

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS – CAV
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO – PPGCS

GUSTAVO FERREIRA DE OLIVEIRA

**FRAÇÕES DE CARBONO EM AGREGADOS DO SOLO EM RESPOSTA A TIPOS E
DOSES DE FERTILIZANTES ORGÂNICOS E MINERAL**

LAGES

2022

GUSTAVO FERREIRA DE OLIVEIRA

**FRAÇÕES DE CARBONO EM AGREGADOS DO SOLO EM RESPOSTA A TIPOS E
DOSES DE FERTILIZANTES ORGÂNICOS E MINERAL**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Ciência do Solo, área de concentração em Manejo do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Álvaro Luiz Mafra

Coorientador: Dr. Juliano Corulli Corrêa

LAGES

2022

**Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração automática da
Biblioteca Setorial do CAV/UEDESC,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

Oliveira, Gustavo Ferreira de

Frações de carbono em agregados do solo em resposta a tipos e doses de fertilizantes orgânico e mineral / Gustavo Ferreira de Oliveira. -- 2022.

120 p.

Orientador: Álvaro Luiz Mafra

Coorientador: Juliano Corruli Corrêa

Tese (doutorado) -- Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Lages, 2022.

1. Manejo conservacionista. 2. Adubação orgânica. 3. Macroagregados. 4. Carbono orgânico particulado. I. Luiz Mafra, Álvaro . II. Corruli Corrêa, Juliano. III. Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. IV. Título.

GUSTAVO FERREIRA DE OLIVEIRA

**FRAÇÕES DE CARBONO EM AGREGADOS DO SOLO EM RESPOSTA A TIPOS E
DOSES DE FERTILIZANTES ORGÂNICOS E MINERAL**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Ciência do Solo, área de concentração em Manejo do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Álvaro Luiz Mafra
Coorientador: Dr. Juliano Corulli Corrêa

BANCA EXAMINADORA

Orientador:



ÁLVARO LUIZ MAFRA em 29/04/2022 às 16:33:34

Emitido por: "SGP-e", emitido em 30/03/2018 - 12:43:41 e válido até 30/03/2118 - 12:43:41.

(Assinatura do sistema)

Profº Dr. Álvaro Luiz Mafra

Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC

Membros:



PAULO CEZAR CASSOL (CPF: 250.XXX.260-XX) em 29/04/2022 às 16:40:52

Emitido por: "SGP-e", emitido em 30/03/2018 - 12:39:49 e válido até 30/03/2118 - 12:39:49.

(Assinatura do sistema)

Profº Dr. Paulo Cezar Cassol

Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC



LUIZ PAULO RAUBER (CPF: 044.XXX.319-XX) em 29/04/2022 às 20:04:19

Emitido por: "SGP-e", emitido em 12/04/2021 - 10:29:06 e válido até 12/04/2121 - 10:29:06.

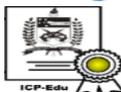
(Assinatura do sistema)

Profº Dr. Paulo Luiz Rauber

Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC

Profª Dra. Andréa Hentz de Mello

Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará – UNIFESSPA



Documento assinado digitalmente

Arcangelo Loss

Data: 21/05/2022 19:53:13-0300

CPF: 081.005.567-84

Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Profº Dr. Arcangelo Loss

Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Lages, 27 de abril de 2022.

A minha inspiração de vida, minha mãe Marli
Ferreira, à memória de Maria de Jesus minha
amada Vó e à memória de Raileno Pinto
saudoso e grande amigo.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela imensidão da vida, por cada caminhada e oportunidade vivenciada.

À minha inspiração, meu acalento e paz, essa conquista foi por você e graças a ti, minha mãe Marli Ferreira, obrigado por sempre acreditar, incentivar e aconselhar, foi duro ficar longe, mas valeu a pena cada esforço, hoje juntos concluímos essa importante etapa, que sempre foi um sonho, desde 24 de agosto de 2009 sempre tive a certeza que um dia conseguiríamos chegar aqui, te amo infinitamente.

À minha irmã Niuara Ferreira, você foi o grande pilar dessa vitória, ajudou do seu jeito e da forma que conseguiu, foram muitos os perrengues nessa caminhada, não teria alcançado essa etapa sem sua ajuda, zelo e amor, obrigado por sempre proteger e cuidar do seu irmão caçula e do nosso maior exemplo de vida, nossa mãezinha, te amo e não é pouco.

Ao meu pai Francisco Oliveira, o nosso contanto sempre foi muito breve, mas o nosso entendimento é como se tivéssemos um do lado do outro, agradeço muito seu incentivo, conversas e conselhos, obrigado por tudo, amo você.

Aos meus amigos de vida, Antônio Neto, Kassia Caroline, Sunara Melo, Suely Melo, Patrícia Almeida, René Silva, Thiago Di Nis, Géssica Raveline e Heloíza Nuno, com vocês vivenciei as melhores histórias e momentos e vamos vivenciar muitas pela frente, a distância jamais diminuiu a importância de vocês, gratidão pela compreensão do período distante.

Aos professores e mestres do ensino básico, fundamental e médio, em especial a Aidê, minha primeira professora, aos professores Midonira Silva, Janne Oliveira, Janete Morais, Claudete Medeiros, Fernanda Rodrigues e Fabricio Rodrigues, com vocês dei os primeiros passos no ambiente escolar e acadêmico, sou grato por cada incentivo e aprendizado.

À minha orientadora na graduação, Profa. Andréa Hentz de Mello, você me apresentou o caminho da iniciação científica, e se chego hoje a essa conquista, foi graças aos seus incentivos, ensinamentos, apoio, acima de tudo amizade, tens uma significativa contribuição no Pós-Graduando que me tornei, obrigado pelas palavras de sempre, que tudo se ajeita no momento certo e que tudo dá certo no final, muito obrigado.

À Profa. Rosana Quaresma Maneschy, exemplo de profissional, pessoa, pesquisadora, mãe, amiga, tive a oportunidade na graduação de trabalhar e ajudar em alguns experimentos, obrigado pela confiança, ensinamento e exemplo de inspiração, sou grato por tudo que fez e vem fazendo por nós.

Ao meu Orientador Álvaro Luiz Mafra, que me acolheu e me recebeu de braços abertos ao longo desses 6 anos de Pós-Graduação, lembro-me muito bem, era março de 2015, quando me recepcionou em sua casa e me ofereceu abrigo, nunca esquecerei desse gesto,

gratidão pela paciência na orientação, tudo era muito novo e recente e com o tempo fui aprendendo muito, obrigado a cada ensinamento, amizade, pelas oportunidades de aprender e viver novas experiências em grupo, és uma pessoa que tenho como exemplo, muito obrigado.

Ao meu Coorientador Juliano Corulli Correa, que não poupou esforços para realização desse trabalho, sua contribuição foi essencial para realização desse importante estudo, agradeço imensamente pelos ensinamentos, amizade, cordialidade, paciência, cuidado, nunca esquecerei quão prestativo foi e é, agradeço por tudo, muito obrigado.

Às minhas primeiras amigas de Lages, Ana Lovatel e Jaqueline Mayer, foram muitos momentos de convivência, alegrias, encontros e reencontros, só tenho a agradecer pela amizade, ajuda nos experimentos, reuniões, conselhos e por cada ano que vivemos juntos e pela conservação dessa linda amizade, obrigado por tudo que fizeram e ainda fazem por mim.

Aos grandes amigos, Diego Roters e Marco Segalla, aprendi muito com vocês nesses últimos anos, seja nos dias de campo, laboratório e na vida, obrigado pela amizade.

Ao grande parceiro de morada Daniel Alexandre, gratidão pela hospitalidade, amizade e cuidado e principalmente pelos ensinamentos, Deus te abençoe grandemente meu amigo.

A todos os amigos do Laboratório de Física e Manejo do Solo e ao Grupo de Pesquisa e Extensão Amigos da Terra e Manejo do solo, Diego Roters, Maria Izabel, Jadiel Andognini, Freedyman Cunha, Maria Tereza, Vitória Rech, Roberta Cruz, Ana Larissa, Larissa Melo, Gabriela Dal-Toe, Queli Lovatel, Gregory Kruker, Giuliana Monn, Brayan Favarin, Maytê Cechetto, Daiane Mafra, Maicon Fontanive e Vitor Campos, todos são minha família de Lages e do CAV/UDESC, valeu por cada momento de risos, trabalhos e estudos.

À Maytê Cechetto, minha bolsista de projeto e parceira nas atividades, obrigado por toda dedicação, sua contribuição foi essencial.

Aos colegas e amigos do curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo da UDESC de Lages, Marco Segalla, Carol Matias, Camila Wuaden, Walquiria Chaves, Ana Maccari, Ana Larissa, Schayanne Matos, Ana Lovatel, Ana Casara, Cleiton Lazzari, Andrei Souza, Gilmar Luiz, Camila Gabriel, Camila Elis, Daniel Alexandre, Elston Kraft, Rafaela Peron, Fernanda Cantoni, Pamela Pompeo, Gilvani Mallmann e Thuanne Henning, gratidão por tudo!

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação de Ciência do Solo, da Universidade do Estado de Santa Catarina – Udesc pela excelência e qualidade técnica de cada um, em especial, Álvaro Mafra, Osmar Filho, Jaime Almeida, Paulo Ernani, Jackson Adriano, Mari Campos, Ildegardis Bertol e Júlio Pires.

Em 2019, iniciou uma transformação importante na minha vida a vocês um agradecimento de vida, Carol Matias, Camila Wuaden, Marco Segalla, Walquiria Chaves,

Juliana Martins, Sueli Mafra, Álvaro Mafra, Ana Larissa, Diego Roters, Jadiel Andognini, Maria Izabel, Jackson Adriano, Osmar Klauber, Mari Campos, Melissa Pierdoná, Leticia Checi, Francine Bortoluzzi, Paulo Moraes, Leonardo Mortari, Willian Lunardi, Laila Drebes, Paulo Ernani, Clóvis Eliseu e as tias da limpeza, serei eternamente grato a todos, por tudo que fizeram.

À Camila Wuaden e sua linda família, que me acolheram no início da pandemia, esse ato de gentileza e carinho foi importante, estarão comigo sempre, muito obrigado, és uma grande amiga que conheci, você é a pessoa mais doce, sincera, forte e resiliente que conheci no Sul, gratidão!

À Estefânia Teixeira... “Um dia você vai conhecer alguém e esse alguém vai fazer você perceber que tem gente que te abraça e te reinicia e quando é leve te leva e você nem vê...” Á você que chegou com empatia e reciprocidade, sem julgamentos e preconceitos, que plantou e cultivou o sorriso que a muito tempo não abria a porta, gratidão e carinho. O seu olhar do dia 17 de novembro de 2020 foi o mais lindo, sincero, leve e cheio de brilho que já enxerguei, obrigado por simplesmente aparecer e transformar a minha quietude.

À Raabe Paiva, amiga de luz, a pessoa com a energia e alegria mais pura que já encontrei, você é inspiração em pessoa, tu transformas tudo e todos ao seu redor, grato por sua amizade e reaproximação, Deus é maravilhoso e você minha amiga, agradeço cada dia de conselhos, treinos, riso, inspiração, alegria e vida, muito obrigado.

À Aliciane Tavares, exemplo de mulher, mãe, esportista e inspiração, foi muito bom te conhecer, aprender a desfrutar mais do dia a dia, da vida, a uma grande mulher que chegou de forma rápida, mas que ficará sempre nos pensamentos e oração, obrigado pela inspiração de vida.

A meu amigo e irmão, Antônio Neto, gratidão meu parceiro, da infância até os dias atuais, por todos os momentos, risos, conselhos e confiança em tudo que já fizemos até hoje, você é a pessoa que me conhece como poucos, valeu irmandade gratidão por tudo que você faz, obrigado pela amizade.

Aos amigos do bairro Amapá que não mediram esforços para ajudar financeiramente, com orações e energia positiva, em especial, Gil Máximo e sua família sou eternamente grato a todos e todas.

Ao amigo e Professor Reginaldo Cerqueira, agradeço pela amizade, conselhos, conversas, pouso em Curitiba, ajuda nos momentos mais complicados da Pós-Graduação e pelo grande incentivo em continuar nessa caminhada, um obrigado especial a você que também é inspiração para seguir como pesquisador e professor!

À Embrapa Suínos e Aves pela excelente instituição de pesquisa, em especial agradeço Rosemari Mattei, Carlos Bernadi e João Marini pela contribuição nas análises do presente trabalho, muito obrigado.

Agradeço a banca examinadora por contribuir para melhorar o trabalho.

Ao CAV/UEDESC, universidade gratuita e que oferece ensino de qualidade, que proporciona excelência na pesquisa, ensino e extensão, e atende milhares de alunos com objetivo de formar grandes profissionais, sou muito feliz em fazer parte dessa importante instituição, muito obrigado!

À FAPESC pelo auxílio financeiro da bolsa de pesquisa, aos financiamentos do CNPq, processo 420930/2016-7, PAP/FAPESC e da CAPES/PROAP.

A todos que ajudaram direta e indiretamente para realização desse sonho, muito obrigado!!!!

A vida é uns deveres que nós trouxemos para fazer em casa. Quando se vê, já são 6 horas: há tempo... Quando se vê, já é 6ª feira... Quando se vê, passaram 60 anos! Agora, é tarde demais para ser reprovado... E se me dessem – um dia – uma outra oportunidade, eu nem olhava o relógio seguia sempre em frente.
(Esconderijos do Tempo, 1980. Mario Quintana)

RESUMO

A aplicação de fertilizantes orgânicos de origem animal pode adicionar carbono orgânico no solo e aumentar sua concentração nos macroagregados. O objetivo foi avaliar frações de carbono em duas classes de agregados no solo em resposta à aplicação de fertilizantes orgânicos e minerais. O experimento foi implantado em Concórdia, SC, em um Nitossolo Vermelho Eutroférico típico (0-5, 5-10 e 10-20 cm), em 2009, em sistema de integração lavoura pecuária, com milho e soja no verão, aveia preta e centeio no inverno, pastoreado por ovelhas (20 ovelhas por ha). O delineamento utilizado foi blocos casualizados, com tratamentos em fatorial $5 \times 3 + 1$, com quatro repetições, cinco fontes de fertilizantes, três doses e a testemunha, sem adubação. Os fertilizantes eram três orgânicos, (cama de aves, dejetos líquidos de suínos e composto a partir de destes), dois minerais (M1 e M2), combinados com três doses equivalentes a 75, 100 e 150% da recomendação para a cultura de interesse, com base no elemento com maior exigência da mesma. As avaliações dos teores de carbono orgânico total (COT) e suas frações particulada (COP) e associada aos minerais (COAM) ocorreram em duas classes de agregados do solo, de 8 a 4,76 mm (1) e de 4,76 a 2mm (2), e foram realizadas em coletas feitas na safra 2019/2020. A produtividade do milho foi avaliada a cada safra. Os resultados foram analisados por meio de análise de variância para comparação de fontes e análise de regressão polinomial para doses de fertilizantes. O uso de fertilizantes orgânicos e minerais aumentou a agregação em resposta as doses crescentes da recomendação de adubação. Os fertilizantes orgânicos aumentaram as frações de COT na camada de 0-5 cm nas classes 1 e 2. A classe 1 apresentou os maiores teores das proporções das frações de COT. O COAM foi a fração mais representativa do COT. O mecanismo de proteção física do C pode explicar o aumento do COT na classe 1. Os fertilizantes orgânicos aumentaram a produtividade e biomassa das culturas. O uso de fertilizantes orgânicos e minerais aumentou as frações de COT do solo.

