

Atributos químicos em agregados biogênicos e fisiogênicos de solo submetido à aplicação com dejetos suínos

Carlos Aristeu Mergen Junior¹, Arcângelo Loss¹, Elano dos Santos Junior¹,
Guilherme Wilbert Ferreira¹, Jucinei José Comin¹, Paulo Emílio Lovato¹, Gustavo Brunetto²

¹ Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia Rural, Florianópolis, SC, Brasil. E-mail: carlosmergen@hotmail.com (ORCID: 0000-0001-8361-4400); arcangelo.loss@ufsc.br (ORCID: 0000-0002-3005-6158); elanoagro@gmail.com (ORCID: 0000-0003-1417-1698); guilhermewferreira@hotmail.com (ORCID: 0000-0002-1768-2058); j.comin@ufsc.br (ORCID: 0000-0002-6176-6208); paulo.lovato@ufsc.br (ORCID: 0000-0001-5828-696X)

² Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Solos, Santa Maria, RS, Brasil. E-mail: brunetto.gustavo@gmail.com (ORCID: 0000-0002-3174-9992)

RESUMO: Aplicações sucessivas de dejetos suínos no solo podem promover aumento dos teores dos atributos químicos do solo, com ênfase naqueles presentes nos agregados biogênicos. Objetivou-se quantificar os teores de carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT), pH, Al, Ca, Mg, P e K, nos agregados biogênicos e fisiogênicos do solo sob áreas com aplicação de dejetos líquidos de suínos (DLS) e cama sobreposta de suínos (CSS). Após 10 anos do uso de dejetos suínos em sistema plantio direto com a sucessão aveia preta/milho, coletaram-se amostras indeformadas de solo nas camadas de 0-5 e 5-10 cm, nos tratamentos sem dejetos (testemunha), com aplicação de DLS e CSS em doses equivalentes a uma e duas vezes a recomendação de N para o milho e aveia (DLS1X, DLS2X, CSS1X e CSS2X, respectivamente). Os agregados foram separados conforme a via de formação em biogênicos e fisiogênicos, sendo posteriormente feitas as análises químicas. A aplicação de CSS aumentou os teores de COT e NT em relação à testemunha e as áreas com DLS, que não se diferenciaram entre si. O uso de DLS aumentou os teores Ca (0-10 cm), K (DLS1X para 0-10 cm) e P (5-10 cm), e não alterou os teores de Mg e NT, em relação à testemunha; enquanto o uso de CSS aumentou o Mg (0-5 cm), Ca, N, P e K (0-10 cm) quando comparado aos DLS e à testemunha. Os agregados biogênicos favorecem o aumento de N, P, K, Mg e COT em relação aos fisiogênicos.

Palavras-chave: cama sobreposta de suínos; dejetos líquidos de suínos; fertilidade do solo; gênese dos agregados; sistema plantio direto

Chemical attributes in biogenic and physiogenic aggregates of soil submitted to swine manure application

ABSTRACT: Successive applications of swine manure in soil can promote increases of contents of soil chemical attributes, with emphasis on those present in the biogenic aggregates. The objective of this study was to quantify total organic carbon (TOC), total nitrogen (TN), pH, Al, Ca, Mg, P and K, in the biogenic and physiogenic aggregates of the soil under areas with pig slurry (PS) and deep litter (DL). After 10 years of use of swine manure in no-tillage system with black oat/maize succession, undisturbed soil samples were collected in the 0-5 and 5-10 cm layers, in the treatments without wastes (control), with application of PS and DL in doses equivalent to one and two times the recommended N for corn and oats (PS1X, PS2X, DL1X and DL2X, respectively). The aggregates were separated according to the biogenic and physiogenic formation pathway, and the chemical analyzes were performed. The application of DL increased the TOC and TN contents in relation to the control and the areas with PS, which did not differentiate between them. The use of PS increased the Ca (0-10 cm), K (PS1X to 0-10 cm) and P (5-10 cm) contents, and did not alter the Mg and TN contents, relative to the control; while the use of DL increased the Mg (0-5 cm), Ca, N, P and K (0-10 cm) when compared to the PS and the control. The biogenic aggregates favor the increase of N, P, K, Mg and TOC in relation to the physiogenic aggregates.

Key words: deep litter; pig slurry; soil fertility; aggregate genesis; no-tillage system

Introdução

No Brasil, a produção de suínos se destaca na região sul do país, sendo o estado de Santa Catarina um importante centro da atividade suinícola. A cadeia produtiva se compõe de maneira a um regime de confinamento do rebanho com um grande número de animais por propriedade. Nesses sistemas de produção são gerados grandes volumes de dejetos, o que ocasiona um passivo ambiental, uma vez que há de se inferir um destino para esses dejetos, principalmente pensando no quesito de sustentabilidade dessa cadeia produtiva (Cadis & Henkes, 2014).

Uma opção viável para o destino desses dejetos relaciona-se ao seu uso na fertilização do solo, uma vez que possuem nutrientes essenciais às culturas em sua composição. Contudo, o uso da fertilização do solo via dejetos suínos não é exclusivamente benéfica, havendo a necessidade de se comporem critérios, pois uma maneira muito comum de descarte desses resíduos é a sua aplicação no solo, quase sempre sem critérios técnicos e de maneira periódica, o que pode ocasionar problemas ambientais (Guardini et al., 2012; Scherer et al., 2013). Dessa maneira, as atividades de pesquisa assumem a função de estabelecer pormenores sobre o uso desses dejetos na fertilização dos solos, a fim de se oferecer uma melhor compreensão sobre a sua dinâmica em relação aos atributos do solo.

Aplicações sucessivas de dejetos suínos no solo podem promover modificações nos atributos químicos e físicos, por exemplo, nos teores de carbono orgânico total - COT (Brunetto et al., 2012; Comin et al., 2013) e nitrogênio total - NT (Giacomini et al., 2013; Dortzbach et al., 2013), assim como na agregação do solo (Comin et al., 2013; Loss et al., 2017). O sistema de manejo também tem influência, pois Giacomini et al. (2002) constataram que o uso de dejetos suínos em sistema plantio direto (SPD) com aveia/milho aumentou os estoques de COT e NT no solo na camada 0,0-2,5 cm em comparação ao sistema milho/pousio e à adubação química.

