

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

BRUNA ROCHA DE OLIVEIRA

IMPACTO DA APLICAÇÃO DE DEJETO LÍQUIDO BOVINO A LONGO PRAZO NA
MATÉRIA ORGÂNICA E AGREGAÇÃO EM LATOSSOLO FRANCO-
ARGILOARENOSO SOB PLANTIO DIRETO

CURITIBA-PR

2021

BRUNA ROCHA DE OLIVEIRA

IMPACTO DA APLICAÇÃO DE DEJETO LÍQUIDO BOVINO A LONGO PRAZO NA
MATÉRIA ORGÂNICA E AGREGAÇÃO EM LATOSSOLO FRANCO-
ARGILOARENOSO SOB PLANTIO DIRETO

Dissertação apresentada como requisito parcial à
obtenção do grau de Mestre em Ciência do Solo, no
Curso de Pós-graduação em Ciência do Solo, Setor
de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do
Paraná.

Orientadora: Profa. Dra. Nerilde Favaretto
Co-orientador: Prof. Dr. Jeferson Dieckow

CURITIBA-PR

2021

Oliveira, Bruna Rocha de

Impacto da aplicação de dejetos líquido bovino a longo prazo na matéria orgânica e agregação em latossolo franco-argiloarenoso sob plantio direto. - Curitiba, 2021.

37f. : il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo.

Orientação: Nerilde Favaretto

Orientação: Jeferson Dieckow

1. Propriedades do solo. 2. Matéria orgânica. 3. Solos – Teor de carbono e nitrogênio. I. Favaretto, Nerilde. II. Dieckow, Jeferson. III. Título. IV. Universidade Federal do Paraná.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO CIÊNCIA DO SOLO -
40001016014P4

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em CIÊNCIA DO SOLO da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da dissertação de Mestrado de **BRUNA ROCHA DE OLIVEIRA** intitulada: **IMPACTO DA APLICAÇÃO DE DEJETO LÍQUIDO BOVINO A LONGO PRAZO NA MATÉRIA ORGÂNICA E AGREGAÇÃO EM LATOSSOLO FRANCO-ARGILOARENOSO SOB PLANTIO DIRETO**, sob orientação da Profa. Dra. NERILDE FAVARETTO, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 25 de Fevereiro de 2021.

Assinatura Eletrônica

25/02/2021 17:43:17.0

NERILDE FAVARETTO

Presidente da Banca Examinadora (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica

25/02/2021 17:45:10.0

JOSILÉIA ACORDI ZANATTA

Avaliador Externo (EMBRAPA FLORESTAS)

Assinatura Eletrônica

26/02/2021 07:39:25.0

FABIANE MACHADO VEZZANI

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Rua dos Funcionários, 1540 - CURITIBA - Paraná - Brasil

CEP 80035-050 - Tel: (41) 3350-5648 - E-mail: pgcisolo@ufpr.br

Documento assinado eletronicamente de acordo com o disposto na legislação federal Decreto 8539 de 08 de outubro de 2015.

Gerado e autenticado pelo SIGA-UFPR, com a seguinte identificação única: 77472

Para autenticar este documento/assinatura, acesse <https://www.prppg.ufpr.br/siga/visitante/autenticacaoassinaturas.jsp>
e insira o código 77472

Aos meus pais Lailson e Carla, aos meus irmãos Arison (in memoriam) e Chayene, e ao meu esposo Gabriel, com todo meu amor, pela força nos momentos difíceis e pelo apoio incondicional. Dedico!

AGRADECIMENTOS

À Deus, por prover toda força e persistência para chegar até aqui;

À Universidade Federal do Paraná e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do solo pela oportunidade de concluir mais essa etapa profissional. À instituição de fomento à pesquisa Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior – CAPES, pela concessão da bolsa de mestrado.

À Fundação Araucária, Agência de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Paraná, pela condução da área experimental, pelo suporte financeiro na compra de materiais e reagentes para as análises e na participação de eventos para divulgação dos resultados. Ao Dr. Gabriel Barth, pela total disponibilidade de fornecimento de dados e conhecimentos para o desenvolvimento desta pesquisa.

À minha orientadora, Profa. Dra. Nerilde Favaretto, pelos ensinamentos transmitidos, pela paciência, pelo incentivo e apoio em todas as etapas deste trabalho. Ao meu coorientador Prof. Dr. Jeferson Dieckow pela paciência em ensinar e apoio na realização deste trabalho;

Às Dras. Verediana Cherobim e Bruna Ramalho, e ao João, aluno da iniciação científica, por todos os ensinamentos, apoio e ajuda na execução deste trabalho;

À Denise, secretária do programa de pós-graduação. Obrigada por sua prontidão em nos ajudar e por seus conselhos nos momentos que mais precisamos;

À Profa. Karina Cavallieri e a todos os funcionários do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola da UFPR, em especial a Josi e a Maria, por toda ajuda na condução do experimento;

Agradeço aos professores das disciplinas cursadas, os conhecimentos repassados foram de grande valia;

Aos amigos Ricardo e Felipe pelo apoio em campo. Às minhas amigas Amanda, Ana, Lilianne, Mariana e Selma, pelos momentos de descontração, risadas e companheirismo;

Aos meus pais, Lailson e Carla, por todo amor, toda educação e todo cuidado todos os dias da minha vida. À minha irmã Chayene, por todo carinho e cuidado. Ao meu irmão Arison (*in memoriam*) por todo o amor, carinho, apoio, proteção e incentivo que recebi durante sua vida, dos quais jamais esquecerei.

Ao meu esposo Gabriel, pela compreensão, cuidado e amor incondicionais.
Te amarei para sempre.
À Jesus, meu agradecimento e espera.

*“Lembre-se que as pessoas podem tirar tudo de você,
menos o seu conhecimento.”*

Albert Einstein

RESUMO

A matéria orgânica do solo (MOS) pode ser influenciada pela aplicação de dejetos, principalmente em condições de longo prazo. Neste estudo avaliamos o impacto de 14 anos de aplicação de dejetos líquido bovino (DLB) nos estoques de carbono e nitrogênio e nas frações físicas da MOS, bem como seus efeitos na agregação de um Latossolo franco-argiloarenoso manejado em plantio direto com rotação de culturas. Doses de DLB (0, 60, 120 e 180 m³ ha⁻¹ ano⁻¹) foram aplicados em um delineamento de blocos casualizados com quatro repetições. Foram calculados os estoques totais de carbono orgânico e nitrogênio até 60 cm do perfil solo e nas frações da matéria orgânica até 10 cm. A estabilidade de agregados foi determinada nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 e 20-30 cm. Nossos resultados mostraram que as doses de 180 e 120 m³ de DLB ha⁻¹ ano⁻¹, aumentaram as concentrações de carbono orgânico total (COT) em média 42% e de nitrogênio total (NT) em 49%, nos primeiros 10 cm do solo, em relação ao solo sem DLB. O efeito da aplicação de dejetos nos estoques de carbono e nitrogênio foi observado tanto em superfície (0-20 cm), com aumento de 32% (COT) e 30% (NT), quanto em profundidade (0-60 cm), com aumento de 17% (COT) e 21% (NT) com as maiores doses de DLB (média das profundidades). As maiores taxas de acúmulo anuais no solo foram de 0,8 Mg de C ha⁻¹ ano⁻¹ e 75 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ com 180 m³ de DLB ha⁻¹ ano⁻¹. Nas frações da MOS, os estoques aumentaram principalmente na profundidade de 5-10 cm na matéria orgânica particulada (MOP) com aumento de 131%, e na matéria orgânica associada a minerais de tamanho silte (MOM_{silte}) com aumento de 38% (com a maior dose de DLB). O uso de DLB em longo prazo (14 anos) aumentou o diâmetro médio ponderado dos agregados e a proporção de agregados maior que 2 mm e diminuiu a proporção de agregados menores que 0,25 mm. De modo geral, a aplicação de DLB na superfície do solo em plantio direto mostrou-se uma eficiente estratégia para o incremento dos estoques de COT e NT, essenciais para melhoria na qualidade do solo e promoção da sustentabilidade agrícola.

Palavras-chave: Carbono orgânico do solo, nitrogênio, fracionamento físico da matéria orgânica do solo, estabilidade de agregados.

ABSTRACT

Soil organic matter (SOM) can be influenced by manure application. In this study we evaluated the impact of 14 years of dairy liquid manure (DLM) on soil organic carbon and nitrogen concentrations and stocks and the interaction SOM-aggregation in a sandy clay loam Ferralsol under no-till with crop rotation. DLM doses (0, 60, 120 and 180 m³ ha⁻¹ year⁻¹) were applied in randomized block design with four replications. Concentration and stocks of soil organic carbon and nitrogen were measured to 60 cm depth and physical SOM fractions to 10 cm depth. Aggregate stability was determined in 0-5, 5-10, 10-20 and 20-30 cm layers. Doses of 180 and 120 m³ DLM ha⁻¹ year⁻¹ increased the concentrations of total organic carbon (TOC) by 42% and total nitrogen (TN) by 49%, on average, in the 0-10 cm layer, compared to unmanured treatment. The effect of DLM on TOC and TN stocks was observed in the 0-20 cm layer, with an increase of 31%. In the 0-60 cm layer, the increase was 19%. The highest annual accumulation rate was 0.8 Mg of C ha⁻¹ year⁻¹ and 75 kg of N ha⁻¹ year⁻¹ with 180 m³ of DLM ha⁻¹ year⁻¹. In the SOM fractions, the stock of TOC was affected mainly at 5-10 cm depth. The increase in TOC was 131% in particulate organic matter (POM) and 38% in the mineral-associated organic matter (Silt-MOM) in the 180 m³ of DLM ha⁻¹ year⁻¹. The DLM application (14 years) increased the mean weight diameter of aggregates and the aggregates greater than 2 mm and decreased the aggregates smaller than 0.25 mm. In general, the application of DLM on the soil surface under no-till demonstrated to be an efficient strategy to increase TOC and TN stocks, essential for improving soil quality and promoting agricultural sustainability.

Keywords: soil organic carbon, nitrogen, physical fractionation of organic matter soil, aggregate stability.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	1
2.	MATERIAL E MÉTODOS.....	3
2.1	ÁREA EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS	3
2.2	AMOSTRAGEM DE SOLO.....	5
2.3	CONCENTRAÇÕES, ESTOQUES E TAXAS DE ACÚMULO DE CARBONO ORGÂNICO TOTAL E NITROGÊNIO TOTAL NO PERFIL DO SOLO	6
2.4	CONCENTRAÇÕES, ESTOQUES E TAXAS DE ACÚMULO DE CARBONO ORGÂNICO TOTAL E NITROGÊNIO TOTAL NAS FRAÇÕES DA MOS E ÍNDICE DE MANEJO DE CARBONO	6
2.5	CÁLCULO DE ENTRADA DE CARBONO VIA PLANTA E VIA DEJETO LÍQUIDO BOVINO	8
2.6	DIÂMETRO MÉDIO E ESTABILIDADE DOS AGREGADOS.....	8
2.7	ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	9
3.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	9
3.1	CONCENTRAÇÕES, ESTOQUES E TAXAS DE ACÚMULO DE CARBONO ORGÂNICO TOTAL E NITROGÊNIO TOTAL NO PERFIL DO SOLO	9
3.2	CARBONO ORGÂNICO TOTAL E NITROGÊNIO TOTAL NAS FRAÇÕES DO SOLO E ÍNDICE DE MANEJO DO CARBONO.....	14
3.3	DIÂMETRO MÉDIO E ESTABILIDADE DOS AGREGADOS	17
4.	CONCLUSÕES	21
5.	REFERÊNCIAS.....	22

1. INTRODUÇÃO

A influência da aplicação de dejetos líquidos bovinos (DLB) no aumento dos estoques de carbono no perfil do solo e em suas frações depende dos atributos do solo, das características e forma de aplicação do dejetos, e do sistema de manejo adotado (ABBOUD et al., 2018; CAVALCANTE et al., 2019; MAILLARD et al., 2015; MAILLARD, ANGERS, 2014; RODRIGUES et al., 2021; SAMSON et al., 2020a; SAMSON et al., 2020b; WEN ET AL., 2021).