Palavras-chave: Manejo conservacionista, adubação orgânica, macroagregados, carbono orgânico particulado

ABSTRACT

The application of organic fertilizers of animal origin can add organic carbon to the soil and increase its concentration in macroaggregates. The objective was to evaluate carbon fractions in two classes of soil aggregates in response to application of organic and mineral fertilizers. The experiment was established in Concórdia, SC, in a Rhodic Kandiudox (0.0-0.05, 0.05-0.10 and 0.10-0.20m), in 2009, in an integrated crop- livestock, with corn and soybean in the summer, black oat and rye in the winter, shepherded by sheep (20 sheep/ha). The design used was randomized blocks, with treatments in factorial $5 \times 3 + 1$, with four replications, five sources of fertilizers, three rates and the control with no fertilization. The fertilizers were three organic fertilizers, (poultry litter, pig manure and compost) and two minerals fertilizer (M1 and M2), combined with three application rates, corresponding to 75, 100 and 150% of the recommendation for the crop of interest, based on the element with greater demand. Total organic carbon (TOC) contents and its particulate (POC) and associated with minerals (MAM), fractions were evaluated in two classes of soil aggregates, from 8 to 4.76 mm (1) and from 4.76 to 2 mm (2), and were carried out in samples collected in the 2019/2020 crop season. Crop yields were determined in every season. The results were analysed by means of analysis of variance to compare sources and polynomial regression analysis for fertilizer rates. The use of organic and mineral fertilizers increased aggregation in response to increasing rates of fertilizer recommendation. Organic fertilizers increased TOC fractions in the 0-5 cm layer in classes 1 and 2. Class 1 showed the highest levels of TOC fraction proportions. The MAM was the most representative fraction of the TOC. The physical protection mechanism of C may explain the increase in TOC in class 1. Organic fertilizers increased crop productivity and biomass. The use of organic and mineral fertilizers increased the TOC fractions of the soil.

Keywords: Conservation management, organic fertilization, macroaggregates, particulate organic carbon.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Principais estudos ao longo do tempo dos avanços no entendimento da formação e estabilização do solo relacionados a matéria orgânica do solo.....	43
Figura 2 - Teoria da hierarquia de agregação e seus principais compostos orgânicos responsáveis pela estabilidade dos agregados.....	45
Figura 3 - Precipitação (mm), temperaturas máximas (°C) e mínima (°C), registradas durante a condução do experimento, nos anos de 2015-2019, Concórdia, SC.....	54
Figura 4 - Mapa da área experimental, IFC Concórdia, SC. 2018.	55
Figura 5 - Unidades experimentais, IFC Concórdia, SC. 2018.	56
Figura 6 - Amostragem de solo com auxílio de trado calador.....	58
Figura 7 - Proporção das frações de carbono orgânico total (g kg ⁻¹) nas classes 1 (8-4,76 mm) e 2 (4,76-2 mm) em resposta a aplicação de fertilizantes orgânicos e minerais em Nitossolo Vermelho distroférico típico. A/B=0-5 cm, C/D=5-10 cm e E/F=10-20 cm.	69
Figura 8 - Carbono orgânico particulado (g kg ⁻¹) de agregados da classe 1 (8-4,76 mm) e 2 (4,76-2 mm) de um Nitossolo Vermelho Distroférico típico em resposta à aplicação de doses crescentes de fertilizantes orgânicos e minerais. A/B=0-5 cm, C/D=5-10 cm, E/F=10-20 cm.	72
Figura 9 - Carbono orgânico associado aos minerais (g kg ⁻¹) de agregados da classe 1 (8-4,76 mm) e 2 (4,76-2 mm) de um Nitossolo Vermelho Distroférico típico em resposta à aplicação de doses crescentes de fertilizantes orgânicos e minerais. A/B=0-5 cm, C/D=5-10, E/F= 10-20 cm.	75
Figura 10 - Teor de carbono orgânico total (g kg ⁻¹) na TFSA de um Nitossolo Vermelho Distroférico típico, nas camadas de 0-5 (A), 5-10 (B) e 10-20 cm após sete anos de aplicação dos fertilizantes orgânicos e minerais.	78
Figura 11 - Frações do Carbono orgânico total (COT) (g kg ⁻¹) de um Nitossolo Vermelho Distroférico típico em resposta à aplicação de doses crescentes de fertilizantes orgânicos e minerais. A/B=0-5 cm, C/D=5-10 cm, E/F=10 cm.	81
Figura 12 - Produtividade do milho (kg ha ⁻¹) em resposta à aplicação de doses crescentes de fertilizantes orgânicos e minerais em Nitossolo Vermelho Distroférico típico.....	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Caracterização química e física do solo da área experimental nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm, Concórdia, SC. 2011.....	53
Tabela 2 - Aporte de N, P e C pelos fertilizantes orgânicos durante o período de condução do experimento (2018 a 2020) no sistema integração lavoura pecuária, IFC Concórdia, SC.	57
Tabela 3 - Diâmetro médio geométrico DMG (mm) de agregados de um Nitossolo Vermelho Distroférico típico, nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm após 7 anos de aplicação de tipos e doses de fertilizantes orgânicos e minerais.....	61
Tabela 4 - Agregados de 8 a 4,76 mm (%) de um Nitossolo Vermelho Distroférico típico, nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm após 7 anos de aplicação de tipos e doses de fertilizantes orgânicos e minerais.....	64
Tabela 5 - Agregados de 4,76 a 2 mm (%) de um Nitossolo Vermelho Distroférico típico, nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm após 7 anos de aplicação de tipos e doses de fertilizantes orgânicos e minerais.....	66

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

C	Carbono
Classe 1	Classe de agregados de tamanho de 8 a 4 mm
Classe 2	Classe de agregados de tamanho de 4 a 2 mm
CO	Carbono Orgânico
COAM	Carbono Orgânico Associados aos Minerais
COP	Carbono Orgânico Particulado
COS	Carbono Orgânico do Solo
COT	Carbono Orgânico Total
DLS	Dejeto Líquido Suíno
DMG	Diâmetro Médio Geométrico
DMP	Diâmetro Médio Ponderado
ILP	Integração Lavoura Pecuária
M1	Mineral 1, espelho do dejeto líquido suínos
M2	Mineral 2, espelho da cama aves
MO	Matéria Orgânica
MOS	Matéria Orgânica do Solo

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	REVISÃO DE LITERATURA	22
2.1	INTEGRAÇÃO LAVOURA PECUÁRIA	22
2.2	EFEITO DOS FERTILIZANTES ORGÂNICOS E MINERAIS NO SOLO	24
2.3	AGREGAÇÃO DO SOLO E FRAÇÕES DE CARBONO	26
2.3.1	Carbono orgânico nos agregados do solo	32
2.3.2	Efeito negativo da adubação orgânica na desagregação do solo	36
2.4	CARBONO ORGÂNICO DO SOLO	38
2.5	MECANISMO DE PROTEÇÃO FÍSICA DO CARBONO NO SOLO PELOS AGREGADOS	41
2.6	FRACIONAMENTO FÍSICO DO CARBONO ORGÂNICO DO SOLO	48
3	HIPÓTESES	51
4	OBJETIVOS	52
4.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	52
5	MATERIAL E MÉTODOS	53
5.1	ÁREA DE ESTUDO	53
5.2	DELENEAMENTO EXPERIMENTAL	54
5.3	COLETAS E AVALIAÇÕES DE C NO SOLO E EM AGREGADOS	58
5.3.1	Coleta e determinação de estabilidade de agregados do solo	58
5.3.1.1	<i>Fracionamento físico do carbono</i>	59
5.4	AVALIAÇÃO DA PRODUTIVIDADE DO MILHO	60
5.5	ANÁLISE ESTATÍSTICA	60
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	61
6.1	AGREGAÇÃO DO SOLO	61
6.2	CARBONO ORGÂNICO NAS CLASSES DE AGREGADOS	69
6.3	CARBONO ORGÂNICO DO SOLO	77
6.4	PRODUTIVIDADE DO MILHO	85
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	88
8	CONCLUSÃO	89
	REFERÊNCIAS	90
	ANEXOS	109

1 INTRODUÇÃO

A importação de fertilizantes minerais aumentou no decorrer dos anos no Brasil, e recentemente, de janeiro a setembro de 2021 o país comprou mais de 29,1 milhões de toneladas, o que representa aumento de 20% em comparação ao mesmo período de 2020. Destaca-se o custo significativo para balança comercial, além da dependência do agronegócio, atividade responsável por 27% do PIB (ANDA, 2021).

Opções que minimizem o elevado custo das importações de fertilizantes são importantes, uma vez que o crescimento econômico brasileiro depende em maior parte das atividades agropecuárias. A utilização de fertilizantes orgânicos de origem animal aplicados na agricultura é uma escolha que pode diminuir essas despesas, pois melhoram as propriedades físicas, biológicas e químicas do solo, além de viabilizar a ciclagem de nutrientes, aumentar as frações de carbono orgânico do solo e melhorar a produção agrícola (MAGALHÃES et al., 2018; MUSTAFA et al., 2021a).

Sistemas de produção conservacionistas como integração lavoura pecuária (ILP) e o uso de fertilizantes orgânicos podem incrementar ganhos econômicos e ambientais, uma vez que é potencializada a diversidade do sistema integrado (ANGHINONI et al., 2011; RIGO et al., 2019; SILVA et al., 2022). A ILP pode favorecer o acúmulo de carbono (C) e melhorar atributos do solo, com maior eficiência no uso dos nutrientes e aumento no estoque de C (COSTA et al., 2015; SOARES et al., 2020).

A matéria orgânica do solo (MOS), que tem 58% de C e demais macro e micro nutrientes está no centro da fertilidade e produtividade do solo, e elas podem ser melhoradas através de um melhor manejo do MOS por meio de diferentes sistemas de uso e cobertura do solo. Para alcançar esse objetivo, é necessária uma melhor compreensão das formas e quantidade de carbono orgânico total (COT), pois as diversas formas diferem em sua estabilidade em razão do manejo adotado e das características de solo e clima (ABDALLA et al., 2018; HE et al., 2018b).

A estabilidade do COT pode ser vista como sua resistência à degradação e em sentido mais amplo é a consequência de três mecanismos importantes: recalcitrância bioquímica (resistência a decomposição microbiana), associação com minerais e óxidos metálicos (proteção do COT por minerais e óxidos Fe e Al) e proteção física do COT pela agregação do solo (inacessibilidade espacial) (VON LÜTZOW et al., 2008; SCHMIDT et al., 2011; RABOT et al., 2018).

Todos os três mecanismos dividem o C em diferentes compartimentos e frações que levam tempo para sua estabilidade. Deste modo, há uma grande variedade de métodos de

fracionamento do C, que são procedimentos para avaliar os efeitos dos mecanismos de estabilização e sequestro de C (POEPLAU et al., 2018; RUEHLMANN, 2020).

Esses procedimentos separam as frações do COT ligadas física, química e biologicamente, as quais podem revelar insights mais profundos sobre os mecanismos de estabilização do C. Acredita-se que a proteção física do C por agregados esteja intimamente associada a taxas mais altas de sequestro de COT. A avaliação da proteção do COT por agregados baseia-se na técnica de fracionamento físico (SIX et al., 2002a; MUSTAFA et al., 2020).

Pelo método do fracionamento granulométrico, o COT é fracionado em carbono orgânico particulado (COP) e carbono associado aos minerais (COAM). As frações do COT são obtidas e caracterizadas por diferentes composições químicas, onde frações maiores (frações de matéria orgânica do tamanho da areia) possuem maior teor de carboidratos, enquanto frações menores, como partículas do tamanho de silte e argila, contêm materiais alifáticos e/ou aromáticos, o que pode apresentar uma maior fração em relação a outra. Isso corre em função do manejo, e atributos físicos do solo (SCHÖNING; MORGENROTH; KÖGEL-KNABNER, 2005; WAGAI; MAYER; KITAYAMA, 2009).

O fracionamento físico do COT pode ser utilizado para avaliar a qualidade do solo, pois mostra influência da produtividade das culturas, da variação na fertilidade do solo e na emissão de gases de efeito estufa. O COT do solo possui inúmeros compartimentos que são importantes para melhor explicar como eles afetam a disponibilidade de nutrientes as plantas e energia aos microrganismos (CAMBARDELLA; ELLIOTT, 1992; SIX et al., 1999).

Neste sentido, o COP representa a fração lábil do COT, a qual é caracterizada como mais facilmente decomponível, e representa uma reserva de nutrientes para o solo. Além disso é sensível ao manejo agrícola e se perde facilmente pelo manejo intensivo do solo. Seu teor no solo tem relação direta com os compostos recém aplicados no solo e pela atividade radicular das culturas (OLK; GREGORICH, 2006; PIKUL et al., 2007). A fração COAM é formada por compostos mais recalcitrantes, com menor degradação e biodisponibilidade quando se compara com o COP, permanecendo mais tempo no solo, tem maior tamanho, com maior área superficial específica (ASE) e conseqüentemente mais reativa (MIKUTTA et al., 2019; SOKOL; SANDERMAN; BRADFORD, 2019).

O COAM é importante para o sistema solo-planta-atmosfera uma vez que representa o C estabilizado que permanece por um longo prazo no solo. Do ponto de vista das mudanças climáticas isso vai diminuir a emissão de CO₂ para atmosfera e por ser um carbono mais estabilizado apresenta benefícios para os atributos físicos, químicos e biológicos do solo e

para ciclagem de nutrientes. Deste modo, pode melhorar estrutura, agregação do solo e armazenamento de carbono e outros nutrientes essenciais para o desenvolvimento das culturas (MIDWOOD et al., 2021).

A fração de carbono estabilizado também ocorre pela ligação com as partículas minerais do solo, em especial com os minerais da fração argila, com formação de complexos organominerais. Destacam-se os óxidos de ferro e alumínio como responsáveis por ligações com o carbono orgânico no solo, criando complexos organominerais de alta energia, formando agregados mais estáveis no solo (BRAIDA et al., 2011).

Essas frações proporcionam uma melhor compreensão da estabilização e rotatividade do COT. Neste sentido, por meio do conhecimento das frações de C e mecanismos de proteção e a sua relação com agregação do solo pode-se adequar as doses de adubo a aplicar nos solos, visando maximizar o efeito fertilizante às culturas e diminuir o potencial poluente dos resíduos orgânicos (MAFRA et al., 2015; MIDWOOD et al., 2021).

Portanto, entender a relação das frações de carbono orgânico do solo em resposta a aplicação de fertilizantes orgânicos e minerais e seu papel junto a estabilização dos agregados do solo, permite uma melhor compreensão sobre a proteção e a estabilidade do C. A fertilização por fontes orgânicas e minerais é uma prática agrícola amplamente aceita para manter a fertilidade do solo e sustentar a produção agrícola.

A fertilização orgânica por um longo período no solo pode apresentar aumento nas diferentes frações do COT, enquanto que a fertilização mineral pode mostrar resultados opostos (SHAH et al., 2021; WAQAS et al., 2020). Estes resultados podem ser atribuídos aos diferentes tipos e quantidades de fertilizantes que, por sua vez, afetam a composição química do COT. Além disso, a aplicação de fertilizantes orgânicos de resíduos de animais pode resultar em aumento da concentração das frações de COT (SARMA et al., 2017; QASWAR et al., 2020).