Em relação à fertilidade do solo, vários estudos indicam aumento crescente nos teores de P e K em solos com adição de dejetos suínos, especialmente na camada mais superficial do solo - 0-5 cm (Couto et al., 2010; Guardini et al., 2012), bem como aumento nos teores de cálcio em aplicações sucessivas de dejetos suínos no solo (Silva et al., 2015).

Por sua vez, a agregação do solo exerce efeito principalmente nas propriedades do solo relativas à aeração, permeabilidade, taxas de infiltração e retenção de água no solo (Bronick & Lal, 2005). Mas também em outras propriedades, tais como no sequestro de carbono (Tivet et al., 2013) e retenção de nutrientes (Silva Neto et al., 2010), por exemplo. Os agregados do solo podem ser diferenciados de acordo com a sua gênese em fisiogênicos e biogênicos, conforme padrões morfológicos e vias de formação (Batista et al., 2013; Loss et al., 2014).

Os fisiogênicos são aqueles que apresentam formas angulares ou prismáticas e estão relacionados à aproximação das partículas unitárias do solo relativas aos ciclos de

umedecimento e secagem e pela ação de agentes cimentantes do solo (matéria orgânica e, ou, óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio), e os biogênicos apresentam formas arredondadas e estão relacionados às vias biológicas de formação, tais como a passagem pelo trato intestinal da macrofauna do solo, especialmente minhocas, e também a ação cimentante de exsudatos das raízes e da biota associada (Velasquez et al., 2012; Batista et al., 2013; Loss et al., 2014). Os agregados biogênicos, em função de serem excretas da macrofauna do solo que se alimenta basicamente de matéria orgânica, apresentam maiores teores de nutrientes, contribuem na proteção física da matéria orgânica (sequestro de carbono), e normalmente possuem maior estabilidade física em água (Silva Neto et al., 2010), o que pode colocá-los como potenciais indicadores de qualidade do solo, uma vez que são sensíveis aos diferentes sistemas de uso e manejo do solo (Loss et al., 2014; Fernandes et al., 2017).

A adição de dejetos suínos no solo altera as vias de formação de agregados, com ênfase para a maior proporção de agregados biogênicos em comparação aos fisiogênicos (Loss et al., 2017). Dessa forma, acredita-se que nos agregados biogênicos também se tenha maiores quantidades de nutrientes em comparação aos fisiogênicos. Sendo assim, avaliações da matéria orgânica do solo baseadas na determinação dos teores de COT e NT, assim como na caracterização da fertilidade dos agregados biogênicos e fisiogênicos, podem contribuir para estudos desta natureza. Em especial, em áreas de cultivo com aplicação por longo tempo de dejetos suínos e comparadas a áreas sem aplicação (testemunha), assim identificando a melhor estratégia de manejo do solo para reduzir o impacto da agricultura sobre o ambiente, para a manutenção da fertilidade do solo e, também, favorecendo a agregação do solo.

O objetivo deste trabalho foi quantificar os teores de COT, NT, pH, Al, Ca, Mg, P e K, nos agregados biogênicos e fisiogênicos do solo sob áreas com aplicação de dejetos líquidos de suínos e cama sobreposta de suínos.

Materiais e Métodos

Caracterização da área de estudo e dos tratamentos avaliados

O experimento foi instalado no ano de 2002, em um Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado sob sistema plantio direto (SPD) com a sucessão aveia/milho, em uma propriedade rural localizada em Braço do Norte, SC, Brasil. O clima da região é do tipo Cfa (subtropical úmido), com temperaturas médias anuais de 18,7°C e precipitação média anual de 1.471 mm, não apresentando estação seca definida. Previamente à instalação do experimento, na camada de 0-10 cm, o solo apresentava os seguintes parâmetros químicos e físicos: pH-H₂O 5,1; argila 330 g kg⁻¹; Ca, Mg e Al trocáveis 3,0, 0,8 e 0,8 cmol_c dm⁻³, respectivamente (extraídos por KCl 1 mol L⁻¹); P e K disponíveis 19 e 130 mg dm⁻³, respectivamente (extraídos por Mehlich-1), matéria orgânica 33,0 g kg⁻¹.

Anteriormente à instalação do experimento, a área estava coberta por uma pastagem naturalizada predominantemente

de *Paspalum* sp., sendo esporadicamente feita aplicação de dejetos suínos. Em dezembro de 2002 foi aplicado na superfície do solo 6 Mg ha⁻¹ de calcário (Poder relativo de neutralização total - 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 líquidos de suínos, equivalente a recomendação de N ha⁻¹ ano⁻¹ para a cultura do milho e da aveia (DLS1X); adubação com dejetos líquidos de suínos, equivalente ao dobro da recomendação de N ha⁻¹ ano⁻¹ para a cultura do milho e da aveia (DLS2X); adubação com cama sobreposta de suínos, equivalente a recomendação de N ha⁻¹ ano⁻¹ para a cultura do milho e da aveia (CSS1X) e adubação com cama sobreposta de suínos, equivalente ao dobro da recomendação de N ha⁻¹ ano⁻¹ para a cultura do milho e da aveia preta (CSS2X).

O delineamento experimental utilizado foi de blocos inteiramente casualizados, com cinco tratamentos e três repetições. Cada um dos blocos possuía dimensões de 4,5 x 30 m, separados entre si por um corredor de um metro de largura. Cada tratamento era formado por três parcelas com 4,5 x 6,0 m (27 m²). O dejetos líquidos de suínos foi coletado em esterqueira de sistema de criação ciclo completo situado na mesma propriedade na qual o experimento foi instalado. A cama sobreposta de suínos foi obtida na Escola Agrotécnica Federal de Concórdia, onde o sistema de criação de suínos é feito de maravalha, formando um substrato.