Estratégias para o aumento dos estoques de carbono orgânico do solo (COS) em sistemas de cultivo agrícola contribuem não somente para melhoria da qualidade do solo, mas também para mitigação das emissões de gases de efeito estufa (PAUSTIAN et al., 1998). Isso porque, um acúmulo anual de 0,4% de carbono no solo poderia contrabalancear parcialmente as concentrações crescentes de CO₂ na atmosfera (MINASNY et al., 2017).

O fracionamento físico é um meio eficiente de compreender os diferentes reservatórios funcionais da MOS (CAMBARDELLA, ELLIOTT, 1993; CHRISTENSEN, 2001; LAVALLEE et al., 2020) comumente divididos em: Matéria Orgânica Particulada (MOP) e Matéria Orgânica Associada aos Minerais (MOM) (LAVALLEE et al., 2020). A MOP (> 53 µm) é considerada uma fração lábil e altamente responsiva às mudanças no manejo, e a MOM (< 53 µm), é subdividida em fração silte (MOM_{silte}) e fração argila (MOM_{argila}), e representa a matéria orgânica mais estável e geralmente menos responsiva às práticas de manejo (VON LÜTZOW et al., 2007). Ambas são consideradas peças-chave para tomada de decisão de gestores de terra e gestores políticos (LAVALLEE et al., 2020; MINASNY et al., 2017; WIESMEIER et al., 2019).

Com relação à MOM, alguns estudos afirmam que a matéria orgânica associada aos minerais do tamanho silte (MOM_{silte}) pode ser uma fração intermediária (ou até mesmo uma subfração) da matéria orgânica particulada, que está entre a MOS lábil (não complexada) e a MOS estabilizada (complexada), podendo também ser responsiva às mudanças no manejo do solo a longo prazo (CURTIN et al., 2019; SAMSON et al., 2020b).

Ao investigar os efeitos da aplicação de DLB a longo prazo em solo argiloso no sul do Canadá, Maillard et al. (2015) observaram o acúmulo de carbono orgânico total (COT) nos 20 cm superiores do solo, acumulados tanto na fração MOP

(principalmente), quanto na fração MOM_{silte} . Eles atribuíram o resultado às características do dejetos, que é uma mistura de resíduos lábeis e solúveis e de resíduos não decompostos. Samson et al. (2020a) também analisaram os efeitos da aplicação de DLB em solos de texturas contrastantes (argiloso e arenoso) e observaram incrementos significativos de COT e nitrogênio total (NT) na fração MOM_{silte} em ambos os solos.

No sul do Brasil, estudos mostraram os efeitos da aplicação de DLB nos estoques totais e nas frações do solo sob plantio direto. Cavalcante et al. (2019), relataram aumentos nas concentrações totais de COT e NT nos primeiros 5 cm do solo (argiloso) nas frações MOP e MOM_{silte} . Eles atribuíram o resultado à entrada de carbono diretamente via DLB e à adição indireta via planta. Em contraste, Rodrigues et al. (2021) analisaram as concentrações e estoques de carbono em um solo arenoso (0-20 cm) e concluíram que as frações de tamanho silte e argila foram mais responsivas, destacando que a aplicação de DLB favorece principalmente as interações organo-minerais do solo.

O uso do dejetos sólido animal para aumentar a matéria orgânica do solo (MOS) é largamente adotado e estudado (BRIEN, HATFIELD, 2019; LIU et al., 2020; LUO et al., 2018; MAILLARD, ANGERS, 2014). No entanto, muitos estudos ainda são necessários para compreender profundamente os efeitos da aplicação do dejetos líquido em solos tropicais e subtropicais de diferentes texturas e práticas de manejo do solo. Isso porque estudos de aplicação de dejetos em culturas no mundo, mostram que a MOS aumenta de forma mais consistente quando o dejetos é aplicado na forma líquida do que na forma sólida (BRIEN, HATFIELD, 2019), o que pode estar relacionado à maior disponibilidade de carbono na forma lábil no dejetos líquido (MAILLARD et al., 2015).

A agregação do solo também é um importante mecanismo de estabilização e sequestro do carbono no solo (JENSEN et al., 2020; SIX et al., 2004). Isso pois o COT e o NT protegidos no interior dos agregados são menos expostos à mineralização por degradação física e microbiana, o que influencia no tempo de permanência da MOS no solo (BEARE et al., 1989; TISDALL, OADES, 1982).

Para investigar os efeitos da aplicação de DLB a longo prazo (14 anos) em solo franco-argiloarenoso sob plantio direto e rotação de culturas, nas concentrações e estoques totais de carbono e nitrogênio no solo e seu efeito na estabilidade dos agregados, nós conduzimos este estudo. Nossa hipótese é de que a aplicação de

DLB a longo prazo: (i) aumenta os estoques totais e acúmulo de C e N no perfil do solo (ii) aumenta a concentração, estoques e taxa de acúmulo de C e N principalmente na fração MOP; e (iii) aumenta a estabilidade dos agregados.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 ÁREA EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS

O estudo foi conduzido na área da estação experimental da Fundação ABC, localizada no município de Ponta Grossa-PR (25°00'46''S 50°09'14''W), sul do Brasil, sobre Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico (Embrapa, 2018), com 13% de declividade e textura franco-argiloarenosa. O clima da região é Cfb, com precipitação média anual de 1554 mm (IAPAR, 2000).

O experimento foi instalado em novembro de 2005 em área sob sistema de plantio direto (PD) há mais de 10 anos, com rotação de culturas de aveia preta (*Avena Strigosa* Schreb) e trigo (*Triticum Aestivum* L.) no inverno e soja (*Glycine max* (L.) Merr.) e milho (*Zea mays* L.) no verão. A tabela 1 apresenta os atributos físicos e químicos do solo antes da instalação do experimento.

TABELA 1 - ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DO SOLO NA ÁREA DE ESTUDO ANTES DA INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO, PROFUNDIDADE 0 – 20 CM.

Atributos físicos	Argila	Silte	Areia	DMP	DS	Porosidade (%)		CH
		g kg ⁻¹		mm	g cm ⁻³	Micro	Macro	mm h ⁻¹
	228	33	739	1,3	1,5	28	15	47
Atributos químicos	pH CaCl ₂	Al	H+Al	Ca	Mg	K	P (Mehlich-1)	C
				cmol kg ⁻¹			mg dm ⁻³	g kg ⁻¹
	5,1	0,0	3,5	3,7	0,7	0,2	19,0	13,2

FONTE: Adaptada de Abboud et al. (2018).

LEGENDA: DMP = Diâmetro Médio Ponderado; DS = Densidade do Solo; CH = Condutividade hidráulica saturada.

Os tratamentos correspondem a quatro doses de dejetos líquido bovino (DLB) (0, 60, 120, 180 m³ ha⁻¹ ano⁻¹), delineados em esquema de blocos casualizados, com quatro repetições, totalizando 16 parcelas. As parcelas experimentais possuem 8,5 m de comprimento por 3,5 m de largura, totalizando 29,75 m², delimitadas por chapas de zinco de 0,1 m de altura enterrada a 0,05 m do solo. O DLB provém de uma fazenda de gado da região, com produção baseada em sistema de confinamento bovino e concentra em média 75 g L⁻¹ de matéria seca, 2,2 g L⁻¹ de

nitrogênio (N), 0,6 g L⁻¹ de fósforo (P) e 1,9 g L⁻¹ de potássio (K) (média calculada de 28 aplicações).

Aplicações anuais de DLB foram realizadas em duas etapas, metade no plantio de inverno e metade no plantio de verão, sendo o dejetos aplicado manualmente na superfície do solo com o auxílio de um regador, sem filtro de resíduos e sem incorporação no solo. A fertilização mineral (NPK) foi realizada de acordo com as recomendações às culturas, na mesma quantidade para todos os tratamentos (Tabela 2).

TABELA 2 - QUANTIDADES DE NITROGÊNIO (N), FÓSFORO (P) E POTÁSSIO (K) APLICADAS VIA ADUBAÇÃO MINERAL E VIA DEJETO LÍQUIDO BOVINO (DLB) NAS DIFERENTES SAFRAS, POR 14 ANOS, EM LATOSSOLO DE TEXTURA FRANCO-ARGILOARENOSA, PONTA GROSSA – PR.

(Continua)

Safr	Cult.	N				P				K			
		DLB (m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹)				DLB (m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹)				DLB (m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹)			
		Min.	60	120	180	Min.	60	120	180	Min.	60	120	180
kg ha ⁻¹													
Verão 2005	SO	0	11	23	34	27	7	13	20	52	25	50	76
Inverno 2006	AP	0	66	132	198	0	25	50	76	0	50	100	149
Verão 2006	MI	183	20	41	61	56	21	41	62	100	56	111	167
Inverno 2007	TR	98	69	138	207	26	19	38	57	50	56	112	168
Verão 2007	SO	0	47	94	141	26	18	36	54	50	71	142	213
Inverno 2008	AP	0	64	129	193	0	21	42	63	0	64	128	192
Verão 2008	MI	171	63	125	187	42	18	36	54	75	54	108	161
Inverno 2009	TR	120	51	103	154	26	23	46	69	50	57	115	172
Verão 2009	SO	0	73	145	218	26	20	39	59	50	113	227	340
Inverno 2010	AP	0	50	101	151	0	24	47	71	0	68	137	205
Verão 2010	MI	171	83	165	248	42	37	73	110	75	94	189	283
Inverno 2011	TR	104	42	84	126	26	4	8	12	50	33	65	98
Verão 2011	SO	0	36	71	107	26	16	33	49	50	22	45	67
Inverno 2012	AP	0	57	114	171	0	16	32	48	0	23	46	69
Verão 2012	MI	183	35	69	104	41	11	22	33	75	23	46	69
Inverno 2013	TR	120	85	170	255	26	9	18	27	50	12	23	35
Verão 2013	SO	0	34	67	101	26	12	24	36	50	126	253	379
Inverno 2014	AP	0	88	175	262	0	3	5	8	0	20	40	60
Verão 2014	MI	180	89	179	268	42	39	78	117	75	61	123	184
Inverno 2015	TR	120	79	157	236	26	3	6	8	50	52	104	157
Verão 2015	SO	0	95	190	285	26	17	35	52	50	61	122	183
Inverno 2016	AP	0	49	98	148	0	13	27	40	0	56	112	168

(Conclusão)

Safr	Cult.	N			P			K					
		Min.	DLB (m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹)			Min.	DLB (m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹)			Min.	DLB (m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹)		
			60	120	180		60	120	180		60	120	180
kg ha ⁻¹													
Verão 2016	MI	180	89	178	267	42	15	30	44	75	69	138	206
Inverno 2017	TR	120	90	180	270	26	12	24	37	50	70	139	209
Verão 2017	SO	0	59	117	175	26	9	19	28	50	46	92	138
Inverno 2018	AP	20	95	190	286	33	19	38	56	42	66	133	199
Verão 2018	SO	0	144	288	432	35	26	51	77	66	92	185	277
Inverno 2019	AP	30	77	153	230	26	20	40	60	50	69	137	206
Média safra		64	66	131	197	25	17	34	51	46	57	115	172
Média anual		129	131	263	394	50	34	68	102	92	115	230	345

FONTE: O autor (2021).

LEGENDA: SO= soja, AP= aveia preta, MI= milho, TR= trigo, Cult. = Cultura agrícola, Min. = Mineral.

2.2 AMOSTRAGEM DE SOLO

Amostras de solo foram coletadas em setembro de 2019, 14 anos após a instalação do experimento, em dois pontos por parcela, nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-45 e 45-60 cm. Em cada ponto de amostragem, as camadas até 30 cm foram coletadas pelo método de escavação com espátula (lâminas de metal), com auxílio de um gabarito metálico (40 × 25 cm) enterrado até 5 cm do solo. As camadas mais profundas foram amostradas utilizando um trado rosca, delimitadas por um cilindro metálico (20 x 23 cm diâmetro).