A aplicação de fertilizantes orgânicos e mineral podem aumentar as frações de COT devido a altas doses que são aplicadas no solo, apresentando elevada entrada de C no solo, a adição direta de C ocorre no solo, e os fertilizantes melhoram as características físicas, resultando em maior biomassa das culturas, que por sua vez melhora a posterior adição de C através de restos vegetais no solo, porém também pode desfavorecer a parte física do solo (HE et al., 2018b; MUSTAFA et al., 2021a).

A avaliação das frações do COT que compõem os agregados do solo, é de grande relevância em se tratando do equilíbrio ecológico, principalmente quando se comparam áreas agrícolas com aplicação de dejetos de animais em relação a áreas sem aplicação. Isso

permitirá identificar a melhor estratégia de manejo do solo para reduzir o impacto da agricultura sobre o ambiente e, também, favorecer a agregação do solo (LOSS et al., 2014; VENTURA et al., 2018).

A proteção dentro dos agregados corresponde ao compartimento intermediário, e a interação com íons minerais e metálicos funciona como um importante mecanismo para manutenção do C, pois protegem fisicamente contra a decomposição e transformações microbianas, o que melhora o armazenamento de COT (SIX et al., 2004; VON LÜTZOW et al., 2008). Deste modo, a agregação do solo é de grande importância para que o mesmo funcione bem, uma vez que influencia no sequestro de C, atividade microbiana do solo, fluxo de ar, água e na infiltração, essas características afetam a dinâmica da MOS e sobre a ciclagem de nutrientes (VEZZANI; MIELNICZUK, 2011).

A agregação do solo pode sofrer modificações nas suas classes de agregados em virtude dos diferentes tipos de manejos e textura do solo. Deste modo, o manejo deve priorizar o aumento das entradas de C no solo, o que pode ocorrer pela aplicação de fertilizantes orgânicos por longo tempo, o qual pode influenciar nas vias de formação dos agregados do solo, assim como pode aumentar os teores de carbono nesses agregados (VENTURA et al., 2018).

A aplicação de fertilizantes orgânicos e minerais está associada aos riscos de degradação da estrutura do solo, o que pode afetar densidade, porosidade, aeração, capacidade de retenção e de infiltração de água, e a capacidade produtiva do solo. Além disso, a quantidade de C presente em diferentes tamanhos de agregados é decorrente das práticas de manejos. Sendo assim aumentar a quantidade de C nesses agregados é uma estratégia que pode aumentar e melhorar o sequestro de C (GUO et al., 2018; WANKHEDE et al., 2020).

No decorrer dos últimos anos, a aplicação dos fertilizantes orgânicos e minerais utilizados na produção agrícola aumentaram, e com eles os riscos de degradação estrutural do solo, associados à baixa eficiência de uso de recursos e pelas características físico-químico dos resíduos. Portanto, a adoção das melhores práticas de fertilização para melhorar a qualidade do solo, melhorar a sequestro do solo C e o desempenho agrônômico é recomendada (BRONICK; LAL, 2005).

Estudos têm demonstrado que os aumentos nos teores de C estão diretamente ligados à aplicação de quantidades adequadas de fertilizantes orgânicos na forma de dejetos de animais e resíduos culturais no solo, enquanto a perda de C em um determinado solo também tem relação com frações de C e agregação do solo (DRURY et al., 2004; PULLEMAN; MARINISSEN, 2004; LI et al., 2016).

Pesquisas mostram que a aplicação de fertilizantes orgânicos e minerais afeta a estabilidade, distribuição dos agregados bem como regula a quantidade de carbono dentro dos agregados do solo. Isso ocorre pela natureza diferencial de diferentes tamanhos de agregados, textura e quantidades de materiais orgânicos em decomposição, pois agregados de diferentes tamanhos respondem de forma diferente as aplicações dos fertilizantes (FERNÁNDEZ et al., 2010; LUGATO et al., 2010; RABBI et al., 2014).

Segundo Yu et al. (2012) tem-se aumento do conteúdo do C em todos os tamanhos de agregados em resposta aplicação de fertilizantes orgânicos, mas diminuiu o C nos agregados maiores no tratamento com aplicação de fertilizantes minerais. Sodhi; Beri; Benbi, (2009) observaram que os fertilizantes orgânicos e minerais aumentou o C em macroagregados em comparação aos microagregados. Além disso, a mineralização do C em macroagregados é geralmente maior do que em microagregados (RABBI et al., 2014). Esses resultados sugerem que o sequestro de C varia dentro dos diferentes tamanhos de agregados, fato que ocorre em função dos tipos de solo, textura, fertilizantes aplicados e manejo agrícola (KOGA, 2017).

Deste modo, o carbono se acumula preferencialmente em agregados maiores, especialmente a fração mais lábil (particulada). No entanto, essa relação pode variar em função dos mecanismos de proteção física dos agregados, aplicação de fertilizantes orgânicos e minerais, textura do solo e diferentes manejos, o que pode aumentar a disponibilidade do carbono estabilizado e apresentar um melhor entendimento dos ganhos de COT (Six et al., 1999; MIDWOOD et al., 2021; MUSTAFA et al., 2021; ZHANG et al., 2021).

Então o sequestro de carbono pode diferir em diferentes solos, isso vai depender das suas diferentes frações e compartimentos e estabilidade dos agregados. Uma melhor compreensão de como esses agregados respondem e protegem o C do acesso microbiano sob práticas de fertilização a longo prazo é, portanto, importante e ajudaria manejos sustentáveis a produção agrícola, aumentando assim o sequestro de C (XIE et al., 2017).

Portanto, a utilização dos fertilizantes orgânicos assume relevante importância nos dias atuais, devido a sua potencialidade de reduzir custos de produção e minimizar impactos ambientais na agricultura. No entanto, a maioria dos trabalhos que envolvem adubação no sistema ILP, são voltados para aplicação de fertilizantes minerais. Dessa forma, estudos para recomendação de adubação envolvendo resíduos orgânicos nesse sistema devem ser conduzidos, sendo importante que sejam determinadas as principais formas de C nos agregados do solo, que podem apresentar maior contribuição para produtividade e qualidade ambiental.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 INTEGRAÇÃO LAVOURA PECUÁRIA

O sistema produtivo de integração lavoura pecuária (ILP) é uma alternativa de produtividade sustentável e opção conservacionista ao atual modelo de agricultura, o qual se caracteriza por pouca diversidade vegetal e pelo alto uso de insumos solúveis. Deste modo, o uso inadequado do solo compromete sua fertilidade e a produtividade das culturas. Isto ocorre pela falta de reposição de nutrientes e perda nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (MOOJEN et al., 2022).

A ILP apresenta diversificação de culturas e tem como fator importante a utilização de animais no sistema, sendo um sistema produtivo que pode agregar renda aos produtores rurais, bem como equilíbrio e sustentabilidade ambiental para o solo, animais e plantas, especialmente porque um de seus pressupostos advém dos efeitos sinérgicos resultantes de seu estabelecimento, o que pode contribuir para produção de alimentos, com utilização mais eficiente dos recursos naturais, em especial com melhora da ciclagem de nutrientes e fertilidade do solo (CARVALHO et al., 2014).

Sekaran et al. (2021), em revisão sobre o assunto, observaram benefícios que o ILP pode proporcionar ao meio ambiente assim como ao homem. As contribuições do ILP vão da segurança alimentar, a benefícios sociais, econômicos e ambientais, sendo um sistema que serve como estratégia para ser aplicado em países em desenvolvimento como alternativa para aumentar a renda. Portanto, esse sistema pode ser a chave para alcançar a segurança alimentar e nutricional e a sustentabilidade ambiental, tanto a curto como a longo prazo.

De acordo com Silva et al. (2022), o ILP também beneficia a biota do solo bem como aumenta os níveis de carbono e nitrogênio no solo. Os autores verificaram que o sistema produtivo foi capaz de aumentar a produtividade da cultura da soja no cerrado brasileiro e também aumentou a produção de grãos nas culturas sucessórias à principal, além de melhorar a qualidade da pastagem animal, houve melhora na atividade de biomassa microbiana do solo.

A ILP A ILP ganhou adeptos em virtude do aumento de produtividade das áreas agrícolas, redução no uso de insumos no sistema e redução nos custos de produção (SULC; FRANZLUEBBERS, 2014). A implantação da ILP pode ser uma forma de recuperar pastagens degradadas e manter a sustentabilidade da agricultura, pois o sistema produtivo incrementa a produção de palha por meio do sistema de plantio direto (SPD) e melhora as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, além de possibilitar o uso eficiente dos implementos agrícolas, oferecendo renda e emprego ao produtor (MACEDO, 2009).

A implantação da ILP contribui para manter o SPD com palha produzida por espécies forrageiras, que melhora a estrutura e a fertilidade do solo em função do material orgânico aportado ao solo, assim como pelo sistema radicular abundante. Além disso, é possível redução do uso de agroquímicos em virtude da quebra no ciclo de pragas, doenças e plantas invasoras (VILELA et al., 2011).

Os benefícios econômicos que a ILP proporciona interessam aos produtores e além disso, o meio ambiente também é beneficiado, por diminuir a derrubada de florestas para exploração de novas áreas agricultáveis, reduzir a compactação e a erosão dos solos e permitir a rotação de culturas (MAZZOCHI; BARETTA, 2015).

Para região sul do Brasil as culturas mais utilizadas são soja, milho, arroz, feijão e sorgo no período do verão; centeio, aveia preta, trigo forrageiro, trevos e ervilhaca no inverno. Estas culturas são empregadas para aumentar a produção de biomassa na área no período onde não está sendo cultivada com grãos, com oferta de forrageiras de alta qualidade e valor nutritivo aos animais na estação fria, o que pode aumentar o ganho de peso animal e, conseqüentemente, obter maior lucro (DUARTE et al., 2018).

O desenvolvimento tecnológico para elevar a produção alimentar demanda respostas científica, com isso a ILP se destaca pois é uma alternativa viável, e pode auxiliar de maneira sustentável e rentável, com melhoria na estrutura do solo e na produtividade das culturas (RAO et al., 2003). A rotação ou sucessão de culturas permite melhor aproveitamento dos resíduos gerados, isso faz com que haja maior lucro para os produtos produzidos, portanto, tem papel importante dentro da ILP (CRESTANA, 2004; MACEDO, 2009).

O sistema conservacionista da ILP tem como um dos objetivos solucionar problemas encontrados na produção vegetal e animal, como o uso intensivo do solo, alta taxa de exportação de nutrientes, bem como degradação das pastagens e baixa produtividade das culturas. A integração pode melhorar a qualidade do solo, pelo aporte de resíduos vegetais ao solo, que fornece a ciclagem de nutrientes e matéria orgânica e colabora na proteção do solo (MARCHÃO et al., 2007).

A implantação da ILP possibilita também a utilização intensiva das áreas produtivas de forma sustentável e reduz a abertura de novas áreas (CARVALHO et al., 2010). A abertura de novas áreas destinadas a agricultura acarreta problemas como a compactação e erosão do solo com decorrer dos anos. Nas áreas utilizadas com produção animal, ocorre redução na produtividade, ligada com a degradação dos solos.

Neste cenário a ILP torna-se opção para diminuir os problemas agropecuários, e pode ocasionar retorno econômico mais rápido, maior cobertura dos solos, aumento dos nutrientes

disponíveis, maior retenção de água, aumento da produtividade e menor impacto ambiental (SILVA et al., 2006).

Alguns trabalhos mostram que o ILP contribui no condicionamento do solo, na qualidade da água, na conservação biológica, entre outros aspectos relacionados à conservação ambiental. Assim pode-se esperar que a ILP é um sistema que colabora positivamente com a biota do solo, quando empregada de maneira sustentável e correta. Por outro lado, manejos errôneos produzirão efeitos negativos no solo que influenciarão na produtividade (GALHARTE; CRESTANA, 2010).

Os benefícios da utilização deste sistema são inúmeros, como otimização dos índices zootécnicos dos animais e do plantio agrícola, por consequência de maior e melhor produção de massa forrageira, que resultará na formação de palhada, com maior proteção ao solo e retorno dos nutrientes deixados pela lavoura (LOPES et al., 2008).

2.2 EFEITO DOS FERTILIZANTES ORGÂNICOS E MINERAIS NO SOLO

Os fertilizantes são caracterizados como minerais ou orgânicos, possuem na sua composição elementos que são essenciais para o desenvolvimento das plantas, além de disponibilizar para o solo nutrientes que dão capacidade para que as culturas melhorem sua produtividade e que gere alimentos. Deste modo, os fertilizantes são insumos essenciais para o desenvolvimento e produtividade das culturas, e são classificados pela natureza orgânica ou mineral, ou pela forma natural ou sintética (MORAES, 2022).

O efeito dos fertilizantes orgânicos e minerais nos atributos do solo pode ser variável, pois depende do tipo de fertilizante utilizado, manejo adotado, bem como os atributos físicos, químicos e biológicos de cada solo, clima e doses de recomendação de adubação a serem aplicadas. Uma das propriedades do solo que mais são afetados pela aplicação dos fertilizantes orgânicos e minerais é a estrutura do solo, principalmente a agregação do solo, doses crescentes podem aumentar ou diminuir o tamanho dos agregados e teores de carbono do solo.

Mustafa et al. (2022) utilizaram doses crescentes de fertilizantes orgânicos e minerais para avaliar o efeito da aplicação dos fertilizantes por um longo período nas diferentes frações de carbono do solo. Os tratamentos com os fertilizantes orgânicos apresentaram alto teor C lábil representado pela fração COP, em comparação aos minerais, o aumento do conteúdo C foi alcançado com as maiores doses dos fertilizantes orgânicos pois depositaram no solo carbono fresco e biodisponível.

A elevação das doses dos fertilizantes orgânicos aumenta a entrada de C no solo, isso pode ocorrer pela alta quantidade de resíduo orgânico aplicado. Ashraf et al. (2020) observaram que o maior aumento nos conteúdos de C foi associado às maiores doses de fertilizante orgânicos de origem animal, em comparação com a aplicação equilibrada do fertilizante orgânico, no entanto, essa relação pode ser afetada em virtude da textura do solo bem como composição química dos fertilizantes.

Deste modo, altas doses de fertilizantes orgânicos e minerais podem melhorar os teores de C de duas formas, o resíduo orgânico contém altas quantidades de C e, portanto, adiciona diretamente C no solo, os fertilizantes minerais podem melhorar as características físicas do solo, em função do aumento da produtividade das culturas que apresentam maior biomassa, que pode também adicionar C através de restos vegetais no solo, o que pode beneficiar a estrutura do solo bem como aumentar a agregação e melhorar o armazenamento de COT (HE et al., 2018b; MUSTAFA et al., 2021a).

Os fertilizantes orgânicos podem manter ou aumentar a fertilidade do solo e o acúmulo das frações de C, mas também melhora a agregação do solo (GUO et al., 2019). Abdalla et al. (2020) encontraram melhor estrutura superficial do solo e estabilidade de agregados pela aplicação de doses crescentes de fertilizantes orgânicos em relação aos minerais, a aplicação no solo foi eficaz contra a erosão e desestruturação do solo.

O uso de fertilizantes orgânicos favorece a estrutura do solo e agregados mais estáveis, que podem proteger contra erosão e reduzir a degradação do solo. Segundo Mustafa et al. (2020) os fertilizantes orgânicos aumentaram o diâmetro médio ponderado (DMG) em comparação aos fertilizantes minerais e testemunha sem adubação. A aplicação contínua de materiais de origem orgânica estimula o desenvolvimento de agregados do solo, assim como seu tamanho com benefício na formação de macroagregados (YU et al., 2020).

