,52 Cb
CSS1X	13,00 Aa	11,27 Ab	5,20 Aa	5,18 Aa	9,23 Aa	6,23 Ab	11,25 Aa	7,25 Cb
CSS2X	14,65 Aa	10,30 Ab	5,45 Aa	4,68 Aa	8,33 Aa	5,45 Ab	12,38 Aa	11,50 Aa
CV(%)	8,61	14,41	18,09	26,54	17,40	33,91	20,18	24,55

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre os sistemas de uso do solo para cada tipo de agregado e mesma letra minúscula na linha não difere entre os tipos de agregados para cada sistema avaliado (teste Skott-Knott,  $p < 0,05$ ). Test = testemunha; DLS1X, DLS2X = dejetos líquidos de suínos, 1 e 2 vezes a quantidade; CSS1X, CSS2X = cama sobreposta de suínos, 1 e 2 vezes a quantidade; CV = coeficiente de variação; Bio=biogênico, Fis=fisiogênico.

biogênicos. As frações F1 e F2 são predominantemente constituídas de carbono lábil, oriundos principalmente da decomposição dos resíduos vegetais (Barreto *et al.*, 2009, 2014; Bieluczyk *et al.*, 2017). Portanto, pode-se inferir que o uso de dejetos de suínos (DLS e CSS) favoreceu o aumento de materiais mais lábeis oriundos da decomposição de resíduos vegetais da aveia preta e do milho, conforme consta na **Tabela 1**. A área testemunha, para a fração F1, também acarretou neste padrão, o que indica a eficiência do SPD em aumentar a deposição de resíduos vegetais sobre o solo. Entretanto, na fração F2, para a profundidade de 0-5 cm, apenas a área testemunha não apresentou diferenças entre os tipos de agregados, indicando que o uso dos dejetos de suínos aumenta a produção de biomassa vegetal (**Tabela 1**), conseqüentemente, mais materiais lábeis para o solo. De acordo com Silva Neto *et al.* (2016), nos agregados biogênicos há maiores proporções de carbono lábil (F1 e F2), oriundo

principalmente da decomposição dos resíduos vegetais que são aportados ao solo pelas plantas de cobertura, culturas ou vegetação natural.

Para as frações mais resistentes (F3 e F4), também constataram-se maiores teores de carbono nos tratamentos com CSS, sendo verificados maiores valores para o tratamento com CSS2X nos agregados biogênicos na profundidade de 0-5 cm e, nos tratamentos com CSS1X e CSS2X para agregados biogênicos na profundidade de 5-10 cm, não sendo verificados diferenças entre as demais áreas. Para os agregados fisiogênicos, na fração F3 (0-5 cm) não foram verificadas diferenças, sendo na profundidade de 5-10 cm encontrados os maiores valores para os tratamentos CSS1X e CSS2X. Para a fração F4, também verificaram-se maiores valores para o tratamento com CSS1X e CSS2X (0-5 cm) e somente CSS2X para 5-10 cm. Entre os agregados, para os sistemas que apresentaram diferenças, verificaram-se maiores valores nos biogênicos.

Avaliando os teores de carbono das frações oxidáveis em diferentes sistemas de uso do solo (floresta, pastagem, SPC e SPD), Loss *et al.* (2014) e Silva Neto *et al.* (2016) também encontraram maiores valores de carbono nas frações oxidáveis dos agregados biogênicos. E, entre as frações, as maiores diferenças foram evidenciadas nas frações F1 e F2, indicando que são frações mais lábeis e mais responsivas às mudanças ocasionadas pelos sistemas avaliados.

## CONCLUSÕES

A aplicação de DLS aumenta os teores de COT nos microagregados enquanto que o uso da CSS aumenta o conteúdo de COT nos macroagregados.

O uso de CSS por longo tempo aumenta o carbono lábil (F1) e recalcitrante (F4) em comparação aos DLS e a testemunha.

As frações de carbono oxidáveis foram eficientes para evidenciar diferenças entre os agregados biogênicos e fisiogênicos, sendo maiores nos agregados biogênicos.

## AGRADECIMENTOS

Ao apoio financeiro relacionado à chamada MCTI/MAPA/MDA/MEC/MPA/CNPq N° 81/2013, Edital Universal - MCTI/CNPq N° 14/2012, e à Fundação Agrisus (PA 1087/13 e PA 1521/13).

## BIBLIOGRAFIA

Alvares, CA; JL Stape; PC Sentelhas; JLM Gonçalves & G Sparovek. 2013. Koppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift* 22: 711-728. Doi: 10.1127/0941-2948/2013/0507.

Barreto, RC; BE Madari; JEL Maddock; PLOA Machado; E Torres; J Franchini & AR Costa. 2009. The impact of soil management on aggregation, carbon stabilization and carbon loss as CO<sub>2</sub> in the surface layer of a Rhodic Ferralsol in Southern Brazil. *Agr Ecosyst Environ* 132: 243-251. Doi.org/10.1016/j.agee.2009.04.008.

Barreto, PAB; EF Gama-Rodrigues & AC Gama-Rodrigues. 2014. Carbono das frações da matéria orgânica em solos sob plantações de eucalipto de diferentes idades. *Sci For* 42: 581-590.