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 CQFS RS/SC (2004). Assim, a quantidade de DLS1X e DLS2X a ser aplicada foi definida pela estimativa da matéria seca (MS) e da concentração de nutrientes no dejetos. Já a quantidade de CSS1X e CSS2X aplicada foi calculada com base na mineralização de 50% do N amoniacal contido no resíduo. A média de MS e volume de dejetos aplicados, assim como a caracterização dos dejetos ao longo dos 10 anos de aplicações encontram-se na Tabela 1.

Afora o calcário na implantação, os DLS e a CSS foram as únicas fontes de insumos adicionadas na superfície do solo em SPD para a sucessão aveia/milho ao longo do período experimental, que foi de 2002 até 2012. As doses de DLS, em cada ano agrícola, foram aplicadas na superfície do solo e parceladas em quatro vezes, totalizando 40 aplicações de DLS (10 anos de experimentação e 4 parcelamentos), a saber: a primeira aplicação foi realizada na semana da semeadura

do milho; a segunda, aos 51 dias após a semeadura (DAS) do milho; a terceira, aos 95 DAS do milho e a 4ª, aos 15 DAS da aveia. Para a CSS, foram realizadas dez aplicações durante o período experimental, sendo cada aplicação realizada na superfície do solo, em média, 15 a 30 dias antes da implantação de cada cultivo do milho (época do verão). Nos ciclos da aveia preta não foi realizada a aplicação de CSS.

Em relação ao rendimento das culturas utilizadas no experimento, tem-se a produção média anual de MS da aveia e da produção de grãos de milho durante o período de dez anos de aplicação dos dejetos (Tabela 2).

Tabela 2. Produção média por safra de matéria seca de aveia e grãos de milho, em Mg ha⁻¹, ao longo de 10 anos de aplicação de dejetos de suínos*.

Tratamentos	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%)

* Fonte: Loss et al. (2017). TESTEMUNHA = sem adubação com dejetos; DLS1X = dejetos líquidos de suínos, 1 vez a recomendação de N; DLS2X = dejetos líquidos de suínos, 2 vezes a recomendação de N; CSS1X = cama sobreposta de suínos, 1 vez a recomendação de N; CSS2X = cama sobreposta de suínos, 2 vezes a recomendação de N. O número entre parênteses representa o aumento % em relação à testemunha.

Coleta de solo e análises realizadas

Em fevereiro de 2013, em cada tratamento foram coletadas amostras indeformadas de solo nas camadas de 0-5 e 5-10 cm de profundidade. No laboratório, as amostras foram secas à sombra e peneiradas em um conjunto de peneiras de malha de 9,5; 8,0 e 4,0 mm, para obtenção dos agregados (Embrapa, 1997). Em cada unidade experimental (parcela) coletaram-se duas amostras indeformadas simples e, após a separação dos agregados dessas amostras simples, originou-se uma amostra composta, perfazendo três repetições por tratamento avaliado.

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, manualmente, conforme Batista et al. (2013) e Loss et al. (2014). A separação dos agregados foi feita através de padrões morfológicos, sendo os fisiogênicos, definidos por apresentarem formas angulares e subangulares (Figura 1a), e os biogênicos, aqueles onde é possível a visualização de formas arredondadas, provindas do trato

Tabela 1. Volume de dejetos líquidos e quantidade de cama sobreposta de suínos aplicados no solo, e caracterização química dos dejetos durante o período experimental.

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

MS = massa seca; CE = condutividade elétrica; VA = volume aplicado, sendo para DLS em m³ ha⁻¹ e para CSS em Mg ha⁻¹. 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.

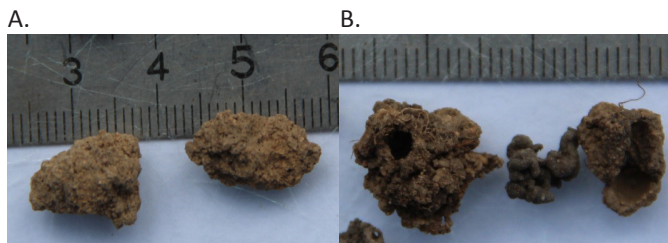


Figura 1. Agregados fisiogênicos (a) e biogênicos (b) de um Argissolo após aplicações de dejetos líquidos e cama sobreposta de suínos em Braço do Norte, SC.

intestinal dos indivíduos da macrofauna do solo e, ou, aqueles associados a atividade de raízes (Figura 1b).

Posteriormente, Loss et al. (2017) determinaram a contribuição relativa dos agregados em termos de massa, pesando-se todos os agregados biogênicos e fisiogênicos que foram identificados com microscópio binocular e, assim, quantificaram a fração de agregados fisiogênicos e biogênicos em relação à massa inicial, conforme consta na Tabela 3.

Após a separação e quantificação dos agregados (Tabela 3), para a avaliação química, os agregados foram destorroados e passados por peneira de 2,00 mm de malha para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA). Neste material determinaram-se os teores de pH, Al, Ca, Mg, K e P, segundo Embrapa (1997). Os teores COT e NT dos agregados do solo foram determinados pelo método de combustão a seco, em autoanalisador de C e N, a 900°C (CHN-1000 da Leco) do Laboratório de Ecologia Isotópica do CENA (Centro de Energia Nuclear na Agricultura) – Piracicaba.