A aplicação de fertilizantes orgânicos por longos períodos beneficia a formação de macroagregados do solo, com maior proteção do COT, o qual é ligado a minerais do solo o que favorece melhor estrutura. (GHOSH et al., 2018; HE et al., 2018a). Os agregados são formados em torno de resíduos frescos, materiais fontes de C para atividade microbiana, os organismos são agentes que contribuem para formação de grandes agregados.

Portanto, a aplicação de fertilizantes orgânicos podem promover o aumento do C, o que favorece a origem de macroagregados do solo (SIX; ELLIOTT; PAUSTIAN, 2000; ATERE et al., 2020). Deste modo, o uso de fertilizantes orgânicos pode aumentar a agregação do solo, e formação de macroagregados.

Os variados tipos de solos apresentam resposta diferentes a cada tipo de fertilização. Ribeiro et al. (2019) apontaram que os atributos de agregação foram influenciados pela adubação mineral em comparação a orgânica, o que favoreceu a formação de maiores agregados. Troleis et al. (2017) observaram que os fertilizantes orgânicos apresentaram menor estabilidade de agregados em pastagem de *Urochloa brizantha* em relação aos minerais.

O uso de diferentes fertilizantes orgânicos e minerais apresentam aumento nos teores de C do solo bem como na estrutura do solo e produtividade das culturas. A boa agregação melhora a estrutura do solo, deste modo, os fertilizantes orgânicos diminuem o processo de degradação dos agregados, protegendo C e N. Assim os atributos do solo e acumulação de carbono sofrem influência dos diferentes tipos de fertilizantes aplicados (ZOU et al., 2018).

2.3 AGREGAÇÃO DO SOLO E FRAÇÕES DE CARBONO

A formação dos agregados do solo pode ser descrita pela aproximação das partículas unitárias do solo e sua estabilização por meio de agentes cimentantes. A fração argila, óxidos, carbonatos, polissacarídeos, fungos micorrízicos arbusculares e a presença de MOS são importantes na agregação do solo (LEPSCH, 2011).

O desenvolvimento dos agregados é evidenciado pelo aspecto geométrico, o espaço poroso e os constituintes sólidos do solo, já a estabilidade estrutural, envolve a capacidade do solo em manter seus agregados estáveis e a resiliência estrutural do solo, é a capacidade em recuperar o seu arranjo espacial de poros após a remoção de uma tensão específica (SANTOS et al., 2013). A estabilidade dos agregados é caracterizada pela força resistente a uma ação mecânica passível de degradar a estrutura do solo, como também a capacidade do solo de resistir às forças compactantes (SILVA et al., 2006).

A formação do tamanho dos agregados e sua estabilidade são determinados de várias maneiras. De acordo com Kemper; Chepil (1965) e Kemper; Rosenau, (1986), o diâmetro médio ponderado (DMP), o diâmetro médio geométrico (DMG) e o índice de estabilidade dos agregados (IEA) são parâmetros que avaliam a agregação do solo.

O DMP pode refletir a resistência do solo à erosão. Segundo Ângulo et al. (1984), a agregação do solo, pode ser avaliada por meio da estabilidade dos agregados em água e resistência ao impacto da gota, o que proporciona melhor correlação com o fator erodibilidade, seguida da correlação com a média do DMP e agregados superiores a 1 mm. Maior DMP é relacionado com o aumento dos espaços porosos entre os agregados, o que melhora a infiltração e diminui a erosão.

Diversos métodos podem determinar a qualidade dos agregados do solo, que é representada pelos índices de DMP, DMG e IEA. Estes indicadores são utilizados para avaliar alterações físicas, químicas e biológicas do solo. Além disso, as classes de tamanho dos agregados são influenciadas pela MOS, cujo teor influencia a agregação e a perda de solo (CASTRO FILHO et al., 1998).

A agregação no solo é de grande importância para que o mesmo funcione bem, uma vez que influencia no sequestro de C, atividade microbiana do solo, fluxo de ar, água e na infiltração, essas características afetam a dinâmica da MOS e a ciclagem de nutrientes (VEZZANI; MIELNICZUK, 2011).

A agregação é um importante indicador da estrutura do solo, pois está ligada à porosidade do solo, que influencia o processo de infiltração de água no solo, resistência a erosão, crescimento de raízes, favorece o equilíbrio entre a fase gasosa e líquida do solo, melhora o armazenamento de água, além de ser um mecanismo de proteção importante contra a degradação do carbono do solo (VICENTE et al., 2012).

A agregação do solo depende do tipo de uso e manejo do solo, sendo principalmente afetada pela textura, mineralogia, quantidade e tipo de frações da matéria orgânica do solo e aplicação de fertilizantes orgânicos (ALMEIDA et al., 2014; BETIOLO TROLEIS et al., 2017). Logo, a agregação do solo é uma propriedade física importante para a manutenção da capacidade produtiva, pois influencia na acumulação de carbono do solo (BRONICK; LAL, 2005).

A estabilidade dos agregados do solo depende do aporte contínuo de carbono, o qual é regulado pelo sistema de cultivo adotado e pelos fertilizantes que são aplicados. A deposição de resíduos estimula a formação de macroagregados, e neste processo desempenham papel importante as micorrizas, raízes de plantas e a fauna do solo (SIX et al., 2000; SIX et al., 2002).

A adição de C em agregados do solo ocorre preferencialmente em macroagregados, uma vez que os processos de estabilização dos microagregados são parcialmente permanentes, esse processo ocorre pela acessibilidade de compostos orgânicos para microrganismos e enzimas extracelulares, que aumentam a proporção de pequenos poros pelo acúmulo de C em poros maiores, e a atividade das enzimas envolvidas na degradação da matéria orgânica também é menor em agregados >2mm, assim diminui a mineralização e favorece o acúmulo de C (TISDALL; OADES, 1982; TRIVEDI et al., 2017; ZHAO et al., 2018; LIN et al., 2019).

Deste modo a fração lábil do COT (COP) está associado à formação de agregados no solo e em especial à formação de macroagregados, que prontamente disponibiliza C de

qualidade e melhora ciclagem de nutrientes, estrutura e agregação do solo. O desenvolvimento de macroagregados ocorre no entorno da fração particulada do COT, que foi recentemente adicionada ao solo através de resíduos frescos (SIX et al., 2000). Por isso, a formação de macroagregados é favorecida por agentes cimentantes induzidos pela adição de carbono no solo por meio da aplicação de resíduos orgânicos (GOLCHIN et al., 1994; JASTROW; MILLER, 1998; SIX et al., 1998).

Esse processo também ocorre pela rizodeposição que é uma importante origem de C lábil, o resíduo orgânico que é aplicado no solo pela fertilização orgânica é fresco e fonte energética para os organismos responsáveis pela mineralização do C, e conseqüentemente, participam ativamente da formação de macroagregados do solo, pois a atividade microbiana aprimora a ligação de resíduos e partículas do solo em macroagregados (JASTROW, 1996; SIX; ELLIOTT; PAUSTIAN, 1999; ZHU et al., 2015).

Os mecanismos envolvidos na ligação das partículas do solo em agregados estáveis variam pelos fatores relacionados ao material de origem do solo, clima, plantas, e práticas de manejo. Solos onde a MO é o principal agente de ligação, a formação de agregados é hierárquica, onde as partículas primárias e os minerais de argila estão ligadas em microagregados que por sua vez formam os macroagregados (TISDALL; OADES, 1982).

A hierarquia de tamanhos variados dos agregados também cria uma hierarquia de tamanhos de poros, assim, uma variedade de mecanismos de ligação pode funcionar mais ou menos simultaneamente em diferentes escalas espaciais para estabilizar um único macroagregado, as raízes de plantas e hifas de fungos ligam microagregados em macroagregados, e servem para formar fisicamente macroagregados e que microagregados são então formados e estabilizados dentro desses macroagregados como resultado de vários processos, incluindo decomposição de materiais orgânicos (TISDALL; OADES, 1982; ZHU et al., 2015).

Os pequenos agregados apresentam papel importante na proteção da fração de carbono existente, neste caso, a formação de pequenos agregados apresenta maior teor de C recalcitrante, a fração COAM do COT, pois sua mineralização é lenta, assim a proteção contra os agentes que participam da degradação é menor, e tem relação direta com a textura do solo, solos argilosos tendem a apresentar maior teor de COAM. No entanto, essa relação tem vários aspectos e pode variar de um solo para outro, clima e manejo, textura e mineralogia dos solos (SIX; ELLIOTT; PAUSTIAN, 1999).

Os macroagregados apresentam concentrações elevadas de C por causa da ligação da matéria orgânica e microagregados em macroagregados e que esta matéria orgânica é

qualitativamente mais lábil e menos processada em comparação aos microagregados. Em solos que os cultivos já acontecem por um longo período de tempo, as raízes e hifas fúngicas são provavelmente os agentes ligantes iniciais dos macroagregados (ELLIOTT, 1986).

Com o tempo, o acúmulo da fração particulada do COT e a deposição de subprodutos microbianos entre os microagregados tornam-se mecanismos importantes para estabilizar ainda mais os macroagregados e resultam no acúmulo de matéria orgânica do solo nesses agregados. A acumulação de COS indica que a formação de macroagregados ocorre primeiro (ELLIOTT; COLEMAN, 1988).

O C nos macroagregados é mais jovem e mais lábil em comparação aos microagregados, o aumento da porcentagem de C derivado de resíduos vegetais e fertilizantes orgânicos de origem animal contribuem para adicionar compostos orgânicos jovens e mais lábeis em relação aos microagregados (JOHN et al., 2005). Os macroagregados estáveis apresentam pouco tempo no solo na escala de anos, deste modo apresenta C mais novo e lábil, diferentemente dos microagregados que podem existir por décadas e disponibiliza C mais recalcitrante e velho. No entanto, o conhecimento da rotatividade agregada do solo e a vida útil necessita de mais investigações (PUGET; CHENU; BALESIDENT, 2000).

A aplicação de fertilizantes orgânicos e minerais bem como as doses que são aplicadas no solo, são importantes fatores para formação dos agregados e disposição das frações de C nos agregados. Os fertilizantes orgânicos e minerais contribuem para melhor agregação do solo e com isso podem aumentar significativamente a agregação, assim os fertilizantes participam da formação de macroagregados e a formação de pequenos agregados diminui, deste modo, melhora a estrutura do solo e armazena e protege o C contra degradação (CHEN et al., 2019). Esse processo ocorre pelas características do solo, como textura, mineralogia e tipo de solo.

Portanto a aplicação de fertilizantes orgânicos aumenta o sequestro de carbono e melhora agregação do solo, pois, podem alterar a proporção de agregados de 2 a 8 mm, quando se compara com os fertilizantes minerais (WU et al., 2021). As frações de C podem aumentar ou diminuir com a aplicação dos fertilizantes orgânicos ou mineral dentro dos agregados, no entanto, os fertilizantes orgânicos apresentam alto teor de matéria seca em comparação aos minerais, deste modo, apresentam maior relação com o C e agregação do solo. No entanto, vale ressaltar que a composição química dos fertilizantes varia pela forma como o mesmo é manejado, e isso influencia no teor de MS e conseqüentemente nas concentrações de carbono.

A formação de macroagregados é dependente de substâncias com capacidade de ligar os microagregados entre si, a formação de agregados maiores tem como principal agente ligante a MOS, a qual tem seu maior aporte quando se aplica maiores níveis de fertilizantes orgânicos sobre o solo. No entanto, a formação de pequenos agregados possivelmente ocorre em virtude do teor de areia fina do solo, solos de granulometria mais grossa, a MOS é um dos principais agentes cimentantes das partículas do solo, já que a fração areia não apresenta cargas em sua superfície (LOPES et al., 2017). Porém, isso não significa que ocorra apenas em solo arenosos.

Então a areia fina do solo pode apresentar relação importante na formação de microagregados, pois esses agregados são formados principalmente pela presença de óxidos na fração argila, e o teor de C pode ser até maior que o presente nos macroagregados. A textura do solo influencia na distribuição de C nas maiores classes de diâmetros de agregados. Solos com textura muito argilosa, como Nitossolos, podem apresentar altos teores de C na classe de maior diâmetro, o maior teor de argila pode possibilitar maior armazenamento de C, pois, a associação com a caulinita e óxidos, fornecem maior proteção química e estrutural a matéria orgânica do solo (PASSOS et al., 2007).

Deste modo, a formação de macroagregados no solo está diretamente envolvida com níveis de aplicação de fertilizantes orgânicos e minerais sobre o solo, ou seja, o aumento do conteúdo de C nos agregados do solo pode ser influenciado pelas altas taxas de aplicação de fertilizantes sobre o solo (VICENTE et al., 2012), além disso tem o papel importante do sistema radicular das culturas. Portanto, o incremento de carbono em solos agrícolas pela adição de resíduos orgânicos no solo está relacionado com o mecanismo de estabilização da matéria orgânica do solo, em que a formação e manutenção de agregados é parte importante e aspecto chave no sequestro de carbono do solo (CHUNG et al., 2008).

Neste sentido, as frações COP e COAM têm relação com agregação do solo, uma vez que o carbono estabilizado (COAM) protegido no interior dos agregados apresenta um tempo de permanência no solo maior em comparação as frações lábeis (COP) de C que são mais facilmente influenciadas pelo manejo do solo e essa fração beneficia a fertilidade do solo, manutenção da produtividade das culturas e melhor estrutura do solo (BUYANOVSKY et al., 1994; FELLER; BEARE, 1997).

Deste modo, a permanência do COS é um fator importante para a agregação do solo (BRONICK; LAL, 2005). A quantificação do carbono orgânico em classes de agregados é muito importante, pois agregados de diferentes tamanhos podem apresentar velocidades de transformação nos compostos orgânicos e níveis de proteção física distintos (MADARI et al.,

2005). O fracionamento físico granulométrico (COP e COAM) e o fracionamento químico por graus de oxidação do COS (frações F1, F2, F3 e F4), são metodologias de fracionamento eficientes para avaliar mudanças no COS associadas às diferentes formas de uso e manejo do solo (SOUSA et al., 2015; BUENO et al., 2017).

As frações COP e F1 são as mais sensíveis a mudanças no uso do solo e as frações COAM e F4, são mais recalcitrantes devido a sua associação com partículas de argila, as quais são protegidas nos agregados do solo e possuem alto grau de humificação (SIX et al., 2000; CHAN et al., 2001; LOSS et al., 2014c).

A determinação das frações granulométricas (COP e COAM) da MOS é utilizada para avaliar alterações nas frações lábeis ou estáveis da mesma, isso acontece de acordo com o sistema de manejo do solo empregado e práticas de fertilização utilizadas. Alguns trabalhos mostram que aumentos nos teores de COP e COAM elevam os estoques de COT no solo apresentando melhor agregação pelo fato que melhora a estrutura do solo, infiltração de água, ciclagem de nutrientes, produtividade e biomassa das culturas e armazenamento do COS (BAYER et al., 2004; BRIEDIS et al., 2012; DOS REIS et al., 2014).

O incremento de resíduos vegetais ou por resíduos de animais, adiciona compostos orgânicos na superfície do solo, deste modo favorece a manutenção do estoque de carbono particulado, principalmente porque é um resíduo que pode ser altamente disponível para atividade microbiana e com isso disponibiliza a presença da fração COP, essa fração fica protegida, nos agregados maiores pela a adição de resíduos orgânicos, esses agregados que irão proteger o COP fisicamente (LOSS et al., 2011b).