Para determinação de estabilidade dos agregados, coletamos blocos indeformados de 10 cm de largura e espessura equivalente à da camada (um bloco por camada), com auxílio de uma espátula metálica.

O solo amostrado nas camadas foi pesado em campo, sendo retirada uma subamostra de 50 gramas para determinação da umidade gravimétrica (48h, 105 ° C em estufa). Com os dados de volume - obtido pelas dimensões do gabarito - e a massa seca do solo, foi calculada a densidade do solo pelo método de escavação (BLAKE, HARTGE, 1986). Aproximadamente 1 kg de amostra de solo foi seco ao ar em temperatura ambiente e, posteriormente peneirado a 2,00 mm.

2.3 CONCENTRAÇÕES, ESTOQUES E TAXAS DE ACÚMULO DE CARBONO ORGÂNICO TOTAL E NITROGÊNIO TOTAL NO PERFIL DO SOLO

Foram separadas alíquotas de 20 g, moídas e passadas por malha de 0,50 mm. Aproximadamente 35 mg dessa alíquota foi utilizada para determinação das concentrações de COT e NT por combustão seca (aparelho Vario EL III – elemental®). Os estoques de COT e NT foram calculados a partir das concentrações desses elementos e a densidade do solo, e posteriormente corrigidos considerando a massa equivalente de solo (SISTI et al., 2004). As taxas de acúmulo médio anual de COT e NT foram calculadas para cada tratamento (0, 60, 120, 180 m³ ha⁻¹ ano⁻¹) em relação ao tratamento controle (sem DLB). Para isso, a diferença de estoque entre o tratamento avaliado e o tratamento de referência foi dividida por 14, período de condução do experimento em anos.

2.4 CONCENTRAÇÕES, ESTOQUES E TAXAS DE ACÚMULO DE CARBONO ORGÂNICO TOTAL E NITROGÊNIO TOTAL NAS FRAÇÕES DA MOS E ÍNDICE DE MANEJO DE CARBONO

A etapa de fracionamento granulométrico das camadas 0-5 e 5-10 cm foi baseada no método proposto por Christensen (1996) com adaptações. 20 g de solo foram agitadas por 16 horas em 80 mL de água, em frascos de 300 mL contendo três esferas de poliacetato de 11 mm de diâmetro (após realização de testes preliminares), para rompimento dos agregados maiores de 53 µm, sem fragmentar a matéria orgânica particulada (MOP). A suspensão foi peneirada em malha de 53 µm para isolamento da fração areia e matéria orgânica particulada, lavada com jato leve de água e seca a 45°C.

A suspensão que passou pela malha de 53 µm (matéria orgânica associada aos minerais – MOM) foi centrifugada para isolar os sólidos e o sobrenadante foi transferido para um tubo de ensaio de 250 mL, alocado em banho de gelo e submetido a dispersão de partículas sólidas por desagregador ultrassônico. O equipamento (modelo Sonics Vibra-Cell VCX 500 – VCX 750) continha uma sonda de 13 mm, dissipou energia de dispersão de 400 J mL⁻¹ (após realização de testes preliminares) durante aproximadamente 13 minutos em cada amostra. A suspensão dispersa foi transferida para proveta de 1000 mL e submetida a sete ciclos de

sedimentação, com base na Lei de Stokes, para separar a fração de silte (53 - 2 μm) da fração argila (<2 μm) (CHRISTENSEN, 1996). O sobrenadante sifonado de todos os ciclos de sedimentação foi transferido para outro recipiente e tratado com 0,5 mol L^{-1} de CaCl_2 para concentrar a argila, que posteriormente foi seca a 45°C. Após 23 horas de repouso, o sobrenadante transparente foi descartado e a fração de argila sedimentada no fundo foi seca a 45°C. Ao final do fracionamento físico granulométrico, foram obtidas as frações de areia - MOP (> 53 μm), silte - MOM (53 - 2 μm) e argila - MOM (< 2 μm).

Após a separação das frações, as amostras sólidas foram moídas, passadas em peneira de 0,20 mm e submetidas a combustão seca em analisador elementar (Vario EL III – elementar®) para determinação das concentrações de COT e NT. Os estoques nas frações do solo foram calculados com base nas porcentagens de COT e NT (Mg ha^{-1}) em cada fração do solo, multiplicado pelo estoque acumulado corrigido do solo inteiro (Mg ha^{-1}) e dividido por 100.

Com as informações obtidas após o fracionamento físico, foram calculados o índice de labilidade do carbono (ILC) e o índice de labilidade do nitrogênio (ILN) para as camadas de 0-5 e 5-10 cm (BLAIR et al., 1995), considerando como referência o controle sem aplicação de DLB (Índice de Manejo do Carbono (IMC)=100), calculados pelas seguintes equações (1, 2, 3 e 4):

$$IMC = IEC \times ILC \times 100 = 100 \quad (1)$$

$$IEC = EC^{trat} / EC^{ref} \quad (2)$$

Em que: *IEC* é o índice de estoque de carbono; *EC trat* é o estoque de C do tratamento avaliado (Mg ha^{-1}) e; *EC ref* é o estoque de C do tratamento referência (Mg ha^{-1}).

$$ILC = LC^{trat} / LC^{ref} \quad (3)$$

Em que: *ILC* é o índice de labilidade de C; *LC trat* é a labilidade do C do solo no tratamento avaliado e; *LC ref* é a labilidade do C no solo no tratamento referência.

$$LC = EC^{lábil} / EC^{não lábil} \quad (4)$$

Em que: *LC* é a labilidade do carbono; *EC lábil* é o estoque de C da fração areia - MOP (Mg ha^{-1}) e; *EC não lábil* é o estoque de C da fração silte e da fração argila (Mg ha^{-1}).

2.5 CÁLCULO DE ENTRADA DE CARBONO VIA PLANTA E VIA DEJETO LÍQUIDO BOVINO

A adição de carbono no solo pelas plantas foi calculada com base na entrada de biomassa acima do solo, usando os dados de rendimento de grãos de soja, milho e trigo, e dados de rendimento de matéria seca acima do solo de aveia preta, coletados durante os 14 anos de experimento (28 safras). Foram considerados índices de colheita de 0,52 para soja, 0,49 para milho e 0,53 para trigo (PIERRI et al., 2016). A entrada de biomassa pela raiz foi estimada considerando as razões entre parte aérea e raiz, de 4,4 para aveia preta (PIETOLA; ALAKUKKU, 2005); 5,2 para soja; 5,6 para milho e 6,5 para trigo (BOLINDER et al., 2007). A adição de exsudatos e outras substâncias, como raízes finas, foram estimadas como sendo equivalente a 0,65 vezes a quantidade de biomassa radicular (BOLINDER et al., 2007). A entrada total de carbono via biomassa vegetal foi a soma da parte aérea e da raiz e exsudatos. A concentração de carbono na planta foi considerada de 400 g kg^{-1} (BAYER et al., 2000).

A adição de carbono pelo dejetos foi calculada considerando a concentração de matéria seca de cada aplicação e a concentração média de carbono no resíduo seco de $412,9 \text{ g kg}^{-1}$ (média de 12 análises).

2.6 DIÂMETRO MÉDIO E ESTABILIDADE DOS AGREGADOS

As amostras secas ao ar passaram por malha de 8,00 mm e foram peneiradas manualmente (40 ciclos em média por amostra), sendo separadas nas frações de 4,00; 2,00; 1,00; 0,50 e 0,25 mm. Com esses valores foi possível calcular o diâmetro médio ponderado seco (DMPs), de acordo com a expressão de Kemper and Rosenau (1986) (equação (5)).

$$DMP = \sum_{i=1}^n (x_i \times w_i) \quad (5)$$

Em que *DMP* é o diâmetro médio ponderado (mm), *n* é o número de classes de agregados, *x* é o diâmetro médio dos limites inferior e superior da classe (mm) e *w* é

a fração da massa de solo da classe em relação a massa da amostra total, (adimensional).

Para a determinação dos agregados via úmida (DMPu), foram utilizados 50 g de amostra composta, obtida proporcionalmente à distribuição dos agregados secos, distribuída nas respectivas peneiras do mesmo conjunto de peneiras do DMPs (4,00; 2,00; 1,00; 0,50 e 0,25 mm) e agitadas em aparelho de oscilação vertical (Yoder) durante 15 minutos (42 ciclos). Após esse procedimento, as amostras coletadas de cada peneira foram secas em estufa por 24 horas a 105°C. Com esses resultados foi calculado o DMPu (equação (5)), semelhantemente ao DMPs.

Com os resultados do DMPu e DMPs foi calculado o índice de estabilidade de agregados (IEA), expresso na equação (6).

$$IEA = \frac{DMPu}{DMPs} \quad (6)$$

2.7 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

O efeito dos tratamentos dentro de cada camada de solo, incluindo toda a profundidade de amostragem (0-60 cm) para todas as variáveis (estoques de COT e NT do solo inteiro e estoques de COT e NT nas diferentes frações de MOS) foram submetidos individualmente ao teste de normalidade dos resíduos (teste de Shapiro-Wilk) e análise de variância (ANOVA), considerando delineamento em blocos casualizados. Quando constatado efeito significativo ($p < 0,05$), as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Análises de regressão linear e correlação de Pearson ($p < 0,05$) foram realizadas para explorar as relações entre as entradas de C e os estoques de COT do solo inteiro, nas frações do solo e na estabilidade dos agregados. As análises foram realizadas com o auxílio do software estatístico SISVAR 5.6 (FERREIRA, 2019) e do Sigma Plot versão 12.0 (SYSTAT SOFTWARE, 2020).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 CONCENTRAÇÕES, ESTOQUES E TAXAS DE ACÚMULO DE CARBONO ORGÂNICO TOTAL E NITROGÊNIO TOTAL NO PERFIL DO SOLO

A aplicação de 180 e 120 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ de dejetos líquidos bovinos (DLB) a longo prazo aumentou em média 50% e 33% as concentrações de COT respectivamente na profundidade 0-10 cm (Tabela 3). Para as mesmas doses, as concentrações de

NT foram 64% e 34% superiores em relação ao solo sem aplicação de DLB (Tabela 3).

O aumento nas concentrações de COT e NT deve-se à adição de carbono via planta mais dejetos, que aumentou as entradas gerais de carbono em 55% com doses de 120 e 180 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ (média das duas doses), em comparação ao tratamento sem DLB, que adicionou carbono somente via planta (11,0 vs. 5,7 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹, Tabela 4). Pelas plantas, as entradas de carbono aumentaram em 17% com a aplicação de 180 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ de DLB, o que foi possivelmente causado pela adição de nitrogênio, fósforo e potássio pelo dejetos (Tabela 2), aumentando a produtividade primária líquida das safras e o retorno de resíduos para o solo (COURTIER-MURIAS et al., 2013; LITHOURGIDIS et al., 2007; NOVELLI et al., 2017).

TABELA 3 - CONCENTRAÇÕES DE CARBONO ORGÂNICO TOTAL (COT) E NITROGÊNIO TOTAL (NT), RELAÇÃO C/N E DENSIDADE DE SOLO (DS) NAS PROFUNDIDADES DE 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-45, 45-60 EM LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO DISTRÓFICO TÍPICO DE TEXTURA FRANCO-ARGILOARENOSA, SOB PLANTIO DIRETO COM APLICAÇÃO POR 14 ANOS DE DOSES (0, 60, 120 E 180 M³ HA⁻¹ ANO⁻¹) DE DEJETO LÍQUIDO BOVINO (DLB), PONTA GROSSA – PR.