Análises estatísticas

Os resultados foram analisados quanto à normalidade e homogeneidade dos dados por meio dos testes de Lilliefors e Cochran, respectivamente. Posteriormente, foi analisado como delineamento em blocos inteiramente casualizados, com cinco tratamentos (Testemunha, DLS1X, DLS2X, CSS1X, CSS2X), com 3 repetições cada. Os resultados foram submetidos à análise de variância com aplicação do teste F e

os valores médios, quando significativos, comparados entre si pelo teste Scott-Knott a 5% por meio do software Sivar 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 COT e NT nos agregados biogênicos e fisiogênicos

Os maiores teores de COT (Figura 2) e NT (Figura 3) foram observados nos tratamentos com CSS1X e CSS2X para agregados biogênicos e fisiogênicos nas duas camadas avaliadas, não sendo verificadas diferenças entre a área

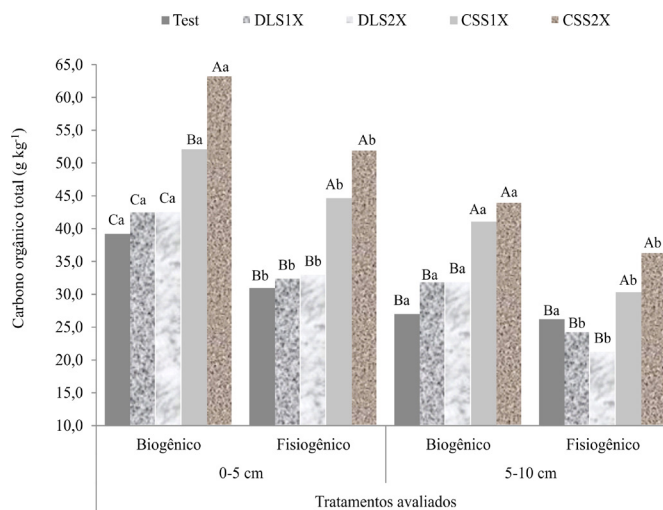
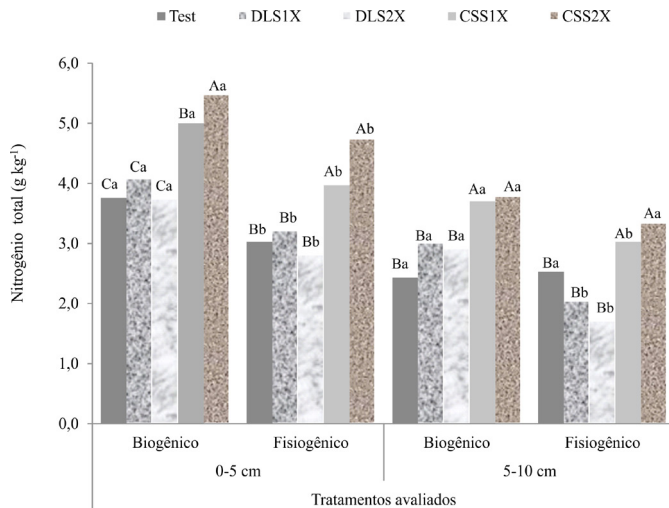


Figura 2. Teores de carbono orgânico total (COT) nos agregados biogênicos e fisiogênicos em diferentes tratamentos em Braço do Norte, SC. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre os tratamentos para cada tipo de agregado e mesma letra minúscula na linha não difere entre os tipos de agregados para cada tratamento (Scott-Knott, $p \geq 0,05$).

Tabela 3. Massa (g) e porcentagem (%) de agregados biogênicos e fisiogênicos nos diferentes sistemas de uso do solo em Braço do Norte, Santa Catarina, Brasil*.

Tratamentos	Prof. (cm)	¹ MAT	MAB	MAF	² %AB	%AF
TEST	0-5	906,32	297,87	608,45	33	67
	5-10	981,04	184,15	797,25	19	81
DLS1X	0-5	708,15	670,25	37,9	95	5
	5-10	723,86	429,55	294,30	59	41
DLS2X	0-5	1178,8	1099,90	78,90	93	7
	5-10	1395,15	1242,05	153,10	89	11
CSS1X	0-5	669,80	624,90	44,93	93	7
	5-10	919,18	509,73	399,45	55	43
CSS2X	0-5	736,1	669,0	67,3	91	9
	5-10	776,2	511,0	265,2	66	34

* Fonte: Loss et al. (2017). ¹Compreende a massa de agregados total do solo antes da quantificação, conforme a sua origem, em agregados biogênicos e fisiogênicos. ²Compreende a porcentagem de agregados biogênicos e fisiogênicos relacionadas à massa total de agregados do solo após a sua separação em biogênicos e fisiogênicos. TEST = testemunha (sem adubação com dejetos); DLS1X = dejetos líquidos de suínos, 1 vez a recomendação de N; DLS2X = dejetos líquidos de suínos, 2 vezes a recomendação de N; CSS1X = cama sobreposta de suínos, 1 vez a recomendação de N; CSS2X = cama sobreposta de suínos, 2 vezes a recomendação de N. MAT = massa de agregados total do solo; MAB = massa de agregados biogênicos; MAF = massa de agregados fisiogênicos; AB = agregados biogênicos; AF = agregados fisiogênicos.



Test = testemunha (sem adubação com dejetos); DLS1X = dejetos líquidos de suínos, 1 vez a recomendação de N; DLS2X = dejetos líquidos de suínos, 2 vezes a recomendação de N; CSS1X = cama sobreposta de suínos, 1 vez a recomendação de N; CSS2X = cama sobreposta de suínos, 2 vezes a recomendação de N.

Figura 3. Teores de nitrogênio total (NT) nos agregados biogênicos e fisiogênicos em diferentes tratamentos em Braço do Norte, SC. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre os tratamentos para cada tipo de agregado e mesma letra minúscula na linha não difere entre os tipos de agregados para cada tratamento (Scott-Knott, $p \geq 0,05$).

testemunha, DLS1X e DLS2X. Entre os tipos de agregados, os biogênicos apresentaram maiores teores de COT e NT em comparação aos fisiogênicos nas duas camadas avaliadas, com exceção da área testemunha, que não apresentou diferenças na profundidade de 5-10 cm.

Os maiores teores de COT e NT nos tratamentos com CSS são decorrentes da maior quantidade de MS e maior relação C/N (Tabela 1), corroborando com os estudos de Brunetto et al. (2012) e Lourenzi et al. (2014), e da maior relação C/N dos materiais orgânicos comumente utilizados para formar a cama, tais como a maravalha e a casca de arroz, ao contrário do tratamento com DLS, que apresenta menor quantidade de MS e baixa relação C/N (Tabela 1).