O sistema radicular das culturas colaboram também para formação de macroagregados, pois fisicamente as raízes contribuem para agregação do solo, deste modo, influenciando nos teores das frações COP e COAM dentro dos variados tipos de agregados, por isso o manejo, culturas, tipo de solo bem como a fertilização influenciam no estoque e armazenamento de COS (JUNIOR et al., 2016).

Deste modo, agregação do solo está intimamente relacionada com o teor e frações de carbono bem como com o conteúdo de resíduos vegetais ou animais que são aplicados sobre o solo, o manejo que é praticado, ação dos microrganismos e atividade radicular das culturas. Além disso, o fracionamento físico da matéria orgânica do solo em COP e COAM pode contribuir muito para o entendimento da dinâmica do C com agregação do solo.

2.3.1 Carbono orgânico nos agregados do solo

O tipo de manejo e uso do solo, altera os atributos edáficos o que pode causar modificações na agregação do solo. Tivet et al. (2013) realizaram estudo sobre a dinâmica do C nos agregados, em diferentes manejos do solo, observaram que a mudança da vegetação nativa para sistema de preparo convencional, diminuiu a formação dos agregados e ocasionou a dispersão das partículas minerais (argila, silte e areia), e reduziu a formação de novos agregados.

O sistema de plantio direto com alto acúmulo de biomassa aérea e radicular favorece a formação de agregados em comparação ao preparo convencional do solo. Os sistemas de manejo do solo podem afetar o acúmulo de carbono particulado, o qual está relacionado à sua proteção física no interior de agregados, o que diminui o acesso pelos microrganismos e suas enzimas a esta forma de carbono. Assim quando o manejo modifica a estrutura e agregação do solo, pode beneficiar o acúmulo e o sequestro de carbono no solo. Por outro lado, o dano da estrutura do solo gera perda de matéria orgânica e carbono (LOSS et al., 2011b).

Uma das formas de estabilização do carbono orgânico no solo ocorre pela ligação com as partículas minerais do solo, como as argilas e óxidos, com a formação de complexos organominerais (BRAIDA et al., 2011; MAGALHÃES, 2018). O sistema de integração lavoura pecuária modifica os atributos edáficos, como a agregação do solo, isso pode ser resultado do aumento nas entradas de C no solo, associado ao manejo dos resíduos de origem animal, a adubação orgânica via dejetos de animais, que podem influenciar nas vias de formação dos agregados, assim como aumentar os teores de carbono nesses agregados (VENTURA et al., 2018).

Compreender a relação da MO oriunda dos fertilizantes orgânicos com os agregados do solo é relevante para o equilíbrio ecológico, principalmente quando se comparam áreas agrícolas com aplicação de dejetos de animais em relação a áreas sem aplicação. Isso permitirá identificar a melhor estratégia de manejo do solo para reduzir o impacto da agricultura sobre o ambiente e, também, favorecer a agregação do solo (LOSS et al., 2014; VENTURA et al., 2018).

A MOS tem papel importante para estabilidade e formação da agregação do solo, é um dos principais agentes da agregação das partículas do solo, a formação e estabilidade dos agregados são mecanismos responsáveis por preservar a MOS nos ambientes de cultivos (PASSOS et al., 2007). As mudanças de manejo do solo podem alterar estabilidade dos macroagregados e com isso influenciar o conteúdo de MOS. Além disso, a estabilidade dos

microagregados tem relação com a matéria orgânica é também depende de características intrínsecas do solo, como textura e mineralogia (ELLIOTT, 1986; PASSOS et al., 2007).

O acúmulo e o sequestro de carbono nos solos têm relação importante com a agregação, pois o processo de formação dos agregados pode manter e proteger o carbono do solo, com isso a degradação estrutural do solo gera perda da matéria orgânica e consequentemente de carbono (MADARI et al., 2005). Desta forma, o tipo de uso e manejo do solo afeta a estabilidade de agregados além de sofrer interferência da textura, mineralogia, quantidade e tipo de matéria orgânica do solo (ALMEIDA et al., 2014).

A agregação do solo influencia na aeração do solo, desenvolvimento radicular, suprimento de nutrientes, resistência mecânica do solo à penetração, retenção e armazenamento de água (HEID et al., 2009). Assim compreender as relações entre o estoque de C e a agregação do solo são fundamentais, pois essas características interferem no manejo dos diferentes agroecossistemas e podem reduzir impactos negativos ao ambiente (CHAVES; FARIAS, 2008).

A agregação do solo tem grande importância para as atividades agrícolas, em trabalho avaliando a estabilidade de agregados em diferentes manejos em Latossolo Vermelho Distrófico, Oliveira et al. (2004) encontraram que a estabilidade de agregados foi reduzida em área cultivada sob preparo convencional (PC), e no SPD houve recuperação de parte da estabilidade, o que pode estar relacionada ao maior teor de carbono orgânico solo.

Avaliando diferentes preparos do solo, SPD e PC em um Latossolo Vermelho, Mendes et al. (2003) observaram maior agregação no SPD, em comparação ao PC, sistema que apresentou a menor estabilidade de agregados. Em estudo avaliando as propriedades físicas de um Latossolo Vermelho nas áreas de mata nativa e plantio direto em diferentes idades, Silva et al. (2008) observaram que na primeira área houve maior teor de matéria orgânica (MO) e consequentemente melhor agregação do solo.

Sistemas de manejo que adicionam quantidades elevadas de resíduos vegetais sobre o solo, com baixo revolvimento, aumentam os teores de COS, e aumentam a estabilidade de agregados (COSTA et al., 2003). O rearranjo de partículas, flocculação e cimentação, mediados pelo carbono orgânico do solo, argila e carbonatos, são agentes de ligação e núcleo na formação dos agregados do solo (BRONICK; LAL, 2005).

As alterações na estrutura e agregação, aporte de material orgânico do solo, induzidas pelo uso do mesmo, são importantes na previsão dessas alterações, pois possuem finalidade de auxiliar na adoção de sistemas de manejo que mantenham ou recuperem os teores de carbono do solo, bem como o potencial agrícola e produtivo do solo (HEID et al., 2009).

As plantas de cobertura disponibilizam fitomassa na superfície do solo, o que diminui a erosão e eleva a infiltração de água no solo (PANACHUKI et al., 2011; DONEDA et al., 2012; GUEDES FILHO et al., 2013). O uso de plantas de cobertura em SPD melhora a agregação do solo no decorrer dos anos de cultivo, em relação ao PC, e as culturas implantadas intervêm na formação e estabilidade dos agregados (BRONICK; LAL, 2005; LIU et al., 2005; LOSS et al., 2011; CALEGARI et al., 2006; LOSS et al., 2014b).

Plantas de cobertura como da família das gramíneas apresentam sistema radicular fasciculado e são eficientes em manter a estabilidade de agregados do solo em comparação às leguminosas. Plantas consorciadas possuem diferentes sistemas radiculares, com isso favorecem a formação e manutenção dos agregados do solo, com destaque para a classe dos macroagregados (LOSS et al., 2011; COSTA et al., 2012).

Os macroagregados conseguem interferir na capacidade de reter energia e matéria, o que pode influenciar no armazenamento de C, o que funciona como indicador da qualidade física do solo (Vezzani; Mielniczuk, 2011), com redução na densidade e aumento na porosidade, aeração e capacidade de retenção e infiltração de água no solo (GUEDES FILHO et al., 2013).

A utilização de sistemas de cultivo que aumentem a matéria orgânica do solo, contribuem para o aumento da estabilidade de agregados e melhoria da qualidade física do solo, além de proteger o carbono do solo (VASCONCELOS et al., 2010). A estabilização de agregados é um indicador que pode dar suporte às práticas agrícolas.

A matéria orgânica do solo, as frações minerais, fauna do solo, raízes e variáveis ambientais são fatores que favorecem a formação dos agregados do solo (SALTON et al., 2008). Para Bastos et al. (2005) o uso de compostos orgânicos melhorou a estabilidade em água dos agregados em comparação a aplicação adubos minerais e tratamentos sem adubação. Demarchi et al. (2012) realizaram estudo sobre a estabilidade dos agregados do solo em cinco sistemas de uso e ocupação e encontraram melhores resultados para as áreas com pastagens e mata nativa.

Segundo Vasconcelos et al. (2010) sistemas de manejo apresentaram alterações na distribuição de agregados e na camada superficial a agregação dependeu do teor de matéria orgânica do solo e da ação de secagem e umedecimento do solo. As alterações que ocorrem na estrutura dos solos agrícolas são importantes para a escolha de sistemas que conservem as propriedades dos solos e aumentem a produção dessas áreas (ROZANE et al., 2010). Deste modo, o solo quando fica exposto a cultivos intensivos e ao uso periódico de implementos agrícolas, pode perder ou ter sua estrutura original transformada pela compactação, que reduz

o volume de poros, aumenta a densidade e gera alterações na estabilidade dos agregados do solo (MARIA et al., 2007).

Santos et al. (2022) avaliaram as mudanças causadas por sucessivas aplicações de dejetos líquido suíno e fertilizante mineral nos conteúdos de C e N na agregação de um Latossolo Vermelho Distroférico típico no sul do Brasil, e observaram que a aplicação de dejetos de suínos no solo aumentou a produção de matéria seca de Tifton-85 e agregação do solo pela elevação da massa de macroagregados. Além disso doses elevadas de dejetos de suíno diminuíram a estabilidade agregados, resultando em menor massa de macroagregados.

É importante entender o papel da estabilidade de agregados para aumentar a matéria orgânica do solo, bem como a infiltração da água e diminuição dos processos de degradação. Deste modo, aplicações de resíduos animais no solo podem aumentar o teor de C e N nos agregados do solo, melhorando a estabilidade de agregados.

Loss et al. (2021) avaliaram o conteúdo COT e N, e propriedades físicas de um solo fraco-arenoso submetido a 11 anos de aplicação de resíduo animal e fertilizante mineral, e observaram que as aplicações de resíduos de animais no solo aumentaram o teor de COT e N, e aumentou DMP e DMG na camada superficial, além disso reduziu a quantidade de mesoagregados e microagregados, e promoveu a dispersão de argilas nas camadas de 5 a 20 cm, resultando em menor agregação do solo em profundidade.

A aplicação de fertilizantes orgânicos de origem animal em solos sob sistema conservacionistas como o plantio direto é mais eficiente para melhorar os atributos químicos e físicos do solo, e reduzir as emissões de C e N, do que aplicações superficiais.

Segundo Francisco et al. (2021) o efeito do uso da injeção e aplicação superficial de dejetos suíno, em comparação com fertilizante mineral sobre a estabilidade agregados melhorou os atributos físicos do solo, apresentando DMG alto em comparação aos minerais e controle, a injeção foi eficiente no aumento da massa de macroagregados, conteúdos de COT e N e a abundância natural de ^{15}N denotou a decomposição da matéria orgânica do solo inferior no dejetos de suíno quando comparado com a aplicação em superfície, assim como para o ^{13}C que mostrou menores valores negativos em macroagregados do que em microagregados.

Em trabalho avaliando os efeitos dos fertilizantes minerais e da fertilização com resíduo de suíno nos índices de agregação do solo e nos atributos químicos e físicos dos agregados em um Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico manejado sob sistema de cultivo mínimo, Ferreira et al. (2021) encontraram que o uso de dejetos suíno, associado ou não com fertilização mineral aumentou o teor de C e N nos agregados do solo, porém não foi eficiente

na melhoria dos atributos físicos do solo, reduzindo os índices de agregação do solo, principalmente na camada de 5-10 cm, pela diminuição dos valores de DMP e DMG.

O uso de culturas de cobertura de solo de diferentes famílias em rotação ou sucessão de culturas sob o sistema de plantio direto resulta em maior qualidade do solo em comparação com sistemas de uso do solo com menor diversidade vegetal. A maior diversidade de plantas em resulta em maior DMG. O SPD com plantas das famílias Poaceae e Fabaceae em sistemas únicos ou integrados para produção de cebola resultou em maior teor de COT e N em comparação com o PC, além disso as avaliações de N mostram que C e N são protegidos em macroagregados contendo mais COT e N do que microagregados (GIUMBELLI et al., 2020).

2.3.2 Efeito negativo da adubação orgânica na desagregação do solo

O uso de fertilizantes orgânicos de animais como os de suínos e aves pode melhorar a estrutura do solo. Porém, os efeitos positivos e negativos dessa prática podem variar em função de suas características físico-químicas, forma de aplicação no solo, tipo de solo e manejo praticado, deste modo, a aplicação fertilizantes orgânicos pode aumentar a dispersão da argila e induzir a desagregação e a suscetibilidade do solo à erosão e contaminação da água superficial (BARBOSA et al., 2015).

A agregação é um importante indicador da qualidade física do solo, a qual é utilizada na avaliação da aplicação de fertilizantes orgânicos em áreas agrícolas (WATTEAU et al., 2012). Ao longo do tempo a fertilização do solo com resíduos animais e industriais como lodo de esgoto pode melhorar as propriedades físicas do solo (BANDYOPADHYAY et al., 2010). No entanto, essa relação ainda apresenta muitas variações positivas e negativas para as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo.

Segundo Benites; Mendonça (1998) a adição de mais de 15 Mg ha⁻¹ de matéria orgânica oriundo de resíduo de animais no solo mudou o potencial elétrico superficial e aumentou o teor de argila dispersível. Resultados opostos foram observados por Tavares Filho et al. (2010) onde encontraram que doses de até 48 Mg ha⁻¹ lodo de esgoto aumentou o $\Delta\text{pH}_{(\text{KCl})}$, e que isso mudou o potencial elétrico superficial, porém não aumentou a dispersão de argila em comparação com a não aplicação de lodo de esgoto, o que pode ser explicado pela composição do resíduo aplicado e pelas propriedades do solo estudado.

O uso de fertilizantes orgânicos de origem animal (suíno e aves) no solo pode promover mudanças rápidas no potencial elétrico superficial, o que aumenta a dispersão de argila e reduz a agregação do solo pelo efeito da grande quantidade de grupos carboxílicos por átomo de carbono presentes na composição desses tipos de resíduos (OHNO et al., 2007). No

entanto, esses grupos são facilmente decompostos, e essa variação pode ocorrer em função do tipo e estado físico do resíduo e atributos do solo (GERZABEK et al., 1997).

A carga negativa e os sais dos fertilizantes a base de dejetos líquidos suínos (DLS) e camas de aves podem alterar o potencial elétrico superficial do solo e causar dispersão de argila (BENITES; MENDONÇA, 1998; BARBOSA et al., 2015). O processo de dispersão causado por fertilizantes orgânicos de origem animal, mesmo em um curto período de tempo, aumenta a suscetibilidade do solo à erosão e à contaminação da água superficial devido ao aumento dos níveis de sais na solução do solo (CHEN et al., 2012; HAHN et al., 2012).

O uso de fertilizantes de origem animal tem sido usado há séculos como fonte de nutrientes na agricultura. Entretanto, outras propriedades do solo que contribuem para a saúde do solo são afetadas quando eles são aplicados. A densidade, estabilidade agregados, infiltração, capacidade de retenção de água, fertilidade do solo e propriedades biológicas são impactadas em vários graus com aplicação dos fertilizantes orgânicos de suínos e aves (RAYNE; AULA, 2020).