Profundidade (cm)	Doses de DLB (m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹)				p valor	CV (%)
	0	60	120	180		
COT (g kg⁻¹)						
0 - 5	16,46 c	19,57 bc	21,70 ab	24,62 a	>0,00	10,57
5 - 10	10,06 b	10,68 b	13,57 a	15,27 a	>0,00	10,44
10 - 20	6,41 ns	6,77 ns	6,95 ns	7,44 ns	0,33	10,90
20 - 30	5,91 ns	6,91 ns	5,95 ns	6,20 ns	0,30	7,02
30 - 45	4,98 ns	5,42 ns	5,39 ns	5,53 ns	0,25	7,14
45 - 60	4,09 ns	4,44 ns	4,06 ns	4,36 ns	0,82	11,70
NT (g kg⁻¹)						
0 - 5	1,50 c	1,80 bc	2,03 ab	2,44 a	>0,00	9,93
5 - 10	0,99 b	1,02 b	1,31 a	1,65 a	>0,00	9,70
10 - 20	0,61 ns	0,78 ns	0,66 ns	1,03 ns	0,32	22,56
20 - 30	0,54 ns	0,63 ns	0,54 ns	0,75 ns	0,19	10,68
30 - 45	0,48 ns	0,49 ns	0,49 ns	0,68 ns	0,15	4,90
45 - 60	0,39 ns	0,42 ns	0,38 ns	0,53 ns	0,66	8,78
C/N						
0 - 5	10,9 ns	10,9 ns	10,7 ns	10,3 ns	0,06	2,88
5 - 10	10,9 ns	10,9 ns	10,9 ns	9,9 ns	0,60	12,61
10 - 20	10,5 ns	11,1 ns	10,5 ns	8,8 ns	0,49	17,56
20 - 30	11,6 ns	11,0 ns	10,9 ns	9,5 ns	0,46	19,54
30 - 45	11,2 ns	11,0 ns	10,9 ns	9,4 ns	0,37	15,11
45 - 60	11,4 ns	10,6 ns	10,6 ns	9,2 ns	0,28	14,16
DS (kg dm³)						
0 - 5	1,072 ns	1,142 ns	1,090 ns	1,048 ns	0,38	6,93
5 - 10	1,377 ns	1,331 ns	1,299 ns	1,342 ns	0,24	3,76
10 - 20	1,507 ns	1,511 ns	1,506 ns	1,504 ns	0,99	4,70
20 - 30	1,466 ns	1,451 ns	1,472 ns	1,435 ns	0,80	3,98
30 - 45	1,414 ns	1,411 ns	1,448 ns	1,390 ns	0,65	4,58
45 - 60	1,409 ns	1,429 ns	1,455 ns	1,385 ns	0,66	5,69

FONTE: O autor (2021).

NOTAS: Médias seguidas por letras iguais na linha não são significativamente diferentes de acordo com o teste de Tukey (p <0,05); ns: não significativo.

TABELA 4 - ENTRADA DE CARBONO (C) VIA PLANTA (AVEIA PRETA, TRIGO, MILHO E SOJA) E VIA DEJETO LÍQUIDO BOVINO (DLB) NAS DOSES DE 0, 60, 120 E 180 M³ HA⁻¹ ANO⁻¹ (DIVIDIDO EM APLICAÇÕES DE INVERNO E VERÃO) EM LATOSSOLO FRANCO-ARGILOARENOSO SOB PLANTIO DIRETO, POR 14 ANOS (28 SAFRAS), PONTA GROSSA – PR.

Safr	Cult.	Planta ¹				DLB (m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹)				Total (Plantas + DLB)			
		0	60	120	180	0	60	120	180	0	60	120	180
Mg C ha ⁻¹													
Verão 2005/06	SO	1,20	1,26	1,28	1,17	0,00	0,20	0,40	0,59	1,20	1,46	1,67	1,76
Inverno 2006	AP	1,41	1,58	1,58	1,82	0,00	1,07	2,14	3,21	1,41	2,65	3,72	5,03
Verão 2006/07	MI	5,34	5,96	6,22	5,59	0,00	0,85	1,69	2,54	5,34	6,81	7,92	8,13
Inverno 2007	TR	1,00	0,81	1,07	0,88	0,00	1,37	2,73	4,10	1,00	2,18	3,80	4,98
Verão 2007/08	SO	1,93	1,92	1,89	1,94	0,00	0,89	1,78	2,68	1,93	2,81	3,67	4,62
Inverno 2008	AP	1,03	1,17	1,15	1,09	0,00	1,34	2,68	4,02	1,03	2,51	3,83	5,11
Verão 2008/09	MI	5,29	5,58	5,87	5,57	0,00	1,21	2,41	3,62	5,29	6,79	8,28	9,18
Inverno 2009	TR	1,06	1,17	1,10	0,99	0,00	0,91	1,82	2,73	1,06	2,08	2,92	3,72
Verão 2009/10	SO	1,75	1,88	2,10	1,90	0,00	1,96	3,92	5,88	1,75	3,84	6,02	7,78
Inverno 2010	AP	1,35	2,05	2,53	2,73	0,00	0,88	1,77	2,65	1,35	2,93	4,29	5,39
Verão 2010/11	MI	6,79	7,20	7,24	7,53	0,00	1,60	3,21	4,81	6,79	8,80	10,4	12,3
Inverno 2011	TR	1,03	0,99	1,09	0,94	0,00	0,95	1,89	2,84	1,03	1,94	2,98	3,77
Verão 2011/12	SO	2,14	2,25	2,35	2,17	0,00	0,54	1,08	1,61	2,14	2,78	3,42	3,78
Inverno 2012	AP	1,42	1,49	1,61	2,01	0,00	0,62	1,23	1,85	1,42	2,11	2,84	3,86
Verão 2012/13	MI	5,56	6,94	7,43	8,16	0,00	0,68	1,36	2,04	5,56	7,62	8,79	10,2
Inverno 2013	TR	1,94	2,10	2,37	2,27	0,00	0,40	0,80	1,19	1,94	2,50	3,17	3,47
Verão 2013/14	SO	2,34	2,58	2,61	2,58	0,00	0,74	1,47	2,21	2,34	3,32	4,09	4,79
Inverno 2014	AP	1,46	1,64	2,14	2,18	0,00	0,93	1,86	2,79	1,46	2,57	4,00	4,96
Verão 2014/15	MI	7,39	7,83	8,25	8,19	0,00	0,89	1,77	2,66	7,39	8,71	10,0	10,8
Inverno 2015	TR	1,52	1,71	1,91	1,77	0,00	0,92	1,84	2,76	1,52	2,63	3,75	4,54
Verão 2015/16	SO	2,11	2,35	2,39	2,45	0,00	1,34	2,69	4,03	2,11	3,70	5,08	6,48
Inverno 2016	AP	1,34	1,59	1,80	1,97	0,00	0,70	1,41	2,11	1,34	2,29	3,21	4,08
Verão 2016/17	MI	6,48	6,84	7,05	7,30	0,00	0,18	0,36	0,54	6,48	7,01	7,41	7,84
Inverno 2017	TR	0,99	1,17	1,24	1,09	0,00	0,91	1,81	2,72	0,99	2,08	3,05	3,81
Verão 2017/18	SO	2,54	2,76	2,80	2,76	0,00	0,93	1,86	2,79	2,54	3,69	4,66	5,54
Inverno 2018	AP	1,32	1,59	1,85	2,00	0,00	1,00	2,00	3,00	1,32	2,59	3,85	5,00
Verão 2018/19	SO	2,20	2,28	2,35	2,25	0,00	1,13	2,26	3,39	2,20	3,41	4,61	5,64
Inverno 2019	AP	1,34	1,59	1,80	1,97	0,00	0,78	1,56	2,35	1,34	2,37	3,37	4,31
Média safra		2,55	2,80	2,97	2,97	0,00	0,93	1,85	2,78	2,55	3,72	4,82	5,75
Média anual ¹		5,1c	5,5b	5,9a	5,9a	0,00	1,85	3,70	5,55	5,0d	7,4c	9,6b	11,5a

FONTE: O autor (2021).

LEGENDA: SO = soja, AP = aveia preta, MI = milho, TR = trigo. DLB = Dejeo Líquido Bovino.

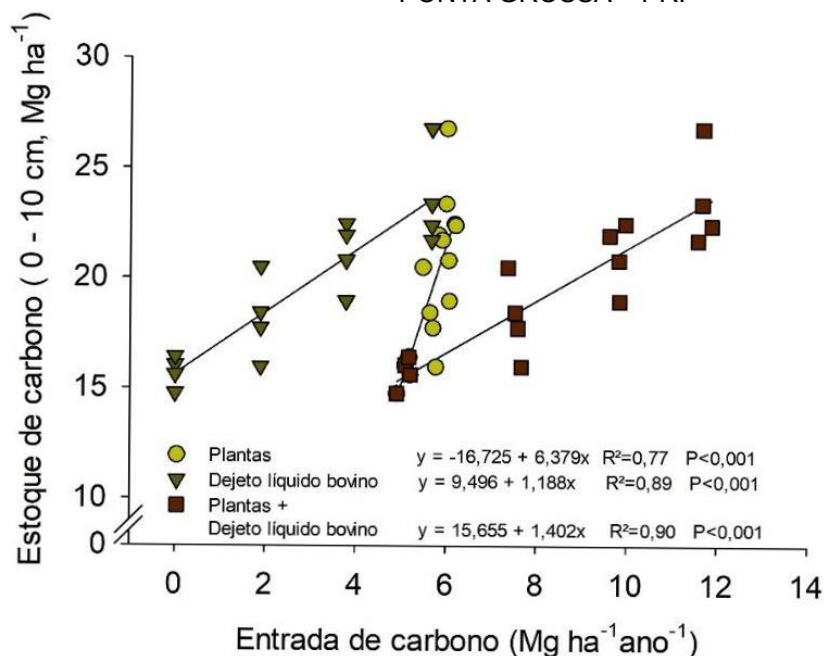
NOTAS: ¹Soma da biomassa acima do solo (parte aérea) e raiz e exsudato; Medias seguidas por letras iguais na linha não são significativamente diferentes de acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$); ns: não significativo.

As análises de regressão entre as entradas de carbono e o estoque de carbono (0-10 cm) confirmam a maior influência do dejeo no incremento de carbono no solo (Figura 1). As entradas pelo dejeo apresentaram relação linear mais forte com o aumento do estoque de carbono, ainda que as entradas pela planta também

tenham sido linear e positivamente relacionadas. Essa relação também indica que mesmo após 14 anos de entrada de resíduos de cultura e DLB, a matéria orgânica no solo não estava saturada.

Nossos resultados foram semelhantes aos encontrados em outros estudos (CAVALCANTE et al., 2019; RODRIGUES et al., 2021) em solos agrícolas subtropicais sob plantio direto e aplicação de DLB, que apontaram aumentos de 22% e 32% nas concentrações de COT e NT (0-5 cm, solo argiloso) com 10 anos de aplicação de dejetos (CAVALCANTE et al., 2019), e aumento médio de 70% na concentração de COT (0-10 cm, solo arenoso) em 12 anos de aplicação de dejetos (RODRIGUES et al., 2021), comparados ao solo adubado somente com fertilizante mineral. Ambos os estudos enfatizaram que as entradas de carbono pelo dejetos influenciaram fortemente o aumento nos incrementos de COT e NT na camada superficial do solo.

FIGURA 1 - RELAÇÃO ENTRE OS ESTOQUES DE CARBONO ORGÂNICO DO SOLO (COT, MG HA⁻¹) (0-10 CM) E A ENTRADA MÉDIA ANUAL DE COT PELAS PLANTAS, DEJETO LÍQUIDO BOVINO (DLB), E PLANTA MAIS DEJETO LÍQUIDO BOVINO (MG HA⁻¹) EM LATOSSOLO DE TEXTURA FRANCO-ARGILOARENOSA, SOB PLANTIO DIRETO COM APLICAÇÃO POR 14 ANOS DE DOSES (0, 60, 120 E 180 M³ HA⁻¹ ANO⁻¹) DE DLB, PONTA GROSSA – PR.



FONTE: O autor (2021).