O fato dos teores de COT e NT da área com DLS não ter diferido da testemunha pode ser atribuído ao efeito priming causado pela baixa relação C/N dos DLS e, ou, pela elevada quantidade de substâncias orgânicas facilmente decomponíveis (Kuzakov, 2010). Dessa forma, mesmo com maior entrada de C e N pela maior quantidade de resíduos da aveia preta (Tabela 2) no tratamento com DLS, a aplicação desse dejetos pode estar aumentando a mineralização da MOS em maior quantidade que a testemunha.

A aplicação continuada de dejetos líquidos de suínos no solo nem sempre aumenta os teores de COT e NT (Comin et al., 2013; Dortzbach et al., 2013). Entretanto, o aumento da produção de fitomassa em SPD (Tabela 2), nos quais os DLS são empregados na adubação das culturas, pode promover o incremento dos teores de COT e NT em médio e longo prazo (Karhu et al., 2012). A maior proporção (%) de produção de massa seca da

aveia-preta nas áreas com DLS em comparação à testemunha (Tabela 2) implica em maior volume de solo explorado pelo sistema radicular da aveia e, conseqüentemente, isso favorece o maior aporte de COT e NT nos agregados biogênicos na profundidade de 5-10 cm em comparação a área testemunha (Figuras 2 e 3, respectivamente).

Os maiores teores de COT e NT nos agregados biogênicos indicam predominância de material de maior labilidade (maior disponibilidade), tais como a matéria orgânica particulada (MOP) em comparação aos agregados fisiogênicos (Ventura, 2017), sendo que a incorporação/manutenção desse material é favorecida nos agregados biogênicos, devido aos fatores fauna do solo e sistema radicular no SPD, corroborando com os estudos de Velasquez et al. (2012) e Batista et al. (2013). Em áreas de pastagem, SPD com soja/aveia e floresta secundária sob Nitossolo Vermelho no Paraná, Loss et al. (2014) também encontraram maiores teores de COT e NT nos agregados biogênicos em comparação aos fisiogênicos, assim como maiores teores de MOP nos agregados biogênicos.

Os maiores teores de COT nos agregados biogênicos têm relação direta com os maiores teores de N (Figura 3), P e K nesses agregados (Tabela 4), corroborando com os resultados de Loss et al. (2014), que verificaram correlações positivas dos valores de COT com os teores de N, P e K em diferentes sistemas de uso do solo (floresta, SPD, pastagem) quando avaliaram agregados biogênicos. Mergen Junior et al. (2014) fracionando o COT, nas mesmas áreas do presente estudo, em carbono das frações húmicas, também encontraram maior quantidade de carbono das frações húmicas nos tratamentos com dejetos suínos e nos agregados biogênicos.

Valores de pH, Al, Ca, Mg, P e K nos agregados biogênicos e fisiogênicos

Os valores de pH em água não diferiram entre os tipos de agregados em todas as áreas avaliadas e profundidades. Entre os tratamentos, verificaram-se diferenças apenas para os agregados biogênicos, destacando-se a área do tratamento CSS2X, que apresentou os maiores valores (Tabela 4). Esses resultados são coincidentes com os verificados por Dortzbach (2009), onde o autor relatou que os solos que recebem dejetos periodicamente, especialmente no tratamento com CSS em SPD, propiciam maiores acúmulos de matéria orgânica, e que a presença de ânions orgânicos favorecem o consumo de H^+ , retirando-os da solução do solo e ligando-os aos colóides orgânicos. Os maiores valores de pH em água no tratamento CSS2X também é decorrente dos maiores teores de Ca e K encontrados neste tratamento (Tabela 4), assim como das altas quantidades desses macronutrientes na CSS (Tabela 1).

Em relação ao Al, todos os valores encontrados são baixos (CQFS RS/SC, 2004), o que está associado aos valores de pH acima de 5,4, ocasionando a precipitação do Al, e aos altos conteúdos de bases trocáveis (Tabela 3). Conforme o Manual de Adubação e Calagem dos estados do RS e SC (CQFS RS/SC, 2004), os valores de pH são considerados de médios (5,5 – 6,0) a altos (maiores que 6,0), sendo corroborados pelos menores teores de Al (Tabela 4).

Tabela 4. Atributos químicos dos agregados biogênicos e fisiogênicos em diferentes sistemas de uso do solo em Braço do Norte, Santa Catarina.

Tratamentos avaliados	pH		Al (cmol _c kg ⁻¹)		Ca (cmol _c kg ⁻¹)		Mg (cmol _c kg ⁻¹)		K (mg kg ⁻¹)		P (mg kg ⁻¹)	
	Bio	Fis	Bio	Fis	Bio	Fis	Bio	Fis	Bio	Fis	Bio	Fis
0-5 cm												
Test	5,37 Ba	6,01 Aa	0,27 Aa	0,03 Aa	4,87 Da	4,50 Da	3,83 Ba	2,45 Ca	340,70 Da	233,37 Db	9,64 Ca	4,62 Eb
DLS1X	5,87 Ba	6,04 Aa	0,12 Ba	0,01 Aa	6,18 Ca	6,55 Ca	4,67 Ba	2,55 Cb	736,87 Ca	396,76 Cb	9,01 Ca	7,26 Da
DLS2X	5,66 Ba	5,79 Aa	0,16 Ba	0,08 Aa	6,02 Ca	6,67 Ca	4,40 Ba	2,98 Cb	336,02 Da	213,10 Db	9,40 Ca	11,96 Ba
CSS1X	5,74 Ba	5,56 Aa	0,05 Ca	0,01 Aa	8,30 Ba	7,77 Ba	6,92 Aa	4,95 Bb	922,93 Ba	454,36 Bb	17,06 Ba	9,85 Cb
CSS2X	6,35 Aa	6,40 Aa	0,08 Ca	0,10 Aa	10,37 Aa	10,78 Aa	6,65 Aa	6,13 Aa	1594,85 Aa	1491,78 Ab	72,35 Aa	35,47 Ab
CV (%)	6,9	8,7	9,1	21,6	14,5	10,9	20,17	17,1	14,05	9,57	23,85	11,11
5-10 cm												
Test	5,73 Ba	5,84 Aa	0,07 Aa	0,03 Aa	3,25 Da	3,44 Da	2,47 Ba	1,77 Cb	192,01 Da	132,58 Ca	2,37 Ea	2,96 Da
DLS1X	6,14 Ba	6,06 Aa	0,02 Aa	0,02 Aa	4,43 Ca	4,45 Ca	3,55 Aa	2,22 Bb	269,27 Ca	208,84 Bb	6,00 Da	5,82 Ca
DLS2X	5,66 Ba	5,91 Aa	0,10 Aa	0,05 Aa	4,20 Ca	4,20 Ca	2,53 Ba	2,37 Ba	150,96 Da	67,23 Db	9,76 Ca	7,89 Ba
CSS1X	5,93 Ba	6,01 Aa	0,10 Aa	0,17 Aa	5,77 Ba	6,55 Ba	4,00 Aa	3,22 Ab	766,44 Ba	177,90 Bb	14,11 Ba	8,64 Bb
CSS2X	6,61 Aa	6,47 Aa	0,03 Aa	0,03 Aa	8,18 Aa	7,33 Aa	4,27 Aa	2,55 Bb	1410,20 Aa	1091,48 Ab	18,69 Aa	11,77 Ab
CV (%)	7,0	7,3	15,0	22,2	15,6	14,1	19,5	21,3	15,22	19,28	20,27	20,63