A aplicação de doses elevadas de fertilizantes orgânicos de origem animal como DLS no solo pode causar alterações químicas, físicas e biológicas que podem resultar em problemas ambientais (OLIVEIRA, TAVARES FILHO, BARBOSA, 2016). A aplicação de DLS no solo pode reduzir a infiltração da água pela possível presença de compostos orgânicos hidrofóbicos, Bertol et al. (2007) encontraram perdas de solo e água nas chuvas no solo adubado com DLS em comparação com adubo mineral devido à obstrução de poros do solo pelos compostos orgânicos sólidos presentes no DLS e pelo efeito hidrofóbico, o qual modificou o comportamento da hidrologia de superfície neste tratamento, isso foi atribuído a repelência da água, o que interferiu na infiltração desta no solo.

A estabilidade de agregados é um dos indicadores da estrutura do solo que pode ser afetada negativamente pela aplicação dos fertilizantes orgânicos de origem animal, segundo Arruda et al. (2010) a aplicação de diferentes doses de DLS no solo reduziram a estabilidade de agregados em relação ao tratamento testemunha sem adubação. A maior parte dos trabalhos relacionados com o uso de fertilizantes orgânicos de origem animal aplicados no solo, são sobre resultados positivos para agregação do solo (OLIVEIRA, TAVARES FILHO, BARBOSA, 2016).

No entanto, trabalhos vem mostrando que o DLS apresenta efeito dispersivo, deste modo, ocorre a elevação da dispersão da argila, e com isso ocasiona maior desagregação do solo e maiores perdas de solo por erosão, Erthal et al., (2010) notaram tendência de aumento do percentual de argila dispersa em água (ADA) na camada superficial com a aplicação de

água residuária de bovinocultura, os autores explicam que o aumento foi pela acumulação de Na e K o que favoreceu a dispersão.

Condé et al. (2012) também encontraram tendência de aumento do percentual de ADA na camada mais profunda em trabalho que avaliaram o uso da água residuária da suinocultura. Grossi et al. (2014) observaram elevação da porcentagem de ADA pela aplicação DLS em Latossolo Vermelho-Amarelo, em virtude do acúmulo de sódio na solução do solo com a aplicação do fertilizante orgânico, o que gerou a dispersão de argila.

Alguns constituintes nos fertilizantes orgânicos de origem animal como no caso o Na em alta concentração não é desejável, pois em solos agrícolas pode aumentar sua concentração com a aplicação dos resíduos orgânicos, o que altera algumas características físicas do solo, ocasionado pela dispersão de argilas. Assim a solução do solo fica demasiadamente sódica, gerando a desagregação e dispersão dos minerais de argila em partículas muito pequenas, que obstruem os poros do solo, promovendo a formação de uma camada superficial selada e conseqüentemente, reduzindo a infiltração no solo e aumentando os riscos de erosão do solo (CONDÉ et al., 2012).

2.4 CARBONO ORGÂNICO DO SOLO

O carbono orgânico do solo é um indicador da qualidade do solo e serve como um atributo importante pois é sensível a mudança do manejo e oferece inúmeros benefícios na melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, fornece também informações sobre impacto dos sistemas de manejo e sustentabilidade da produção agrícola (MIELNICZUK, 2008; SOARES et al., 2018; SILVA e al., 2019).

As variações e formas de carbono no solo têm grande importância na sustentabilidade dos sistemas de produção, dependendo do sistema de manejo empregado, as formas de carbono podem permanecer estáveis, elevar ou baixar em comparação a áreas onde não há interferência antrópica (NANZER et al., 2019).

A degradação do solo em sistemas de produção não conservacionistas reduz os teores de carbono do solo (ROSA et al., 2014). Neste sentido, sistemas de produção que fixem carbono no solo sem interferir na produção agropecuária são opções importantes para manutenção da qualidade do solo bem como o uso de fertilizantes orgânicos.

O uso de espécies adaptadas aos sistemas de produção agropecuária, que fixam o carbono no solo e produzem grande quantidade de biomassa, como as gramíneas, são alternativas para manter o carbono no solo. Além disso, sua palhada apresenta alta relação C/N, e pode aumentar a retenção de água no solo, reduzir a temperatura da superfície do solo

e diminuir o escoamento superficial por melhorar a estrutura do solo, o que pode resultar em aumento da produtividade das culturas (BRAGA et al., 2017; SILVA et al., 2018).

Em sistemas produtivos como a ILP com rotação de forrageiras e lavouras o acúmulo de resíduos vegetais na superfície do solo pode aumentar o carbono do solo (COSTA et al., 2015). A braquiária implantada na entressafra antecedendo a soja, também pode beneficiar o acúmulo de carbono orgânico no solo (ROSSI et al., 2012). O maior aporte de resíduos vegetais sobre a superfície do solo favorece a ciclagem de nutrientes e aumenta o teor de MOS (FERREIRA et al., 2018).

O manejo do solo pode alterar o COS (Carvalho et al., 2010b; Maia et al., 2010; Sousa et al., 2015), neste caso os constituintes da MOS, como o C e N, sofrem modificações nos seus conteúdos, o que contribui para mudanças no sistema solo planta, afetando o rendimento das culturas (MAIA et al., 2010; SOUSA et al., 2011). Porém, práticas conservacionistas como sistemas integrados são alternativas importantes para reduzir as emissões de gases do efeito estufa e manter o estoque de carbono do solo (CARVALHO et al., 2014).

Deste modo, o carbono orgânico do solo participa de processos importantes no solo e favorece a estabilidade de agregados, a infiltração e retenção de água, além de ser fonte de energia para a atividade biológica. Esses processos são essenciais para o sistema agrícola (Vilela; Mendonça, 2013) e a perda de carbono modifica esses processos e compromete as funções do solo, ocasionando desequilíbrios do sistema, o que degrada o solo nas suas diversas funções (CARVALHO et al., 2010a).

Trabalhos vêm avaliando as modificações do carbono do solo, principalmente em relação ao impacto da conversão de matas nativas para produção agropecuária, uma vez que o carbono é um ótimo indicador da alteração no manejo do solo (PORTUGAL et al., 2008; OLIVEIRA et al., 2017).

Estudos voltados para o conhecimento do carbono do solo têm sido realizados com o objetivo de se conhecer as condições do solo como armazenador de carbono, como subsidio aos levantamentos dos conteúdos de carbono orgânico armazenados nos ecossistemas terrestres (LORENZ et al., 2007). Práticas adequadas de manejo, como a implantação de sistemas conservacionistas, com espécies que tenham alta produção de biomassa, permitem a manutenção ou mesmo o acúmulo de carbono orgânico no sistema solo planta, sendo esta mudança do uso da terra uma estratégia importante para mitigar a emissão de gases de efeito estufa (CARVALHO et al., 2010b).

Parte do carbono orgânico do solo pode ser decomposto facilmente quando manejos não conservacionistas são praticados, com maior liberação de gases de efeito estufa como gás

carbônico, metano e óxido nitroso para atmosfera (CERRI; CERRI, 2007). Por outro lado, a elevação da MOS ocorre de maneira lenta e depende de um manejo adequado, uma vez que regiões de clima tropical úmido, a taxa de decomposição é maior, pois possuem altas temperaturas e umidade do solo (SIX et al., 2002).

Manter os resíduos vegetais sobre o solo em quantidades adequadas e reduzir seu revolvimento pode aumentar o armazenamento de carbono do solo. Com isso o estoque de carbono aumentará (SALTON et al., 2011). Ferreira et al. (2018) avaliando a influência de culturas consorciadas e em sucessão nos atributos físicos e químicos e na dinâmica de C em um Latossolo argiloso, observaram maior estoque de carbono nas parcelas com capim Tanzânia adubados com nitrogênio, uma vez que houve maior crescimento da biomassa e aumento de carbono orgânico do solo.

Comparando diferentes sistemas de manejo, Salton et al. (2011) encontraram que o ILP apresentou maior acúmulo de carbono em relação ao sistema de monocultivo. Souza et al. (2009) encontraram que o maior estoque de carbono foi obtido depois da dessecação das forrageiras, devido a oferta de resíduo vegetal sobre o solo, em comparação com os tratamentos sem presença do retorno da palhada.

O solo tem a capacidade de retardar ou incrementar a transferência de C para a atmosfera, permitindo que o material possa ser retido no solo por mais tempo contribuindo para a mitigação das alterações climáticas (WATSON et al., 2000; (BRONICK; LAL, 2005). Além disso, a retenção e armazenamento de carbono no solo melhora a qualidade do solo pelo aumento CTC e aporte de N (SIX et al., 2000).

A perturbação e substituição de áreas naturais como campos nativos por ecossistemas com culturas comerciais podem reduzir o conteúdo de carbono do solo (ROSA et al., 2003). A diminuição nos teores e frações de carbono do solo estão relacionadas com aumento da erosão do solo, mineralização da matéria orgânica e oxidação de carbono orgânico do solo e o baixo aporte orgânico nos sistemas manejados, em comparação as florestas nativas (HOUGHTON et al., 1991).

Solos degradados em cultivos que apresentam baixo aporte de biomassa e baixos teores de C, são deficientes em N, pois o C e N são constituintes importantes da MOS, essa deficiência limita a recuperação do C do solo. Destaca-se que os sistemas constituídos por gramíneas são os mais afetados pela deficiência (BAYER et al., 2000; CANELLAS et al., 2003; DIAS et al., 2007).

Portugal et al. (2008) avaliando a quantificação e recuperação nos estoques de C nos compartimentos de C orgânico de um Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico latossólico em

consequência do seu uso agrícola, encontraram que os sistemas com pomar de citros e seringal apresentaram maior potencial para manter e, ou, recuperar o C orgânico do solo, e que as práticas de manejo usadas nesses ambientes, sem o revolvimento do solo tiveram maior aporte de resíduo vegetal e maior atividade biológica, o que aumentou a entrada de C e os teores de C orgânico no solo.

Sistemas agrícolas atuam modificando a entrada e saída de C do solo para a atmosfera isso está ligado a diferenciada produção de resíduos, os diferentes cultivos, espécies vegetais, e tipo de adubação, manejo da colheita, preparo do solo e manejo dos restos culturais (LAL; BRUCE, 1999).

Avaliando diferentes frações da MOS e os estoques de C e N de Latossolo Vermelho distroférico típico muito argiloso submetido a diferentes sistemas de uso e manejo, Rangel; Silva (2007) observaram que o estoque de carbono foi afetado de modo significativo pelos sistemas de uso e manejo do solo em todas as profundidades avaliadas, os maiores estoques de carbono foram observados nos sistemas de mata nativa e plantio de eucalipto, o maior estoque tem relação com a proteção física dos compostos orgânicos contra a decomposição microbiana, favorecida pela oclusão do CO nos agregados do solo.

2.5 MECANISMO DE PROTEÇÃO FÍSICA DO CARBONO NO SOLO PELOS AGREGADOS

A matéria orgânica do solo (MOS) é formada por C, O, H, e N, a qual apresenta importante papel na qualidade do solo, o seu acúmulo desenvolve e melhora as propriedades do solo e eleva o sequestro de C, deste modo, o incremento da MOS necessita da entrada de resíduos orgânicos no solo e que ocorra a diminuição das taxas de saídas como decomposição, para que ocorra a manutenção dela no solo é importante o processo de estabilização, isto é, amortecer sua perda (PAUSTIAN et al., 1997; MIELNICZUK et al., 2003; DAVIDSON; JANSSENS, 2006).

A estabilização é o decréscimo do potencial de perda da MOS por erosão, lixiviação ou respiração microbiana. Portanto os mecanismos de estabilização da matéria orgânica no solo são: estabilização química; estabilização bioquímica; proteção física em agregados, esses são os principais processos (STEVENSON, 1994; SOLLINS; HOMANN; CALDWELL, 1996; CHRISTENSEN, 2001). Esses mecanismos ocorrem ao mesmo tempo em todos os estágios de decomposição (CORNEJO; HERMOSÍN, 1996; CHRISTENSEN, 1996).

A estabilidade química acontece pela ligação química e físico-química entre substâncias orgânicas e inorgânicas do solo formando complexos organominerais, isso faz

com que a diminuição da taxa de degradação das moléculas orgânicas ocorra pelo fato da complexação com minerais do solo (KAISER; GUGGENBERGER, 2003; SOLLINS; HOMANN; CALDWELL, 1996). Essas reações ocorrem na superfície das frações minerais do solo, assim, a área de contato superficial faz-se muito importante. A fração argila possui área superficial 50 a 100 vezes maior do que a soma equivalente em massa de areia e silte (STOTZKY, 1986). Por isso, os argilominerais e os óxidos são os principais minerais responsáveis pela interação com a MOS (SOLLINS; HOMANN; CALDWELL, 1996).

A estabilização bioquímica da MOS é decorrente da composição química mais recalcitrante das moléculas dos compostos orgânicos, como ligninas e polifenóis, os quais são preservados pela decomposição seletiva dos microrganismos (STEVENON, 1994; SOLLINS; HOMANN; CALDWELL, 1996; DIECKOW et al., 2009). Os microrganismos degradam seletivamente compostos menos recalcitrantes (como carboidratos, aminoácidos e proteínas, por exemplo) aumentando a recalcitrância média do resíduo remanescente (PILLON; MIELNICZUK; MARTIN NETO, 2002).

A proteção física da matéria orgânica (inacessibilidade) acontece pela influência da agregação do solo, pois há formação de uma barreira entre ela e os microrganismos decompositores. A barreira dificulta o acesso da MOS no interior do agregado pois, grande parte do espaço poroso do solo possui diâmetros tão curtos que evitam a movimentação dos organismos decompositores, o que impede sua perda para atmosfera (RAZAFIMBELO et al., 2008; SIX, J.; PAUSTIAN, L.; ELLIOT, COMBRINK, 2000; SOLLINS; HOMANN; CALDWELL, 1996). A MOS pode ser protegida pela sua incorporação no interior de microagregados, em microporos inacessíveis ou dentro de macroagregados estáveis (ELLIOTT, 1986; LADD; FOSTER; SKJEMSTAD, 1993). O aumento da mineralização da MOS após a quebra de agregados é atribuído à exposição de MOS anteriormente inacessível aos microrganismos (EDWARDS; BREMNER, 1967; BEARE et al., 1994).

Os agregados são unidades básicas de construção da estrutura do solo, formados a partir da união de unidades primárias (areia, silte e argila), fragmentos de plantas e microrganismos, interação entre minerais, exsudados de plantas, e agentes cimentantes, entre os principais: matéria orgânica e óxidos de Fe e Al (TISDALL; OADES, 1982; DEXTER, 1988; OADES; WATERS, 1991).

A formação de agregados no solo ocorre através de duas etapas fundamentais: a primeira, que haja a aproximação das partículas do solo. A aproximação geralmente decorre de uma força mecânica qualquer, e pode ser causado pela: expansão e contração do solo,

crescimento das raízes e hifas de fungos; floculação, movimentação da microfauna no solo (Bochner et al., 2008).

A segunda, que ocorra uma condição que, depois do contato das partículas, exista um agente cimentante (polímeros orgânicos da MOS e dos exsudados orgânicos liberados pelas raízes de plantas, em função das ligações com a superfície das partículas minerais do solo por meio de cátions polivalentes) para consolidar essa união, gerando o agregado (CASTRO FILHO; MUZILLI; PODANOSCHI, 1998; MIELNICZUK, 1999).