Os estoques de COT aumentaram em 32% (0-20 cm) (média das doses de 120 e 180 m³ ha⁻¹ ano⁻¹) e 17% (0-60 cm) (dose de 180 m³ ha⁻¹ ano⁻¹), em relação ao solo sem DLB, nas diferentes profundidades (Tabela 5). Os estoques de NT seguiram o mesmo padrão, com acréscimo significativo de 30% (0-20 cm) (doses de

120 e 180 m³ ha⁻¹ ano⁻¹) e 21% (0-60 cm) (dose de 180 m³ ha⁻¹ ano⁻¹). As taxas de acúmulo aumentaram em todos os tratamentos com DLB, mas encontramos melhores resultados com aplicação de 180 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, com acúmulos anuais de 0,6 Mg C ha⁻¹ano⁻¹ e 65 kg N ha⁻¹ano⁻¹ na profundidade de 0-20 cm, enquanto que na profundidade 0-60 cm, as taxas foram de 0,8 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ (COT) e 75 kg ha⁻¹ano⁻¹(NT) (Tabela 5). Esse efeito em profundidade deve-se principalmente ao acúmulo de carbono nas camadas superficiais do solo (Tabela 3).

TABELA 5 - ESTOQUE E TAXAS DE ACÚMULO DE CARBONO ORGÂNICO TOTAL (COT) E NITROGÊNIO TOTAL (NT) NAS PROFUNDIDADES EM LATOSSOLO DE TEXTURA FRANCO-ARGILOARENOSA, SOB PLANTIO DIRETO COM APLICAÇÃO POR 14 ANOS DE DOSES (0, 60, 120 E 180 M³ HA⁻¹ ANO⁻¹) DE DEJETO LÍQUIDO BOVINO (DLB), PONTA GROSSA – PR.

Profundidade (cm)	Doses de DLB (m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹)				p valor	CV (%)
	0	60	120	180		
Estoque de COT (Mg ha⁻¹)						
0 - 5 cm	8,82 c	10,45 bc	11,67 ab	13,29 a	0,03	11,52
0 - 10 cm	15,75 c	18,15 bc	21,05 ab	23,61 a	>0,00	10,00
0 - 20 cm	25,41 c	28,39 bc	31,32 ab	34,51 a	>0,00	7,29
0 - 30 cm	34,06 c	37,85 bc	40,02 ab	43,53 a	>0,00	5,96
0 - 45 cm	44,63 c	49,31 bc	51,43 ab	55,19 a	>0,00	5,35
0 - 60 cm	53,24 b	58,70 ab	60,20 ab	64,30 a	>0,00	4,89
Taxa de acúmulo de COT (Mg ha⁻¹ ano⁻¹)						
0 - 5 cm	-	0,12	0,20	0,32		
0 - 10 cm	-	0,18	0,38	0,56		
0 - 20 cm	-	0,22	0,42	0,65		
0 - 30 cm	-	0,27	0,42	0,68		
0 - 45 cm	-	0,34	0,48	0,75		
0 - 60 cm	-	0,39	0,42	0,80		
Estoque de NT (Mg ha⁻¹)						
0 - 5 cm	0,81 c	0,96 bc	1,11 ab	1,25 a	>0,00	11,04
0 - 10 cm	1,49 c	1,69 bc	1,96 ab	2,26 a	>0,00	8,63
0 - 20 cm	2,41 b	2,88 ab	2,95 a	3,32 a	>0,00	8,23
0 - 30 cm	3,20 b	3,81 a	3,75 a	4,15 a	>0,00	5,43
0 - 45 cm	4,21 b	4,84 a	4,82 a	5,21 a	>0,00	4,80
0 - 60 cm	5,03 b	5,73 a	5,64 a	6,08 a	>0,00	4,73
Taxa de acúmulo de NT (Kg ha⁻¹ ano⁻¹)						
0 - 5 cm	-	11,16	20,36	32,00		
0 - 10 cm	-	14,60	36,27	55,40		
0 - 20 cm	-	33,78	40,07	65,39		
0 - 30 cm	-	43,38	40,15	67,72		
0 - 45 cm	-	44,77	42,72	71,86		
0 - 60 cm	-	49,18	36,88	74,73		

FONTE: O autor (2021).

NOTAS: Médias seguidas por letras iguais na linha não são significativamente diferentes de acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$); ns: não significativo.

Cavalcante et al. (2019) também aplicaram doses de DLB (60, 120 e 180 de m³ ha⁻¹ ano⁻¹) em solo de plantio direto ao longo de 10 anos e descobriram que as maiores doses (120 ou 180 m³ ha⁻¹ ano⁻¹) aumentaram os estoques de COT e NT nos 20 cm superiores de solo a taxas médias de 0,8 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹ e 90 kg N ha⁻¹

ano⁻¹. A menor resposta do solo arenoso pode ser explicada pela ocorrência de maiores taxas de renovação de COT e NT devido a menor proteção física e complexação da matéria orgânica nesses solos em relação a solos ricos em argila (CHIVENGE et al., 2011; SAMSON et al., 2020; SIX et al., 2002).

Independente da origem das entradas de carbono, nossos resultados demonstram um acúmulo médio anual de 1,2% (0-60 cm) no estoque de carbono, superando o mínimo de 0,4% proposto pela iniciativa '4 por mil' (em até 200 cm de solo). Isso indica que a adoção de práticas como a adição de DLB e rotação de culturas em plantio direto, pode ser viável para o sequestro do carbono, além de proporcionar melhorias na qualidade do solo (LI et al., 2020; MINASNY et al., 2017).

3.2 CARBONO ORGÂNICO TOTAL E NITROGÊNIO TOTAL NAS FRAÇÕES DO SOLO E ÍNDICE DE MANEJO DO CARBONO

A fração MOP da camada 0-5 cm não respondeu (estatisticamente) a aplicação de DLB a longo prazo (Tabela 6). Esperávamos encontrar maiores concentrações de COT e NT principalmente nessa fração (CAVALCANTE et al., 2019; DIEKOW et al., 2005; MAILLARD et al., 2015), devido à sabida característica da MOP de alta resposta às práticas de manejo do solo (BAYER et al., 2004; LAVALLEE et al., 2020). Por outro lado, observamos aumentos nas concentrações de COT na fração MOM_{site} com doses de 120 (43%) e 180 (25%) m³ de DLB ha⁻¹ ano⁻¹, em relação ao tratamento sem DLB. Comportamento semelhante ocorreu nas concentrações de NT (Figura 2, Tabela 6). Na camada 5-10 cm, a dose de 180 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ de DLB aumentou as concentrações de COT na fração MOP em 130% enquanto na fração MOM_{site} o incremento foi de 41%. Os estoques de COT aumentaram em 131% na fração MOP e em 38% na fração MOM_{site}. As maiores taxas de acúmulo de carbono ocorreram na MOP, com 0,13 e 0,18 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ nas camadas 0-5 e 5-10 cm, respectivamente (Tabela 6).

Nossos resultados sustentam a hipótese de que parte da MOM_{site} é composta por complexos organo-minerais em estágio inicial e pode apresentar características em comum a MOP, sendo responsiva às práticas de manejo (ADISA, NORTCLIFF, 2011; DIEKOW et al., 2005; MAILLARD et al., 2015; CURTIN et al., 2019; SAMSON, et al. 2020b; PLANTE et al., 2006). Sugerimos que este resultado esteja

TABELA 6 - CARBONO ORGÂNICO TOTAL (COT), NITROGÊNIO TOTAL (NT) E RELAÇÃO C / N NA MOP, MOM_{SILTE} E MOM_{ARGILA} NAS CAMADAS 0-5 E 5-10 CM DE LATOSSOLO FRANCO-ARGILOARENOSO SOB PLANTIO DIRETO E APLICAÇÃO DE 14 ANOS DE DEJETO LÍQUIDO BOVINO (DLB) A 0, 60, 120 E 180 M³ HA⁻¹ ANO⁻¹, PONTA GROSSA-PR.

DLB (m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹)	Prof. (cm)	COT (g C kg ⁻¹ solo)	Est. C (Mg ha ⁻¹)	Tx. ac. C (Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹)	NT (g N kg ⁻¹ solo)	Est. N (Mg ha ⁻¹)	Tx. ac. N (kg ha ⁻¹ ano ⁻¹)	Rel. C / N --
MOP								
0		7,64 ^{ns}	4,07 ^{ns}	-	0,68 ^{ns}	0,33 ^{ns}	-	11
60	0-5	10,98 ^{ns}	5,94 ^{ns}	0,13	0,90 ^{ns}	0,49 ^{ns}	11,00	11
120		9,99 ^{ns}	5,38 ^{ns}	0,09	0,89 ^{ns}	0,48 ^{ns}	11,00	11
180		9,60 ^{ns}	5,15 ^{ns}	0,08	0,86 ^{ns}	0,46 ^{ns}	9,00	11
		p valor	0,26	0,24		0,26	0,10	
	cv (%)	22,49	23,51		18,13	19,73		
0		2,81 b	1,94 b	-	0,36 c	0,25 b	-	8
60	5-10	3,86 b	2,69 b	0,07	0,37 c	0,25 b	1,00	10
120		4,48 b	3,11 ab	0,08	0,48 b	0,34 b	6,00	9
180		6,64 a	4,49 a	0,18	0,64 a	0,43 a	13,00	10
		p valor	>0,01	0,01		>0,01	>0,01	
	cv (%)	17,90	20,75		10,55	12,90		
MOM_{silte}								
0		4,18 c	2,23 ^{ns}	-	0,30 ^{ns}	0,15 ^{ns}	-	14
60	0-5	4,62 bc	2,51 ^{ns}	0,02	0,49 ^{ns}	0,27 ^{ns}	9,00	9
120		6,24 a	3,34 ^{ns}	0,08	0,48 ^{ns}	0,26 ^{ns}	8,00	13
180		5,70 ab	3,03 ^{ns}	0,06	0,45 ^{ns}	0,24 ^{ns}	7,00	13
		p valor	>0,00	0,21		0,12	0,06	
	cv (%)	7,88	26,44		34,34	26,54		
0		5,45 c	3,74 b	-	0,44 c	0,30 b	-	12
60	5-10	5,62 bc	3,89 b	0,00	0,44 bc	0,30 b	0,25	13
120		6,85 ab	4,74 ab	0,07	0,55 b	0,38 ab	6,00	12
180		7,63 a	5,16 a	0,10	0,63 a	0,43 a	9,00	12
		p valor	>0,01	0,01		>0,01	>0,01	
	cv (%)	8,52	12,99		7,24	11,18		
MOM_{argila}								
0		4,19 ^{ns}	2,23 ^{ns}	-	0,37 ^{ns}	0,181 ^{ns}	-	11
60	0-5	4,69 ^{ns}	2,53 ^{ns}	0,02	0,45 ^{ns}	0,24 ^{ns}	4,00	10
120		4,47 ^{ns}	2,39 ^{ns}	0,01	0,41 ^{ns}	0,22 ^{ns}	3,00	11
180		3,78 ^{ns}	2,04 ^{ns}	-0,01	0,35 ^{ns}	0,19 ^{ns}	1,00	11
		p valor	0,14	0,41		0,08	0,207	
	cv (%)	9,97	17,39		11,42	19,16		
0		1,04 ^{ns}	0,70 ^{ns}	-	0,10 ^{ns}	0,07 ^{ns}	-	11
60	5-10	1,93 ^{ns}	1,35 ^{ns}	0,03	0,19 ^{ns}	0,13 ^{ns}	4,00	10
120		1,74 ^{ns}	1,20 ^{ns}	0,04	0,17 ^{ns}	0,12 ^{ns}	4,00	10
180		1,80 ^{ns}	1,22 ^{ns}	0,04	0,18 ^{ns}	0,12 ^{ns}	4,00	10
		p valor	0,120	0,07		0,04	0,06	
	cv (%)	10,17	28,06		10,70	28,99		

FONTE: O autor (2021).