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre os tratamentos para cada tipo de agregado e mesma letra minúscula na linha não difere entre os tipos de agregados para cada tratamento (teste Scott-Knott, $p \geq 0,05$). Test = testemunha (sem adubação com dejetos); DLS1X = dejetos líquidos de suínos, 1 vez a recomendação de N; DLS2X = dejetos líquidos de suínos, 2 vezes a recomendação de N; CSS1X = cama sobreposta de suínos, 1 vez a recomendação de N; CSS2X = cama sobreposta de suínos, 2 vezes a recomendação de N. CV = coeficiente de variação. Bio = biogênico, Fis = Fisiogênico.

Apenas para agregados biogênicos, na profundidade de 0-5 cm, verificaram-se diferenças entre as áreas avaliadas, sendo encontrados maiores teores de Al na área testemunha e menores nas áreas com CSS e DLSS. Isto pode ser decorrente dos maiores teores de COT (Figura 2) nas áreas com dejetos em comparação à testemunha, já que a matéria orgânica atua complexando os íons Al^{+3} em formas estáveis, diminuindo a sua disponibilidade, além de favorecer a maior liberação de cátions como Ca e K, pois foram verificados maiores teores desses cátions nas áreas com CSS e DLS em relação à área testemunha para os agregados biogênicos (Tabela 4). Resultados semelhantes são relatados por Brunetto et al. (2012), nas mesmas áreas de estudo, porém em avaliação feita em amostras deformadas de solo e com oito anos de aplicação com CSS e DLS. Nas áreas com CSS, esses autores encontraram maiores valores de pH em água e maiores valores de Ca em relação aos demais tratamentos.

Para os teores de Ca, não foram verificadas diferenças entre os dois tipos de agregados. Entre os tratamentos, tanto para os agregados biogênicos quanto para os fisiogênicos, nas duas profundidades avaliadas, os maiores teores de Ca foram encontrados nos tratamentos com CSS1X e CSS2X, seguidos dos tratamentos com DLS1X e DLS2X, enquanto a área testemunha apresentou os menores valores. Outros trabalhos também registraram aumento nos teores de Ca em solos com sucessivas aplicações de dejetos suínos (Brunetto et al., 2012; Silva et al., 2015).

Para o Mg, de maneira geral, os maiores teores foram encontrados nos tratamentos com CSS e os menores na área testemunha, não sendo verificadas diferenças entre a área testemunha e os tratamentos com DLS na camada de 0-5 cm. Na profundidade de 5-10 cm, nos agregados fisiogênicos, a área testemunha apresentou os menores valores de Mg. Entre os tipos de agregados, maiores valores de Mg foram encontrados nos agregados biogênicos, nas duas profundidades avaliadas. Estes maiores teores de Ca e Mg nos tratamentos com CSS e

DLS são decorrentes dos maiores teores desses nutrientes nos dejetos com CSS, seguidos de DLS (Tabela 1).

Os maiores teores de K foram encontrados nos tratamentos com CSS em todos os tratamentos e profundidades, exceto para os agregados fisiogênicos, na profundidade de 5-10 cm, na qual o tratamento com DLS1X apresentou valores iguais ao tratamento com CSS1X. Em relação ao uso dos DLS e a testemunha, o tratamento com DLS1X apresentou maiores valores de K em comparação à testemunha nas duas camadas e tipos de agregados avaliados. Entre os agregados, nas duas profundidades avaliadas, os agregados biogênicos apresentaram maiores teores de K, exceto para a testemunha a 5-10 cm, que não apresentou diferenças entre os tipos de agregados (Tabela 4).

Para o P, os maiores teores também foram encontrados no tratamento com CSS2X, porém a testemunha apresentou os menores valores de P em comparação aos DLS e CSS, nos agregados biogênicos e fisiogênicos, e nas duas profundidades avaliadas, exceto para os biogênicos na profundidade de 0-5 cm, na qual a testemunha não diferiu do tratamento com DLS. Entre os agregados, apenas os tratamentos com CSS (0-5 e 5-10 cm) e a testemunha (0-5 cm) apresentaram diferenças, com maiores valores de P para os agregados biogênicos (Tabela 4).