No início dos anos 1900, estudos apresentaram fatores que influenciavam na formação da agregação do solo. Era de conhecimento a participação da fauna do solo (minhocas, cupins), microrganismos (micorrizas e bactérias), raízes (exsudados), agentes de ligação inorgânicos (Ca e os óxidos), e variáveis ambientais (ciclos de umedecimentos e secagem do solo), porém, a partir da segunda metade dos anos 1900, houve uma organização de modelos teóricos de agregação, como também a interação da MOS com os demais fatores de agregação (SIX et al., 2004; BRAIDA et al., 2011).

O primeiro estudo relacionado com a formação e estabilização de agregados conexos para com a matéria orgânica do solo foi realizado no ano de 1959, logo depois deste vieram outros e mais estudos que apresentaram maiores detalhes e entendimentos sobre essa importante relação (Figura 1). Os estudos descritos por Six et al. (2004) foram os mais relevantes para o tema proposto.

Figura 1 - Principais estudos ao longo do tempo dos avanços no entendimento da formação e estabilização do solo relacionados a matéria orgânica do solo.

<p>Emerson (1959) -Formação de agregados por lâminas de argila e partículas de quartzo ligados por matéria orgânica.</p> <p>Edwards e Bremner (1967) -Os microagregados são formados a partir de complexos organominerais, constituídos por matéria orgânica, minerais de argila e cátions polivalentes.</p> <p>Tisdall e Oades (1982) -Conceito de hierarquia de formação de agregados, onde os macroagregados são formados pela união de microagregados.</p> <p>Oades (1984) -Pode haver formação de microagregados no interior dos macroagregados</p> <p>Elliot (1986) -Diminuição da agregação e matéria orgânica lábil é perdida quando o solo é cultivado.</p> <p>Dexter (1988); Kay (1990) -Princípio da exclusão da porosidade e efeito na atuação dos agentes ligantes</p> <p>Oades e Waters (1991) -A teoria da hierarquia agregada só existe em solos onde a matéria orgânica é o principal agente de estabilização de agregados, mas não são encontradas em solos ricos em óxidos.</p>

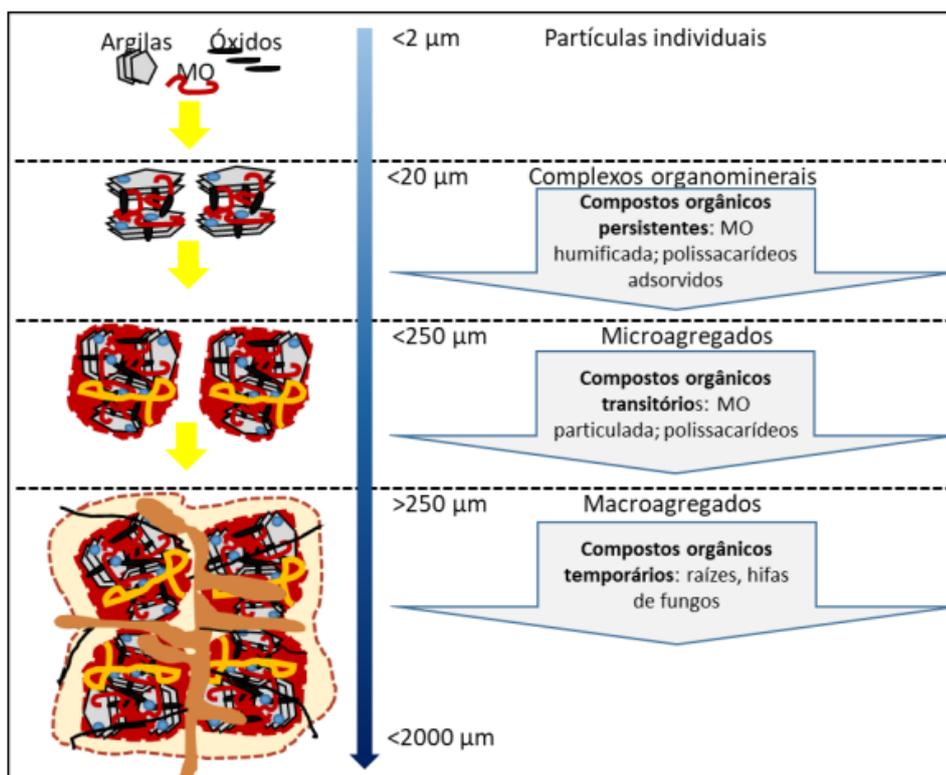
Fonte: Adaptado de Six et al. (2004)

Segundo Emerson, (1959), os agregados eram formados a partir da união de lâminas de argila orientada denominado ‘domínio argiloso’, e partículas de quartzo com a presença de uma monocamada de matéria orgânica de origens diversas. Para Edwards; Bremner, (1967), os microagregados eram formados pela união de complexos organominerais compostos por: MOS, cátions polivalentes (Fe, Al e Ca) e partículas de argila. De acordo com os autores a participação da areia não foi relacionada para formação de complexos estáveis, pois, os microagregados (<250 μm) estáveis tem tamanho de areia e silte. E ainda, a matéria orgânica quando complexada em microagregados ficaria protegida fisicamente e inacessível aos microrganismos.

Tisdall; Oades (1982), através da teoria de hierarquia de agregação, descreveram que os agregados são formados em ordem de hierarquia de tamanhos por diferentes agentes ligantes, orgânicos e/ou inorgânicos, transitórios, temporários e persistentes. As partículas primárias se aproximam e unem-se formando complexos organominerais (<20 μm), que por sua vez são unidos em microagregados (20-250 μm) por MOS humificada e cátions polivalentes. Em seguida os microagregados se unem entre si formando os macroagregados

(>250 μm), pelos polissacarídeos derivados de plantas e microrganismos (ligantes transitórios) e hifas, raízes e fungos (ligantes temporários) (Figura 2).

Figura 2 - Teoria da hierarquia de agregação e seus principais compostos orgânicos responsáveis pela estabilidade dos agregados.



Fonte: Adaptado de (TISDALL; OADES, 1982b).

Os agentes ligantes envolvidos nos microagregados apresentam maior estabilidade em relação aos macroagregados e são menos afetados pelo manejo agrícola (SIX et al., 2004; BRAIDA et al., 2011). Anos depois, Oades; Waters, (1991), apresentou uma atualização no processo de formação dos microagregados, onde os microagregados não são formados exclusivamente como na sequência da teoria de hierarquia, também podem se formar no interior do macroagregados, pois as raízes e hifas que mantêm os macroagregados unidos temporariamente, se decompõem em fragmentos.

Os fragmentos revestidos com mucilagens se unem a argilas e resulta em um microagregados dentro do macroagregados. Elliott, (1986) em seu experimento, corroborou com a teoria da hierarquia de agregação e mostrou que os macroagregados contêm MOS mais lábil e pode ser facilmente perdida quando o solo é manejado em relação aos microagregados. Este foi o primeiro trabalho que mostrou a relação entre a perda de agregação e carbono lábil

em consequência do manejo agrícola adotado no solo. Assim dois fatores podem ser identificados se há hierarquia na formação de agregado no solo, o teor de C aumenta à medida que se aumenta a classe do agregado, o C lábil e mais recente é encontrado em maiores quantidades nos macroagregados do que em microagregados (BAUMGÄRTNER et al., 2021).

O princípio de exclusão de porosidade, pelo qual um agregado de hierarquia inferior preenche poros de um agregado de nível hierárquico superior, mostra que a porosidade excluída em agregados de ordem inferior causa maior densidade e resistência interna em comparação aos agregados em ordem superior (DEXTER, 1988).

A eficiência dos diferentes agentes ligantes depende da dimensão dos poros pelos quais precisam ser interligados com as partículas. A seguir os compostos inorgânicos e orgânicos com suas pequenas dimensões são capazes de estabilizar microagregados, no entanto, as raízes e as hifas terão que atuar como agentes de ligação entre partículas separadas por poros maiores (KAY, 1990).

Oades; Waters (1991), avaliaram a teoria de hierarquia de agregados para três solos, Argissolo, Chernossolo e Latossolo em quatro níveis de energia de dispersão, umedecimento lento, umedecimento rápido, agitação durante 16 h e dispersão por ultrassom. O Argissolo e o Chernossolo apresentaram resultados que confirmou a hierarquia de agregação, ou seja, os macroagregados se dissiparam em microagregados e em seguida houve a dispersão em partículas primárias, o que não ocorreu para o Latossolo.

A hierarquia de formação e estabilização só é válida em solos em que a MOS é a principal agente cimentante. Em solos ricos em óxidos, como no caso do Latossolo, não se aplica totalmente a teoria de hierarquia, já que os óxidos com matéria orgânica, também desempenham papel de agente agregante. A alta estabilidade de agregados em Latossolos é frequentemente atribuída a presença de óxidos, porém ainda não existe consenso de como são os mecanismos formadores e reguladores envolvidos na estabilização (OADES; WATERS, 1991; FERREIRA; FERNANDES; CURI, 1999; AZEVEDO; BONUMÁ, 2004).

Solos com grandes quantidades de óxidos de ferro podem apresentar formação de macroagregados independente dos microagregados. Dessa forma, há primeiramente a formação de macroagregados em torno da MOS e logo após ocorre a formação de microagregados dentro dos macroagregados. Quando essa matéria orgânica é decomposta ocorre a desestabilização dos macroagregados o que libera os microagregados que se formaram no seu interior (BEARE et al., 1994).

Logo a proteção física da matéria orgânica é considerada um importante mecanismo de estabilização e acúmulo de C em sistemas conservacionistas em solos de regiões subtropicais e tropicais (CONCEIÇÃO et al., 2008). Quando os macroagregados são destruídos, as emissões de CO₂ podem se intensificar entre 4 a 6 vezes mais em relação aos macroagregados que ficaram intactos, e evidencia assim que a proteção física, exercido pelos agregados, que desempenha um papel importante na estabilização da MOS, e auxilia na diminuição da perda de C para atmosfera (BARRETO et al., 2009).

Portanto, ocorre uma relação importante entre o C e a agregação do solo, pois quando se tem maior aporte de material orgânico no solo, logo se aumentará os estoques do solo, assim beneficia condições favoráveis para formação de agregados. Porém, somente a adição de material orgânico no solo não é o suficiente, é essencial a adoção de manejos conservacionistas, pelo qual não ocorrerá a ruptura dos agregados, e assim, o C ficará protegido em seu interior evitando sua rápida decomposição, o que mitiga a emissão de gases do efeito estufa para a atmosfera e perdas dos estoques de C do solo (BAUMGÄRTNER et al., 2021).

A avaliação da composição isotópica nos agregados mostra o importante papel da proteção física do mesmo, e quando se relaciona a origem do C se é mais jovem ou não nos macroagregados em comparação aos microagregados, essa relação fica mais evidente, o que pode mostrar a origem da MOS. Deste modo, a aplicação da técnica de isótopos de C estáveis, pode apresentar a diferença nos teor de C incorporado nos macro e microagregados (FRANCISCO et al., 2021).

Para compreender a técnica de isótopos de C é necessário saber que quanto mais negativo os valores ¹³C em microagregados mostram maior proteção de C, e valores menos negativos em macroagregados indicam C recentemente incorporada, ou seja mais jovem (ARCÂNGELO et al., 2014). O mais negativo ¹³C resulta nos microagregados e os menos negativos ¹³C nos macroagregados, e demonstram que o C é mais suscetível à oxidação nas macroagregações mas mais protegido nas microagregações (DEL GALDO et al., 2003)

Francisco et al. (2021) encontraram que valores de ¹³C menos negativos nos macroagregados nas camadas avaliadas, a qual mostra a adição de um carbono mais novo, provavelmente dos resíduos do milho ou de plantas espontâneas. A variação na abundância natural de ¹³C pode ser utilizada como ferramenta para mostrar o histórico de cultivo das áreas de estudo, assim como apresentar o quanto dos resíduos vegetais das culturas cultivadas nas áreas estão colaborando para a formação da MOS em determinada área (GUARESCHI; PEREIRA; PERIN, 2014).

2.6 FRACIONAMENTO FÍSICO DO CARBONO ORGÂNICO DO SOLO

O fracionamento físico envolve separação dessimétrica ou granulométrica e várias etapas de dispersão do solo. O fracionamento físico separa compartimentos da MOS com diferentes níveis de reatividade (MOLINA et al., 1994; BALESSENT; BALABANE, 1996). O fracionamento físico é caracterizado por ser uma técnica menos destrutiva, quando comparado com o fracionamento químico. O processo inicia com a dispersão das partículas obtida pela agitação mecânica ou vibração da amostra, seguida de separação, que pode ser baseada no tamanho, pelo peneiramento e sedimentação ou pela densidade de uma suspensão contendo a amostra (DICK et al., 2009; JAGADAMMA; LAL, 2010).

O fracionamento granulométrico permite o estudo dos compartimentos mais humificados ligados à fração mineral do solo, areia, silte e argila, tipicamente mais estáveis às mudanças nos ambientes do solo provocadas pelo manejo (FELLER; BEARE, 1997). O fracionamento granulométrico é bastante utilizado, devido à ausência de toxidez, baixo custo e tempo de realização. A metodologia consiste na agitação das amostras em solução para posterior peneiramento, que obtém as frações: carbono associado aos minerais (COAM) (<0,053 mm) e o carbono orgânico particulado (COP) (>0,053 mm) (CAMBARDELLA; ELLIOTT, 1992).

O COP é a fração da MOS determinada pela separação por dispersão e peneiramento do solo associada à fração areia (COP > 53 μ m), sendo caracterizado como partículas derivadas de resíduos de plantas e hifas, com estruturas celulares reconhecíveis. Sua permanência no solo está condicionada à proteção física exercida pelos agregados. O COAM é a fração da MOS associada às frações silte e argila do solo (COAM < 53 μ m), sendo caracterizada como a fração da MOS que interage com a superfície de partículas minerais, formando os complexos organominerais, estando protegida pelo mecanismo de proteção coloidal (LOSS et al., 2009).

Em sistemas com maior aporte de biomassa, o acúmulo de carbono ocorre preferencialmente na matéria orgânica particulada, a qual é mais sensível, do que o carbono orgânico total às alterações no manejo do solo principalmente quando temos experimentos de curto prazo, onde o COT ainda não evidenciaria as diferenças, o COP é um indicador da degradação da MOS, determinando assim que o manejo empregado no solo afeta diretamente os compartimentos da matéria orgânica e a qualidade do solo (ROSSI et al., 2012). O COP é uma fração eficiente em identificar mudanças oriundas de práticas de manejo ou conversão de áreas naturais (florestas, pastagens) por cultivos (FIGUEIREDO et al, 2010; ÁLVAREZ et al., 2011; PEREIRA et al., 2012).

Quantificando formas lábeis e estáveis da MOS em diferentes usos do solo no Cerrado, Figueiredo et al. (2010), verificaram alterações nos teores da fração particulada (COP) da MOS em resposta a substituição da vegetação de cerrado por lavouras e que entre os sistemas de cultivo avaliados, o SPD, teve distribuição mais uniforme do COP no perfil do solo. Observaram também correlação negativa entre COP e COAM, indicando que os processos de formação dessas frações são opostos. Desta forma, para que se tenham maiores teores de COAM no solo é necessário que ocorra maior decomposição dos teores de COP para posterior associação com os minerais do solo nos tamanhos de silte e argila.