LEGENDA: MOP: matéria orgânica particulada (> 53 µm); MOM_{silte}: matéria orgânica associada a fração silte (< 53 µm); MOM_{argila}: matéria orgânica associada a fração argila (< 53 µm). CV= Coeficiente de Variação, Tx. ac. = Taxas de acúmulo, Est. = Estoque.

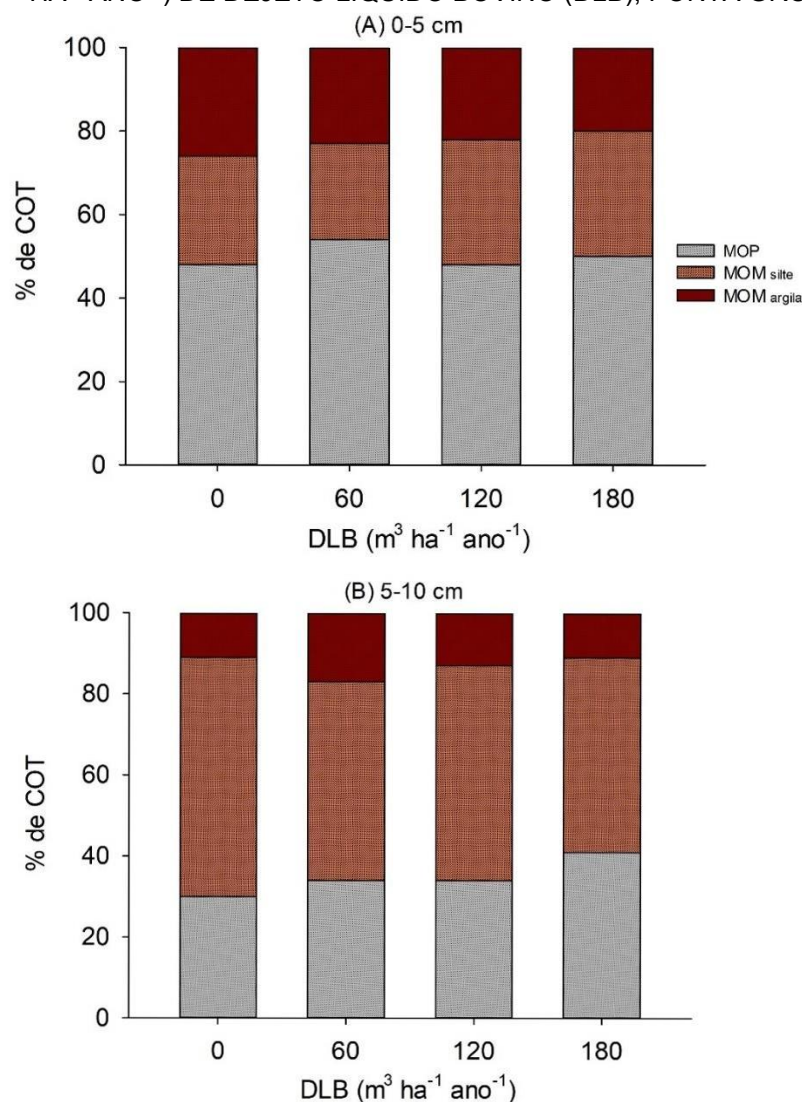
NOTAS: Medias seguidas por letras iguais na coluna não são significativamente diferentes de acordo com o teste de Tukey (p < 0,05); ns: não significativo

associado a adição de nitrogênio e compostos orgânicos lábeis (do DLB), que aumentam da atividade microbiana, transformando o carbono em parcialmente

estável e ligado à fração silte (ADISA, NORTCLIFF, 2011; COTRUFO et al. , 2013; SAMSON et al. , 2020a).

Além disso, outros estudos com aplicação de DLB a longo prazo também indicaram aumentos nas concentrações de COT na fração MOM_{silte} , além dos incrementos na fração MOP, indicando semelhanças nas características do carbono entre estas frações (MAILLARD et al., 2015; CURTIN et al., 2019; SAMSON et al, 2020).

FIGURA 2 - CONTRIBUIÇÃO DAS FRAÇÕES FÍSICAS DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO NA CONCENTRAÇÃO DE CARBONO ORGÂNICO TOTAL (COT) NAS CAMADAS 0-5 E 5-10 CM EM LATOSSOLO DE TEXTURA FRANCO-ARGILOARENOSA, SOB PLANTIO DIRETO COM APLICAÇÃO POR 14 ANOS DE DOSES (0, 60, 120 E 180 $M^3 HA^{-1} ANO^{-1}$) DE DEJETO LÍQUIDO BOVINO (DLB), PONTA GROSSA – PR.



FONTE: O autor (2021).

LEGENDA: MOP: matéria orgânica particulada ($> 53 \mu m$); MOM_{silte} : matéria orgânica associada a fração silte ($< 53 \mu m$); MOM_{argila} : matéria orgânica associada a fração argila ($< 53 \mu m$).

O Índice de Manejo do Carbono (IMC) teve um aumento significativo para as diferentes doses na camada 5-10, com incremento de 140 (180 m³ ha⁻¹ ano⁻¹) e 63 (120 m³ ha⁻¹ ano⁻¹) (Tabela 7). Este índice fornece uma indicação das mudanças na dinâmica do carbono no solo em relação a diferentes tipos de sistemas avaliados, mostrando uma resposta em relação a determinada referência (BLAIR et al, 1995).

TABELA 7 - LABILIDADE DO CARBONO (LC), ÍNDICE DE ESTABILIDADE DO CARBONO (IEC), ÍNDICE DE LABILIDADE DO CARBONO (ILC) E ÍNDICE DE MANEJO DE CARBONO (IMC) NAS CAMADAS 0-5 E 5-10 CM, EM LATOSSOLO DE TEXTURA FRANCO-ARGILOARENOSA, SOB PLANTIO DIRETO COM APLICAÇÃO POR 14 ANOS DE DOSES (0, 60, 120 E 180 M³ HA⁻¹ ANO⁻¹) DE DEJETO LÍQUIDO BOVINO (DLB), PONTA GROSSA – PR.

DLB m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹	Prof, cm	LC	IEC	ILC	IMC
0	0-5	0,91 ns	1,00 c	1,00 ns	100 ns
60		1,18	1,19 bc	1,30	154
120		0,94	1,32 ab	1,03	137
180		1,01	1,51 a	1,11	168
p valor		0,127	0,003	0,117	0,063
CV (%)		15,25	10,83	15,32	22,37
0	5-10	0,44 b	1,00 b	1,00 ns	100 c
60		0,51 ab	1,01 b	1,18	119 bc
120		0,52 ab	1,36 a	1,20	163 b
180		0,70 a	1,49 a	1,62	240 a
p valor		0,053	0,001	0,071	0,005
CV (%)		20,07	7,73	22,52	18,51

FONTE: O autor (2021).

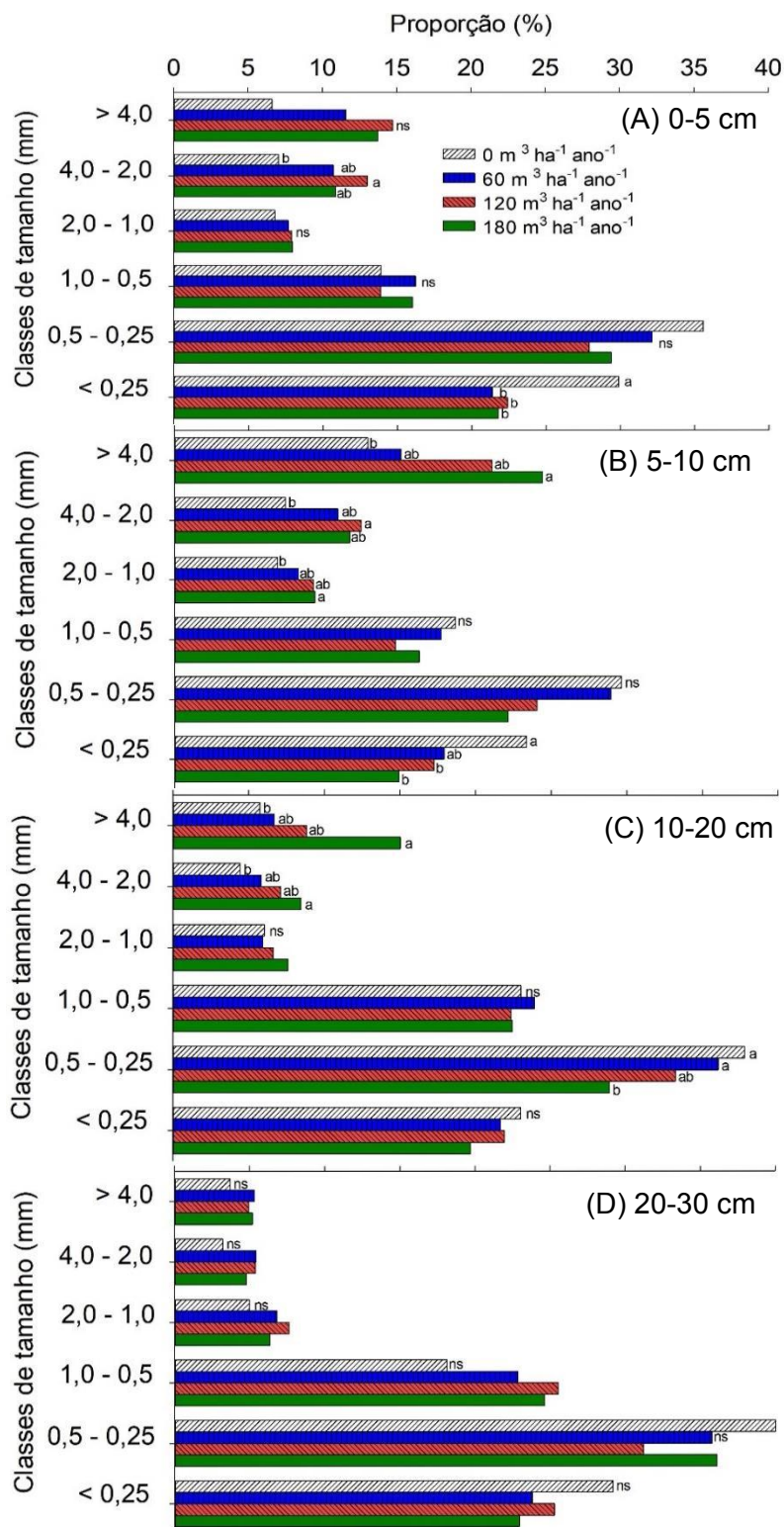
NOTAS: Medias seguidas por letras iguais na coluna não são significativamente diferentes de acordo com o teste de Tukey (p <0,05); ns: não significativo.

Nossos resultados foram eficientes em mostrar mudanças na qualidade do solo com aplicação de DLB em sistema de plantio direto e rotação de culturas, sugerindo que esta prática minimiza a degradação do solo (Ghosh et al., 2016).

3.3 DIÂMETRO MÉDIO E ESTABILIDADE DOS AGREGADOS

A aplicação de DLB aumentou em média 64% a proporção de agregados maiores que 4 mm e diminuiu em média 27% a proporção de agregados < 0,25 mm na camada 0-5 cm. Tendências semelhantes foram observadas nas camadas subsuperficiais, com aumento médio de 57% na proporção de agregados de tamanho > 4 mm, e diminuição média de 29% da proporção de agregados < 0,25 mm na camada 5-10 cm (em relação ao tratamento controle), enquanto que na camada 10-20 cm, a proporção > 4 aumentou em média 78% e a proporção 0,5 – 0,25 mm diminuiu em média 42% (Figura 3).

FIGURA 3 - DISTRIBUIÇÃO DOS AGREGADOS EM CLASSES DE TAMANHO NAS CAMADAS 0 - 5 (A), 5 - 10 (B), 10 - 20 (C) E 20 - 30 (D), EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE DOSES DE DEJETO LÍQUIDO BOVINO (0, 60, 120 E 180 M³ HA⁻¹ ANO⁻¹) EM LATOSSOLO DE TEXTURA FRANCO-ARGILOARENOSA SOB PLANTIO DIRETO, PONTA GROSSA – PR.