Os maiores teores de P e K encontrados nos tratamentos com dejetos suínos são decorrentes dos elevados teores desses nutrientes nos dejetos com CSS, seguido do tratamento com DLS (Tabela 1). Os dejetos oriundos da CSS, além de possuírem maiores teores de nutrientes também têm maior quantidade de MS em relação aos DLS (Tabela 1), sendo que o teor de MS tem correlação positiva quanto a quantidade de nutrientes presentes nos dejetos (Scherer et al., 2013). Isso explica a maior presença desses elementos nos agregados sob SPD com uso de CSS. Esses resultados são corroborados por Brunetto et al. (2012) para o K e por Gardini et al. (2012) para o P, que também encontraram maiores teores de K e P em solos

adubados com CSS, seguidos de DLS, quando comparados a área testemunha. Entre os agregados, os maiores teores de P e K encontrados nos biogênicos indicam que esses agregados são mais ricos nesses nutrientes e estão associados a uma intensa atividade biológica e ciclagem de nutrientes, sendo potenciais indicadores de atividade biológica e bons indicadores de mudanças ocasionadas no solo decorrente do manejo agrícola adotado. Vários estudos indicam aumento crescente nos teores de P e K em solos com adição de dejetos suínos, especialmente na camada de 0-5 cm (Couto et al. 2010; Guardini et al., 2012).

Os maiores teores de nutrientes (N, P, K e Mg), assim como os maiores teores de COT encontrados nos agregados biogênicos também foram verificados por Silva Neto et al. (2010). Estes autores encontraram maiores teores de bases trocáveis e carbono em agregados biogênicos em várias ordens de solos da Paraíba, Brasil, o que atribuíram ao fato desses agregados serem em grande parte excretas da macrofauna do solo que se alimenta de matéria orgânica, além da atividade de raízes. No presente estudo, durante a separação visual dos agregados pelos seus padrões morfológicos, foram encontrados grande quantidade de coprólitos, que foram enquadrados como biogênicos (Figura 1b). Assim como Loss et al. (2014) encontraram maiores teores de nutrientes em agregados biogênicos em áreas de SPD, pastagem e floresta secundária no Paraná, Brasil, sendo nos agregados biogênicos também observado expressiva presença de coprólitos de minhocas na camada superficial do solo (0-5 cm). Outros trabalhos também constataram maiores teores de COT e nutrientes em agregados de origem biogênica em relação aos agregados de origem fisiogênica (Fernandes et al., 2017).

Os altos valores dos nutrientes Ca, Mg, N, P e K (CQFS RS/SC, 2004) encontrados nos tratamentos com CSS e DLS estão diretamente associados à maior produção de milho e MS da aveia preta no SPD em comparação a área testemunha, sem adição dos dejetos (Tabela 2). E, entre os agregados, de maneira geral, os biogênicos apresentam-se como sítios potenciais de acúmulo desses nutrientes, indicando maior atividade biológica e presença de sistema radicular.

Conclusões

A aplicação de CSS aumentou os teores de COT e NT nos dois tipos de agregados, em relação à testemunha e aos tratamentos com aplicação de DLS, que não se diferenciaram entre si.

A aplicação de DLS aumentou os teores Ca (0-10 cm), K (DLS1X para 0-10 cm) e P (5-10 cm), e não alterou os teores de Mg e NT, em relação à testemunha, nos dois tipos de agregados; o uso de CSS aumentou o Mg (0-5 cm), Ca, N, P e K (0-10 cm) quando comparado aos DLS e à testemunha, nos dois tipos de agregados.

A gênese dos agregados biogênicos favorece a estabilização do COT e NT, assim como os agregados biogênicos se apresentam como sítios potenciais de acúmulo de COT, NT, P, K e Mg em comparação aos agregados fisiogênicos.

Literatura Citada

- Batista, I.; Fernandes, M.E.; Pereira, M.G.; Bieluczyk, W.; Schiavo, J.A.; Mello, N.A. Caracterização dos agregados em solos sob cultivo no Cerrado, MS. *Semina: Ciências Agrárias*, v.34, n.4, p.1535-48, 2013. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2013v34n4p1535>.
- Bronick, C.J.; Lal, R. Soil structure and management: a review. *Geoderma*, v.124, n.1-2, p.3-32, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.03.005>.
- Brunetto, G.; Comin, J.J.; Schmitt, D.E.; Guardini, R.; Mezzari, C.P.; Oliveira, B.S.; Moraes, M.P.; Gatiboni, L.C.; Lovato, P.E.; Ceretta, C.A. Changes in soil acidity and organic carbon in a sandy typic hapludalf after medium-term pig-slurry and deep-litter application. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.36, n.5, p.1620-28, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000500026>.
- Cadis, P.; Henkes, J.A. Gestão Ambiental na Suinocultura: sistema de tratamento de resíduos líquidos por unidade de compostagem. *Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental*, v.3, n.1, p.169-188, 2014. <https://doi.org/10.19177/rgsa.v3e12014117-142>.
- Comin, J.J.; Loss, A.; Veiga, M.; Guardini, R.; Schmitt, D.E.; Victoria de Oliveira, P.A.; Filho, P.B.; Couto, R.R.; Benedet, L.; Junior, V.M.; Brunetto G. Physical properties and organic carbon content of a Typic Hapludult soil fertilised with pig slurry and pig litter in a no-tillage system. *Soil Research*, v.51, n.5, p.459-470, 2013. <https://doi.org/10.1071/SR13130>.
- Comissão de Química e Fertilidade do Solo - CQFS RS/SC. Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 10.ed. Porto Alegre: NRS/SBCS, 2004. 400p.
- Couto, R.R.; Comin, J.J.; Beber, C.N.; Uriarte, J.F.; Brunetto, G.; Belli Filho, P. Atributos Químicos em solos de propriedades suínolas submetidas a aplicações sucessivas de dejetos suínos no município de Braço do Norte, Santa Catarina. *Scientia Agraria*, v.11, n.6, p.493-497, 2010. <https://doi.org/10.5380/rsa.v11i6.20396>.
- Dortzbach, D. Dinâmica de atributos físicos e químicos em solo sob plantio direto adubado com dejetos, suínos e uréia. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2009. 110p. Dissertação Mestrado. <http://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/103239>. 02 Ago. 2017.
- Dortzbach, D.; Araujo, I.S.; Pandolfo, C.; Veiga, M. Carbono e nitrogênio no solo e na biomassa microbiana em glebas com diferentes usos e períodos de aplicação de dejetos líquidos de suínos. *Agropecuária Catarinense*, v.26, n.2, p.69-73, 2013.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solos. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997. 212p.
- Fernandes, J.C.F.; Pereira, M.G.; Silva Neto, E.C.; Correa Neto, T.A. Caracterização de agregados biogênicos, intermediários e fisiogênicos em áreas sob domínio da Mata Atlântica. *Revista Caatinga*, v.30, n.1, p.59-67, 2017. <https://doi.org/10.1590/1983-21252017v30n107rc>.
- Giacomini, S.J.; Aita, C.; Guidini, E.; Marques, M.M.; Lunkes, A.; Cadore, F. Potencial de Mineralização do Carbono e do Nitrogênio no solo após três anos de uso de dejetos suínos em Sistema Plantio Direto. In: FERTBIO 2002, 2002, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro, UFRJ/Embrapa-CNPS, 2002. CD-Rom.