Bieluczyk, W; MG Pereira; RF Guareschi; JA Bonetti; VA Freó & EC Silva Neto. 2017. Granulometric and oxidizable

carbon fractions of soil organic matter in crop-livestock integration systems. *Semina: Cienc Agrár* 38: 607- 622. Doi.org/10.5433/1679-0359.2017v38n2p607

- Brunetto, G; JJ Comin; DE Schmittl; R Guardini; CP Mezzari; BS Oliveira; MP Moraes; LC Gatiboni; PE Lovato & CA Ceretta. 2012. Changes in soil acidity and organic carbon in a sandy typic hapludalf after medium-term pig-slurry and deep-litter application. *R Bras Ci Solo* 36: 10-20, 2012. Doi.org/10.1590/S0100-06832012000500026
- Burak, DL; MPF Fontes & T Becquer. 2011. Microagregados estáveis e reserva de nutrientes em Latossolo Vermelho sob pastagem em região de cerrado. *Pesq Agropecu Trop* 41: 229-241. Doi: 10.5216/pat.v41i2.8771.
- Comissão de Química e Fertilidade do Solo – CQFSRS/SC. 2004. Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 10. ed. Porto Alegre.
- Donagem, GK; DVB Campos; SB Calderano; WG Teixeira & JHM Viana (eds). 2011. Manual de métodos de análise do solo. Embrapa Solos.
- Fernández, R; A Quiroga; C Zorati & E Noellemeyer. 2010. Carbon contents and respiration rates of aggregate size fractions under no-till and convencional tillage. *Soil Till Res* 109: 103-109. Doi.org/10.1016/j.still.2010.05.002
- Fernandes, JCF; MG Pereira; EC Silva Neto & TA Correa Neto. 2017. Characterization of biogenic, intermediate and physcogenic soil aggregates of areas in the brazilian atlantic forest. *Rev Caatinga* 30: 59-67. Doi.org/10.1590/1983-21252017v30n107rc
- Giacomini, S; C Aita; ECC Miola & S Recous. 2008. Mineralização do carbono da palha de aveia e dejetos de suínos aplicados na superfície ou incorporados ao solo. *R Bras Ci Solo*. 32: 2661-2668. Doi.org/10.1590/S0100-06832008000700008.
- Golchin, A; JM Oades; JO Skjemstad & P Clarke. 1994. Soil-structure and carbon cycling. *Aus J Soil Res* 32: 1043-1068. Doi.org/10.1071/SR9941043.
- Costa Junior, C; MC Pícolo; M Siqueira Neto; PB Camargo; CC Cerri & M Bernoux. 2012. Carbono em agregados do solo sob vegetação nativa, pastagem e sistemas agrícolas no bioma cerrado. *R Bras Ci Solo* 36: 1311-1321. Doi.org/10.1590/S0100-06832012000400025.
- Loss, A; MG Pereira; EM Costa & SJ Beutler. 2014. Soil fertility, physical and chemical organic matter fractions, natural 13C and 15N abundance in biogenic and physcogenic aggregates in areas under different land use systems. *Soil Res* 52: 685-697. Doi.org/10.1071/SR14045.
- Loss, A; CR Lourenzi; E Santos Junior; C Mergen Junior; L Benedet; MG Pereira; MC Piccolo; G Brunetto; PE Lovato & JJ Comin. 2017. Carbon, nitrogen and natural

- abundance of  $^{13}\text{C}$  and  $^{15}\text{N}$  in biogenic and physico-genic aggregates in a soil with 10 years of pig manure application. *Soil Till Res* 166: 52-58. Doi.org/10.1016/j.still.2016.10.007.
- Pulleman, M M; J Six; A Uyl; CY Marinissen & AG Jongmans. 2005. Earthworms and management affect organic matter incorporation and microaggregate formation in agricultural soils. *Appl Soil Ecol* 29: 1-15. Doi.org/10.1016/j.apsoil.2004.10.003.
- Stevenson, FJ. 1994. *Humus chemistry: Genesis, composition, reactions*. 2.ed. New York, John Wiley & Sons.
- Silva Neto, EC; MG Pereira; JCF Fernandes & TA Corrêa Neto. Aggregate formation and soil organic matter under different vegetation in Atlantic Forest from Southeastern Brazil. *Semina: Ci Agrar* 37: 3937-3940. Doi.org/10.5433/1679-0359.2016v37n6p3927.
- Tisdall, JM & LM Oades. 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soil. *Eur J Soil Sci* 33: 141-163 Doi.org/10.1111/j.1365-2389.1982.tb01755.x
- Velasquez, E; C Pelosi; D Brunet; M Grimaldi; M Martins; AC Rendeiro; E Barrios & P Lavelle. 2007. This ped is my ped: Visual separation and near infrared spectra allow determination of the origins of soil macroaggregates. *Pedobiologia* 51: 75-87. Doi.org/10.1016/j.pedobi.2007.01.002.
- Ventura, BS; A Loss, LD Giumbelli; GW Ferreira; AC Bueno; CR Lourenzi; JJ Comin & G Brunetto. 2018. Carbon, nitrogen and humic substances in biogenic and physicogenic aggregates of a soil with a 10-year history of successive applications of swine waste. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 21: 1-15. <http://www.revista.ccba.uady.mx/urn:ISSN:1870-0462-tsaes.v21i2.247>