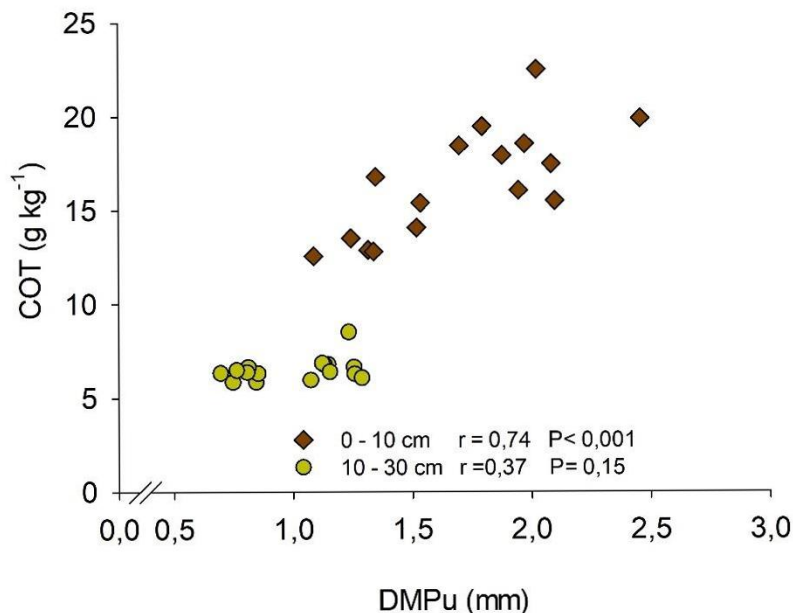
FONTE: O autor (2021).

NOTAS: Medias seguidas por letras iguais nas barras de classe de tamanho não são significativamente diferentes de acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$); ns: não significativo.

Além de COT e NT, o dejetos fornece micronutrientes como nitrogênio, fósforo e potássio (Tabela 2) (SORENSEN et al., 2003; MAILLARD et al., 2015; CAVALLI et al., 2017; SAMSON et al., 2020b) que contribuem para o aumento da produtividade das culturas agrícolas e de exsudatos orgânicos (LITHOURGIDIS et al., 2007; BARTH et al., 2020) originários de hifas fúngicas e raízes finas. Esse processo melhora a estabilização da MOS por meio da redução da taxa de rotatividade do carbono (TISDALL; OADES, 1982; MARTENS, 2000; VEZZANI; MIELNICZUK, 2011; SAMSON et al., 2020a), o que aumenta o nível de proteção da MOS no interior dos agregados e favorece o sequestro do carbono no solo (ADISA, NORTCLIFF, 2011; BEARE et al., 1994; SIX et al., 2004; TISDALL, OADES, 1982).

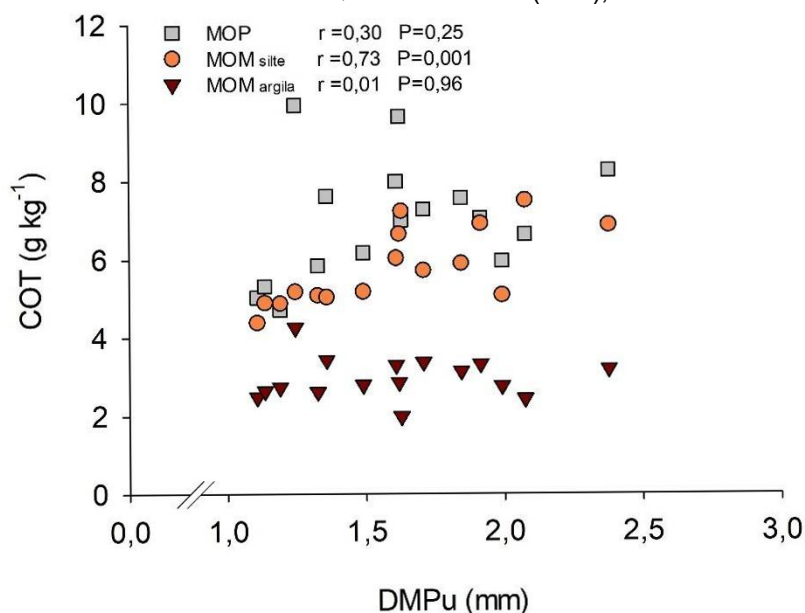
A combinação das práticas de plantio direto, rotação de culturas e aplicação de DLB influenciou a agregação do solo (LI et al., 2020; PLANTE et al., 2006). Nossos resultados foram consistentes com a correlação positiva encontrada entre o diâmetro médio ponderado úmido e o COT nas profundidades 0-5 e 5-10 cm (Figura 4). Em relação às frações da matéria orgânica, o incremento de carbono na fração MOM_{silte} foi positivamente correlacionado ao DMPu nas profundidades 0-5 e 5-10 cm (Figura 5). Estes resultados confirmam a hipótese de que a fração silte é importante para a estabilização de longo prazo da matéria orgânica devido sua associação aos minerais do solo e sua oclusão física em microagregados (ADISA, NORTCLIFF, 2011; PLANTE et al., 2006).

FIGURA 4 - CORRELAÇÃO ENTRE CARBONO ORGÂNICO TOTAL (COT) E DIÂMETRO MÉDIO PONDERADO ÚMIDO (DMPu) NAS PROFUNDIDADES 0-10 E 10-30 CM, APÓS 14 ANOS DE APLICAÇÃO DE DOSES DE 0, 60, 120 E 180 M³ HA⁻¹ ANO⁻¹ DE DEJETO LÍQUIDO BOVINO (DLB), PONTA GROSSA – PR.



FONTE: O autor (2021).

FIGURA 5 - CORRELAÇÃO ENTRE CARBONO ORGÂNICO TOTAL (COT) NAS FRAÇÕES FÍSICAS (AREIA, SILTE E ARGILA) DO SOLO E DIÂMETRO MÉDIO PONDERADO ÚMIDO (DMPU) NA PROFUNDIDADE 0-10 CM, APÓS 14 ANOS DE APLICAÇÃO DE DOSES DE 0, 60, 120 E 180 M³ HA⁻¹ ANO⁻¹ DE DEJETO LÍQUIDO BOVINO (DLB), PONTA GROSSA – PR.



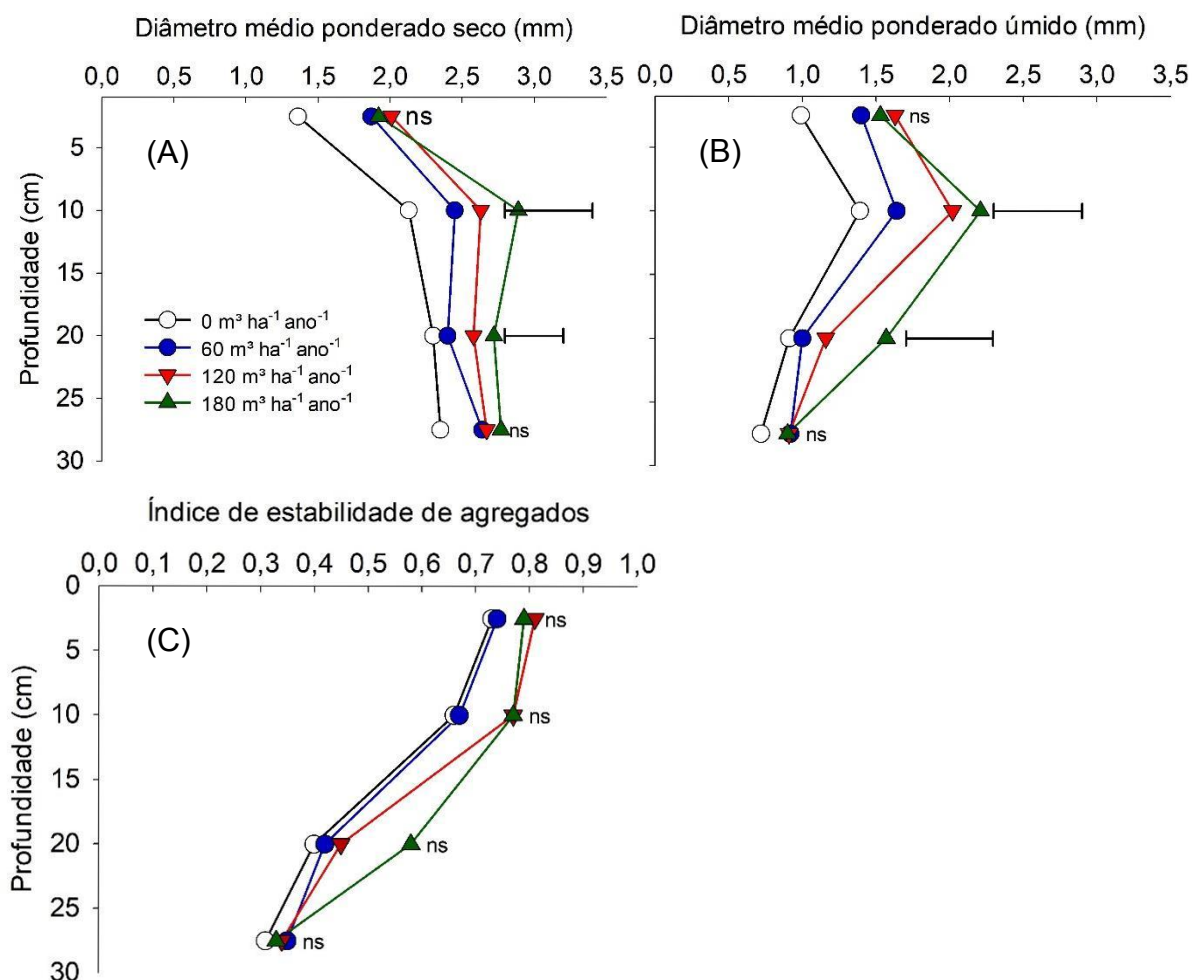
FONTE: O autor (2021).

LEGENDA: MOP: matéria orgânica particulada (> 53 µm); MOM_{silte}: matéria orgânica associada a fração silte (< 53 µm); MOM_{argila}: matéria orgânica associada a fração argila (< 53 µm).

As aplicações de todas as doses de DLB aumentaram o diâmetro médio ponderado seco (DMPs) e o diâmetro médio ponderado úmido (DMPu) na camada 0-5 (cm) em média 43% (de 1,36 para 1,94 mm) e 54% (de 0,99 para 1,52), respectivamente, em relação ao solo sem DLB. Na camada 5-10 cm o DMPs aumentou em 36% (de 2,13 para 2,89 mm) e o DMPu em 59% (de 1,39 para 2,21 mm) com a dose de 180 m³ ha⁻¹ ano⁻¹. Padrão similar foi encontrado na camada 10-20 cm, com aumento de 18% no DMPs (de 2,30 para 2,72 mm) e 73% no DMPu (de 0,91 para 1,57 mm) com a maior dose de DLB (Figura 6).

Outros estudos também relataram maior estabilidade de agregados estáveis em água com a adição de dejetos orgânicos (HAYNES; NAIDU, 1998; LI et al., 2020). Li et al. (2020) em um estudo recente com solo franco-siltoso sob plantio direto, observaram que a aplicação de esterco bovino aumentou a porcentagem de macroagregados em função da redução dos microagregados (< 0,25 mm). Eles enfatizaram que o manejo de dejetos orgânicos em plantio direto é uma importante estratégia para maior sequestro de COT (ocluído nos microagregados) em comparação com solos adubados apenas com fertilizantes minerais.

FIGURA 6 - ESTABILIDADE DE AGREGADOS NAS CAMADAS 0-5, 5-10, 10-20 E 20-30 CM EM LATOSSOLO DE TEXTURA FRANCO-ARGILOARENOSA, SOB PLANTIO DIRETO COM APLICAÇÃO POR 14 ANOS DE DOSES (0, 60, 120 E 180 M³ HA⁻¹ ANO⁻¹) DE DEJETO LÍQUIDO BOVINO (DLB), PONTA GROSSA – PR. (A) DIÂMETRO MÉDIO PONDERADO SECO (DMPS); (B) DIÂMETRO MÉDIO PONDERADO ÚMIDO (DMPU); (C) ÍNDICE DE ESTABILIDADE DE AGREGADOS (IEA).