- Giacomini, S.J.; Aita, C.; Pujol, S.B.; Miola, E.C.C. Transformações do nitrogênio no solo após adição de dejetos líquido e cama sobreposta de suínos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.48, n.2, p.211-219, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2013000200012>.
- Guardini, R.; Comin, J.J.; Schmitt, D.E.; Tiecher, T.; Bender, M.A.; Rheinheimer, D.S.; Mezzari, C.P.; Oliveira, B.S.; Gatiboni, L.C.; Brunetto, G. Accumulation of phosphorus fractions in Typic Hapludalf soil after long-term application of pig slurry and deep litter in a no-tillage system. *Nutrient Cycling and Agroecosystem*, v.93, n.2, p.215-225, 2012. <https://doi.org/10.1007/s10705-012-9511-3>.
- Karhu, K.; Gardenas, A.I.; Heikkinen, J.; Vanhala, P.; Tuomi, M.; Liski, J. Impacts of organic amendments on carbon stocks of an agricultural soil – comparison of model simulations to measurements. *Geoderma*, v.189/190, p.606-616, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.06.007>.
- Kuzyakov, Y. Priming effects: Interactions between living and dead organic matter. *Soil Biology and Biochemistry*, v.42, n.9, p.1363-1371, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2010.04.003>.
- Loss, A.; Lourenzi, C.R.; Mergen Junior, C.A.; Santos Junior, E.; Benedet, L.; Pereira, M.G.; Piccolo, M.C.; Brunetto, G.; Lovato, P.E.; Comin, J.J. Carbon, nitrogen and natural abundance of ^{13}C and ^{15}N in biogenic and physicogenic aggregates in a soil with 10 years of pig manure application. *Soil Tillage and Research*, v.166, p.52-58, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.still.2016.10.007>.
- Loss, A.; Pereira, M.G.; Costa, E.M.; Beutler, S.J. Soil fertility, physical and chemical organic matter fractions, natural ^{13}C and ^{15}N abundance in biogenic and physicogenic aggregates in areas under different land use systems. *Soil Research*, v.52, n.7, p.685-697, 2012. <https://doi.org/10.1071/SR14045>.
- Lourenzi, C.R.; Ceretta, C.A.; Cerini, J.B.; Ferreira, P.A.A.; Lorensini, F.; Giroto, E.; Tiecher, T.L.; Schapanski, D.E.; Brunetto, G. Available content, surface runoff and leaching of phosphorus forms in a Typic Hapludalf treated with organic and mineral nutrient sources. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.38, n.2, p.544-56, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000200019>.
- Mergen Junior, C.A.; Loss, A.; Comin, J.J.; Freo, V.A.; Pereira, M.G.; Brunetto, G. Carbono das substâncias húmicas em agregados biogênicos e fisiogênicos sob aplicação continuada de dejetos suínos. In: *Reunião Sul-Brasileira de Ciência do Solo*, 10., 2014, Pelotas-RS. Anais... Pelotas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2014. CD-Rom.
- Scherer, E.E.; Baldissera, I.T.; Spagnolo, E. Qualidade do solo e da água surgente em áreas com uso intensivo e continuado de esterco de suínos como fertilizante. Florianópolis: Epagri, 2013. 38p.
- Silva Neto, L.F.; Silva, I.F.; Inda Junior, A.V.; Nascimento, P.C. Atributos físicos e químicos de agregados pedogênicos e de coprólitos de minhocas em diferentes classes de solos da Paraíba. *Ciência e Agrotecnologia*, v.34, n.6, p.1365-1371, 2010. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542010000600002>.
- Silva, A.A.; Costa, A.M.; Lana, R.M.Q.; Pereira Junior, A.M. Potencialidade da aplicação de dejetos líquidos de suínos em pastagem de *Brachiaria decumbens*. *Acta Iguazu*, v.4, n.1, p.66-80, 2015. <http://e-revista.unioeste.br/index.php/actaiguazu/article/view/12547/8712>. 02 Ago. 2017.
- Tivet, F.; Sá, J.C.M.; Lal, R.; Briedis, C.; Borszowskei, P.R.; Santos, J.B.; Farias, A.; Hartman, D.C.; Nadolny Junior, M.; Bouzinac, S.; Seguy, L. Aggregate C depletion by plowing and its restoration by diverse biomass-C inputs under no-till in sub-tropical and tropical regions of Brazil. *Soil Tillage and Research*, v.126, p.203-218, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.still.2012.09.004>.
- Velasquez, E.; Fonte, S.J.; Barot, S.; Grimaldi, M.; Desjardins, T.; Lavelle, P. Soil macrofauna-mediated impacts of plant species composition on soil functioning in Amazonian pastures. *Applied Soil Ecology*, v.56, p.43-50, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2012.01.008>.
- Ventura, B. S. Aplicações sucessivas de dejetos suínos alteram a dinâmica de carbono, nitrogênio e frações da matéria orgânica dos agregados do solo. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2017. 68p. Dissertação Mestrado. <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/177873>. 02 Ago. 2017.