FONTE: O autor (2021).

NOTAS: Barras na horizontal representam a diferença mínima significativa (DMS) de acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$); ns: não significativo.

4. CONCLUSÕES

A aplicação superficial de dejetos líquidos bovinos (DLB) a 120 e 180 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ durante 14 anos em um Latossolo franco-argiloarenoso manejado sob plantio direto foi uma prática eficaz para promover o acúmulo de carbono e nitrogênio nos 20 cm superiores do solo, com doses de 0,6 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹ e 65 kg N ha⁻¹ ano⁻¹ em relação ao solo não adubado. A MOP e a MOM_{site} foram as principais frações da matéria orgânica do solo (MOS) afetadas pela aplicação de DLB. O aumento de MOS com aplicação de DLB contribuiu para a melhoria de agregados estáveis em água.

5. REFERÊNCIAS

- ABBOUD, F. Y.; FAVARETTO, N.; MOTTA, A. C. V.; BARTH, G.; GOULARTE, G. D. Phosphorus mobility and degree of saturation in oxisol under no-tillage after long-term dairy liquid manure application. **Soil and Tillage Research**, v. 177, n. 1, p. 45–53, 2018.
- ADISA, S. J.; NORTCLIFF, S. Carbon fractions associated with silt-size particles in surface and subsurface soil Horizons. **Soil Science Society of America Journal**, v. 75, n. 1, p. 79–91, 2011.
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesq. agropec. bras.**, v. 39, n. 7, p. 677–683, 2004.
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; CERETTA, C. A. Effect of no-till cropping systems on soil organic matter in a sandy clay loam Acrisol from Southern Brazil monitored by electron spin resonance and nuclear magnetic resonance. **Soil and Tillage Research**, v. 53, n. 2, p. 95–104, 2000.
- BEARE, M. H.; CABRERA, M. L.; HENDRIX, P. F.; COLEMAN, D. C. Aggregate-protected and unprotected organic matter pools in conventional- and no-tillage soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, n. 3, p. 787–795, 1994.
- BLAIR, G. J.; LEFROY, R. D.; LISLE, L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 46, n. 7, p. 1459–1466, 1995.
- BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Particle Density. In: A. Klute (Ed.); **Methods of soil analysis, Part 1. Physical and Mineralogical Methods**. Madison: 2 ed., v. 9, p.425–442, 1986. Madison, WI: American Society of Agronomy.
- BOLINDER, M. A.; JANZEN, H. H.; GREGORICH, E. G.; ANGERS, D. A.; VANDENBYGAART, A. J. An approach for estimating net primary productivity and annual carbon inputs to soil for common agricultural crops in Canada. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 118, n. 1–4, p. 29–42, 2007.
- BRIEN, P. L. O.; HATFIELD, J. L. Dairy manure and synthetic fertilizer: a meta-analysis of crop production and environmental quality. **Agrosyst. Geosci. Environ.**, v. 2, n. 1, p. 1–12, 2019.
- CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E. T. Methods for physical separation and characterization of soil organic matter fractions. **Geoderma**, v. 56, p. 449–457, 1993.
- CAVALCANTE, J. S.; FAVARETTO, N.; DIECKOW, J.; CHEROBIM, V. F.; BARTH,

G. Long-term surface application of dairy liquid manure to soil under no-till improves carbon and nitrogen stocks. **European Journal of Soil Science**, v. 71, n. 6, p. 1132–1143, 2019.

CHIVENGE, P.; VANLAUWE, B.; GENTILE, R.; SIX, J. Comparison of organic versus mineral resource effects on short-term aggregate carbon and nitrogen dynamics in a sandy soil versus a fine textured soil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 140, n. 3–4, p. 361–371, 2011.

CHRISTENSEN, B. T. Matching measurable soil organic matter fractions with conceptual pools in simulation models of carbon turnover: revision of model structure. In: P. S. and J. U. S. David S. Powlson (Org.); **Evaluation of soil organic matter models**. Springer-V ed., v. 38, p.143–159, 1996.

CHRISTENSEN, B. T. Physical fractionation of soil and structural and functional complexity in organic matter turnover. **European Journal of Soil Science**, v. 52, n. 3, p. 345–353, 2001.

COTRUFO, M. F.; WALLENSTEIN, M. D.; BOOT, C. M.; DENEFF, K.; PAUL, E. The microbial efficiency-matrix stabilization (MEMS) framework integrates plant litter decomposition with soil organic matter stabilization: do labile plant inputs form stable soil organic matter? **Global Change Biology**, v. 19, n. 4, p. 988–995, 2013.

COURTIER-MURIAS, D.; SIMPSON, A. J.; MARZADORI, C.; et al. Unraveling the long-term stabilization mechanisms of organic materials in soils by physical fractionation and NMR spectroscopy. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 171, p. 9–18, 2013.

CURTIN, D.; BEARE, M. H.; QIU, W.; SHARP, J. Does particulate organic matter fraction meet the criteria for a model soil organic matter pool? **Pedosphere**, v. 29, n. 2, p. 195–203, 2019.

DIEKOW, J.; MIELNICZUK, J.; KNICKER, H.; et al. Carbon and nitrogen stocks in physical fractions of a subtropical Acrisol as influenced by long-term no-till cropping systems and N fertilisation. **Plant and Soil**, v. 268, n. 1, p. 319–328, 2005.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2018.

FERREIRA, D. F. SISVAR: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 37, n. 4, p. 529–535, 2019.

GHOSH, B. N.; MEENA, V. S.; ALAM, N. M.; et al. Impact of conservation practices on soil aggregation and the carbon management index after seven years of maize-wheat cropping system in the Indian Himalayas. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 216, p. 247–257, 2016.

HAYNES, R. J.; NAIDU, R. Influence of lime, fertilizer and manure applications on soil organic matter. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 51, n. 1, p. 123–137, 1998.

IAPAR. **Instituto Agronômico do Estado do Paraná. Cartas climáticas do estado do Paraná.** 2000.

JENSEN, J. L.; SCHJØNNING, P.; WATTS, C. W.; et al. Soil degradation and recovery – changes in organic matter fractions and structural stability. **Geoderma**, v. 364, p. 1–12, 2020.

KEMPER, W. D.; ROSENAU, R. C. Aggregate stability and size distribution. In: A. Klute (Org.); **Methods of soil analysis, Part 1. Physical and Mineralogical Methods.** v. 9, p.425–442, 1986. Madison, WI.: American Society of Agronomy.

LAVALLEE, J. M.; SOONG, J. L.; COTRUFO, M. F. Conceptualizing soil organic matter into particulate and mineral-associated forms to address global change in the 21st century. **Global Change Biology**, v. 26, n. 1, p. 261–273, 2020.

LI, T.; ZHANG, Y.; BEI, S.; et al. Contrasting impacts of manure and inorganic fertilizer applications for nine years on soil organic carbon and its labile fractions in bulk soil and soil aggregates. **Catena**, v. 194, n. 1, p. 1–12, 2020.

LITHOURGIDIS, A. S.; MATSI, T.; BARBAYIANNIS, N.; DORDAS, C. A. Effect of liquid cattle manure on corn yield, composition, and soil properties. **Agronomy Journal**, v. 99, n. 4, p. 1041–1047, 2007.

LIU, S.; WANG, J.; PU, S.; et al. Impact of manure on soil biochemical properties : a global synthesis. **Science of the Total Environment**, v. 745, p. 1–15, 2020.

LUO, G.; LI, L.; FRIMAN, V.; et al. Organic amendments increase crop yields by improving microbe-mediated soil functioning of agroecosystems : a meta-analysis. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 124, p. 105–115, 2018.

VON LÜTZOW, M.; KÖGEL-KNABNER, I.; EKSCHMITT, K.; et al. SOM fractionation methods: relevance to functional pools and to stabilization mechanisms. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 39, n. 9, p. 2183–2207, 2007.

MAILLARD, É.; ANGERS, D. A. Animal manure application and soil organic carbon stocks: A meta-analysis. **Global Change Biology**, v. 20, n. 2, p. 666–679, 2014.

MAILLARD, É.; ANGERS, D. A.; CHANTIGNY, M.; et al. Carbon accumulates in organo-mineral complexes after long-term liquid dairy manure application. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 202, p. 108–119, 2015.

MARTENS, D. A. Plant residue biochemistry regulates soil carbon cycling and carbon sequestration. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 32, p. 361–369, 2000.

MINASNY, B.; MALONE, B. P.; MCBRATNEY, A. B.; et al. Soil carbon 4 per mille. **Geoderma**, v. 292, p. 59–86, 2017.

NOVELLI, L. E.; CAVIGLIA, O. P.; PIÑEIRO, G. Increased cropping intensity improves crop residue inputs to the soil and aggregate-associated soil organic carbon stocks. **Soil and Tillage Research**, v. 165, p. 128–136, 2017.

PAUSTIAN, K.; COLE, C. V.; SAUERBECK, D.; SAMPSON, N. CO₂ mitigation by agriculture: an overview. **Climatic Change**, 1998.

PIERRI, L. DE; PAULETTI, V.; DA SILVA, D. A.; et al. Sazonalidade e potencial energético da biomassa residual agrícola na região dos Campos Gerais do Paraná. **Revista Ceres**, v. 63, n. 2, p. 129–137, 2016.

PIETOLA, L.; ALAKUKKU, L. Root growth dynamics and biomass input by Nordic annual field crops. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 108, n. 2, p. 135–144, 2005.

PLANTE, A. F.; STEWART, C. E.; CONANT, R. T.; PAUSTIAN, K.; SIX, J. Soil management effects on organic carbon in isolated fractions of a Gray Luvisol. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 86, n. 1, p. 141–151, 2006.

RODRIGUES, L. A. T.; GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; et al. Short- and long-term effects of animal manures and mineral fertilizer on carbon stocks in subtropical soil under no-tillage. **Geoderma**, v. 386, p. 1–11, 2021.

SAMSON, M. É.; CHANTIGNY, MARTIN H.; VANASSE, A.; et al. Management practices differently affect particulate and mineral-associated organic matter and their precursors in arable soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 148, p. 1–9, 2020b.

SAMSON, M. É.; CHANTIGNY, MARTIN H.; VANASSE, A.; MENASSERI-AUBRY, S.; ANGERS, D. A. Coarse mineral-associated organic matter is a pivotal fraction for SOM formation and is sensitive to the quality of organic inputs. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 149, n. June, p. 1–8, 2020a.

SISTI, C. P. J.; HENRIQUE, P.; KOHHANN, R.; et al. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 76, p. 39–58, 2004.

SIX, J.; BOSSUYT, H.; DEGRYZE, S.; DENEFF, K. A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. **Soil and Tillage Research**, v. 79, n. 1, p. 7–31, 2004.

SIX, J.; CONANT, R. T.; PAUL, E. A.; PAUSTIAN, K. Stabilization mechanisms of SOM implications for C-saturation of soils. **Plant and soil**, v. 241, n. 2, p. 155–176, 2002.

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Organic matter and water-stable aggregates in soils.

Journal of Soil Science, v. 33, n. 2, p. 141–163, 1982.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Agregação e estoque de carbono em argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 1, p. 213–223, 2011.

WEN, Y.; WEN, J.; WANG, Q.; et al. Organic carbon preservation promoted by aromatic compound-iron complexes through manure fertilization in red soil. **Journal of Soils and Sediments**, v. 21, p. 295–306, 2021.

WIESMEIER, M.; URBANSKI, L.; HOBLEY, E.; et al. Soil organic carbon storage as a key function of soils - a review of drivers and indicators at various scales. **Geoderma**, v. 333, p. 149–162, 2019.