Alterações nos teores de C orgânico pelo uso do solo ocorrem na fração particulada da matéria orgânica ($>53\mu\text{m}$), e o manejo adequado de pastagens pode aumentar os teores de matéria orgânica particulada devido a associação com agregados maiores (2–8 mm), mostrando que a formação dessa classe de agregados é uma importante forma de proteção de C promovida pelas pastagens (FIGUEIREDO et al., 2010).

Os fertilizantes orgânicos e minerais apresentam capacidade distintas na formação das diferentes frações granulométricas da MOS, assim como os níveis de fertilizantes que são aplicados no solo. Altas doses de fertilizantes orgânicos aplicados no solo, aumentam a entrada de C no sistema solo planta, e influenciam nos mais variados compartimentos do C, principalmente na fração particulada do COT (ZHU et al., 2015).

A fertilização orgânica afeta a agregação do solo, pois pode aumentar ou diminuir a distribuição dos agregados, principalmente os macroagregados. O efeito dos fertilizantes orgânicos e minerais na agregação do solo e nas frações granulométricas do C são variáveis para cada solo, diferentes fertilizantes orgânicos podem resultar na formação de maiores agregados do solo, pela melhor estrutura quando se compara com o solo sem adubação, o manejo adotado e os diferentes níveis de aplicação de adubos orgânicos pode aumentar os agregados e a fração COP, pela alta adição de compostos frescos no solo, o que diminui o processo de degradação dos agregados, assim protegendo os teores de C e N (ASHRAF et al., 2020).

Além disso, é importante ressaltar o papel da aplicação de fertilizantes orgânicos de origem animal, que podem contribuir para conservação do carbono nos agregados do solo. A aplicação de resíduos orgânicos no solo melhora a agregação e com isso eleva os teores de carbono orgânico quando comparado ao controle sem adubação e aos adubos minerais, é sabido que altas doses de fertilizantes no solo influenciam na formação de agregados bem como na distribuição entre as frações do COT (FEI et al., 2021).

É importante ressaltar a formação dos agregados do solo, pois esses agregados são originados em torno de resíduos frescos, e quando ocorre a aplicação dos fertilizantes com alto teor de compostos orgânicos, são materiais fonte de carbono para atividade microbiana, pois os organismos são agentes que contribuem para formação de grandes agregados. Logo, a aplicação de altas quantidades de fertilizantes orgânicos no solo promovem o aumento do COS e suas frações, principalmente estimulando a formação desses macroagregados do solo (SIX; ELLIOTT; PAUSTIAN, 1999; ATERE et al., 2020).

Portanto a adição de fertilizantes orgânicos no solo resulta em uma mudança nas frações de carbono orgânico do solo, assim como na ciclagem de nutrientes e propriedades bioquímicas do solo, desempenhando importante papel na formação de pequenos e grandes agregados do solo e no sequestro de carbono (XU et al., 2021).

Balabane; Plante, (2004) avaliaram o grau de agregação e estabilização da matéria orgânica pelo fracionamento físico da MOS, os autores encontraram que foi observada uma interação íntima entre a estrutura do solo e a matéria orgânica, demonstrando que a agregação é hierárquica e que as frações físicas da matéria orgânica são responsáveis por essa hierarquia, a MOS associada à argila é confirmada como uma importante fração de C estabilizado e foi mais preservada em macroagregados.

Ferreira et al. (2020) avaliaram o efeito da duração do SPD na via de formação dos agregados do solo e na MOS em comparação com o solo não manejado no período chuvosa e de seca e encontraram que o SPD afetou a dinâmica da agregação do solo e das frações de matéria orgânica, ao longo dos anos, o SPD aumentou o teor de COP, COAM e humina por causa da entrada constante de resíduos de culturas em camadas superficiais, evidência da eficácia do sistema em promover o armazenamento de C em diferentes frações de matéria orgânica. Além disso, a análise de classificação morfológica dos agregados do solo foi sensível às mudanças no uso da terra ao longo do tempo, consistindo como um indicador prático, que pode ser usado para determinar se as condições do solo estão melhorando, permanecendo as mesmas ou piorando.

3 HIPÓTESES

O uso de fertilizantes orgânicos, em função de suas características químicas e matéria seca, aumenta os teores de carbono no solo em comparação ao mineral em sistema de integração lavoura pecuária.

A adição de compostos orgânicos no solo pela aplicação de fertilizantes orgânicos aumenta as frações de carbono do solo, principalmente nos agregados de 8-4,76 mm, em comparação aos fertilizantes minerais.

A adição continuada de fertilizantes orgânicos e minerais ao solo, por aumentar a produção de biomassa vegetal, favorece o acúmulo de C da fração particulada em agregados de maior tamanho.

Doses crescentes de fertilizantes orgânicos no solo sob sistema de integração lavoura pecuária aumentam a agregação e os teores de carbono do solo.

4 OBJETIVOS

Avaliar as frações de carbono em duas classes de agregados e solo em resposta à aplicação de fertilizantes orgânicos e minerais em ILP.

4.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Analisar a resposta aos fertilizantes quanto as frações físicas de carbono orgânico do solo;
- b) Identificar as frações de carbono orgânico nos agregados do solo;
- c) Avaliar o efeito de doses crescentes de fertilizantes orgânicos na agregação e frações de carbono no solo.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 ÁREA DE ESTUDO

Área de estudo localiza-se em Concórdia, as margens da Rodovia SC 283, km 08, (27° 12' 0,08" S e 52° 4' 58,22" W). No período de 1994 a 2011 era manejada com plantio de milho (*Zea mays*) no verão, aveia preta (*Avena sativa* Schreb) e nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.) no inverno. Durante os 17 anos foram realizadas duas calagens (5 Mg ha⁻¹ calcário dolomítico) assim como a aplicação de fertilizante orgânico DLS (50 m³ ha⁻¹ ano⁻¹), de acordo com a instrução normativa do Instituto de Meio Ambiente de Santa Catarina (IMA-IN11) e adubação mineral conforme a necessidade da cultura, baseada na análise de solo e produtividade de grãos.

Em 2011 foi implantado o experimento com sistema integração lavoura pecuária (ILP) em sistema de plantio direto com lavoura de milho (*Zea mays*) em consórcio com *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés no verão e centeio (*Secale cereale* L.) no período de inverno. Antes da implantação da forrageira de inverno o solo foi escarificado para descompactar a camada superficial (0-10 cm), em seguida houve dessecação das plantas de cobertura com o uso de herbicida glifosato (2.160 g ha⁻¹ de i.a), com posterior semeadura (HENTZ et al., 2016).

A primeira coleta de solo para realização da análise física e química do solo foi realizada em março de 2011 nas camadas 0-5, 5-10 e 10-20 cm de profundidade, com trado holandês (Tabela 1).

Tabela 1 - Caracterização química e física do solo da área experimental nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm, Concórdia, SC. 2011.

Atributos	Camadas		
	0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm
N (g kg ⁻¹)	1,9	1,7	1,5
P (mg kg ⁻¹)	100	80	70
K (mg kg ⁻¹)	590	406	346
Ca (cmol _c kg ⁻¹)	8,4	6,7	9,5
Mg (cmol _c kg ⁻¹)	4,8	4,0	4,2
Zn (mg kg ⁻¹)	5,1	4,4	3,6
CO (g kg ⁻¹)	30	26	25
Argila (g kg ⁻¹)	680	680	700
pH (H ₂ O 1:1)	5,8	5,6	5,5
H + Al (cmol _c kg ⁻¹)	5,7	6,0	5,8
CTC (cmol _c kg ⁻¹)	20,5	17,8	20,5
V (%)	72	66	72

Fonte: HENTZ et al., 2016.

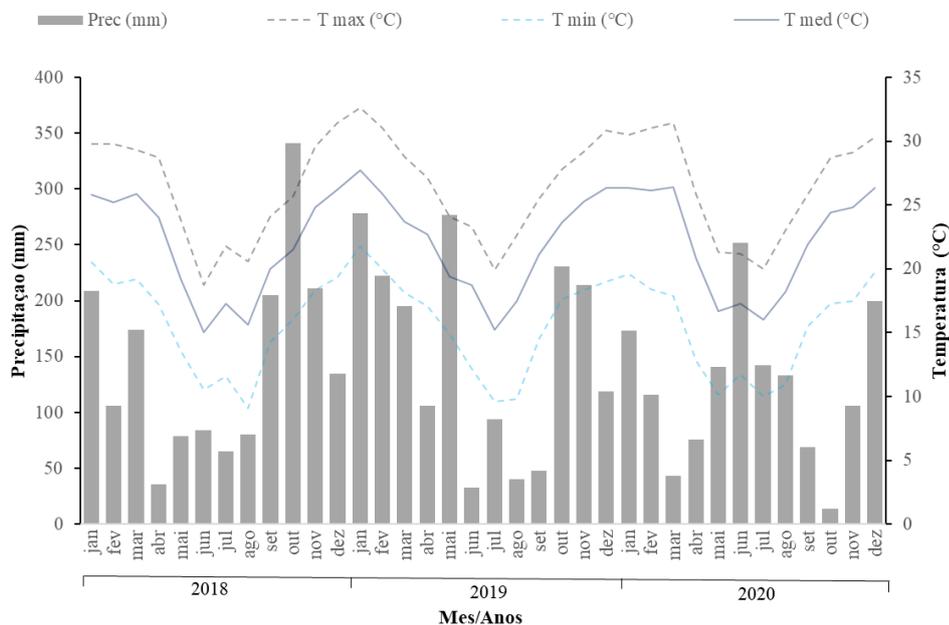
O solo da área experimental é um Nitossolo Vermelho Eutroférico típico (EMBRAPA, 2009), e baseado nos resultados da primeira análise do solo (Tabela 1), não houve necessidade de realizar calagem.

O clima da região é subtropical úmido (Cfa), segundo a classificação de Köppen, com meses mais frios (junho e julho) apresentam temperaturas médias em torno de 15°C e temperatura média anual de 23°C. As chuvas são regulares e bem distribuídas, sem deficiência hídrica e com precipitações pluviométricas totais anuais em torno de 1.500 mm e altitude de 569 m acima do nível do mar. O relevo predominante é ondulado a suave ondulado (HENTZ et al., 2016).

5.2 DELENEAMENTO EXPERIMENTAL

O experimento foi avaliado de 2018 a 2020 a campo. As temperaturas máxima, mínima e precipitação pluvial durante o período de estudo foram coletados na Estação Meteorológica da Embrapa Suínos e Aves (Figura 3).

Figura 3 - Precipitação (mm), temperaturas máximas (°C) e mínima (°C), registradas durante a condução do experimento, nos anos de 2018-2020, Concórdia, SC.



Fonte: Elaborado pelo autor 2021.

O delineamento experimental foi em blocos casualizado (Figura 4) com 4 repetições, onde os tratamentos constituíram em fatorial 5x3+1, com 5 fontes de fertilizantes, 3 doses de recomendação para cultura e 1 controle sem fertilização. O sistema de produção adotado foi

ILP, para o período de avaliação do estudo as culturas utilizadas foram milho (*Zea mays*) e soja (*Glicine max*) durante o verão e aveia preta (*Avena sativa* Schreb) e centeio (*Secale cereale* L.) durante inverno com pastejo por ovelhas, são 20 fêmeas por ha. Entram com pasto alto, e saem entre 20 e 25 cm de comprimento, esse ciclo é realizado de cinco a seis vezes entre outono e inverno. A duração do pastejo é ajustada de acordo com as condições da pastagem, visando manter altura mínima ou biomassa residual mínima após o pastejo.

Figura 4 - Mapa da área experimental, IFC Concórdia, SC. 2018.

CM/150	M1/100	M2/150	T	M2/100	C/100	M1/75	M2/75
CM/100	M1/150	D/75	D/150	D/100	C/150	C/75	CM/75
IV							
CM/75	M2/150	D/100	C/75	M1/150	D/150	D/75	M2/75
CM/100	M1/100	C/150	C/100	M2/100	T	M1/75	CM/150
III							
CM/150	D/75	M1/150	C/75	M2/75	C/100	M2/150	C/150
CM/75	M2/100	T	M1/100	M1/75	D/100	D/150	CM/100
II							
CM/100	M1/150	C/150	M1/75	M2/75	M2/100	M1/100	C/100
CM/150	D/75	M2/150	C/75	D/150	T	D/100	CM/75
I							

C: Cama de aves, D: Dejeito líquido suíno, CM: Composto, M1: Mineral 1, espelho do dejeito e M2: Mineral 2, espelho da cama de aves, I, II, III e IV: Blocos. Fonte: Elaborado pelo autor 2018.

Os tratamentos com fertilizantes são três orgânicos, sendo 1) cama de aves (Cama), 2) dejeito líquido de suínos (Dejeito) e 3) um composto (Composto) a partir de dejetos de suínos e dois minerais (M1 e M2), combinados com três doses, equivalentes a 75, 100 e 150% da recomendação para cultura de interesse, com base no elemento com maior exigência pela cultura (K para soja e N para milho). O tratamento controle não recebe adubações. As

unidades experimentais são formadas por parcelas de 5 x 5 m (25 m²), distantes 2,5 m entre blocos, não havendo espaço entre as parcelas no mesmo bloco (Figura 5).

Figura 5 - Unidades experimentais, IFC Concórdia, SC. 2018.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

A aplicação dos fertilizantes foi realizada a lanço em superfície, ao lado da linha de semeadura de forma manual, nas culturas de inverno e verão. O fertilizante M1 foi formulado em função da composição do dejetos líquido suíno e o M2 foi ajustado conforme a composição da cama de aves, sendo as formulações ajustadas a cada safra, conforme a composição dos fertilizantes orgânicos empregados em cada período.

O DLS foi oriundo de sistema de criação de ciclo completo do IFC Concórdia, onde os animais permanecem alojados em sistema de piso compacto desde o nascimento até o abate com peso vivo médio de 120 kg e idade média de 145 dias.

O fertilizante composto foi produzido a partir do DLS o qual foi constituído a partir da aplicação de 8 a 12 litros de dejetos (com teores entre 4 a 6% de matéria seca) para cada 1 kg de substrato formado pela mistura de maravalha e serragem, em leira de 1 m de altura, 3 m de largura e 20 m de comprimento. O processo de impregnação na maravalha foi realizado a cada semana, com revolvimento apenas em caso de haver elevação da temperatura no interior da leira acima de 60°C. Essa operação foi realizada de forma automática até o momento da estabilização de temperatura, momento em que se iniciou o processo de maturação do composto até sua aplicação a campo.

A cama de aves também foi oriunda do IFC Concórdia, onde é feita a criação de aves de corte, sendo que as camas que foram usadas neste trabalho foram oriundas de 5 a 6 lotes de

aves de corte. A composição química dos fertilizantes orgânicos para cada safra durante a condução do experimento (2018-2020) assim como o aporte de C e P foram analisados baseado na metodologia oficial (AOAC, 2000; APHA, 2012) para determinação de N, P e C (Tabela 2), a composição química dos fertilizantes desde o início do experimento (2011-2017) estão em anexo.

Tabela 2 - Aporte de N, P e C pelos fertilizantes orgânicos durante o período de condução do experimento (2018 a 2020) no sistema integração lavoura pecuária, IFC Concórdia, SC.

	Teor de Nutriente nos Fertilizantes			Dose 100% (kg ou L ha ⁻¹)	P Aporte	N Aporte	C Aporte
	N	P	C				
Cultivo de milho 2017/2018							
Cama de aves	24,2	12,6	263,1	4132	52	100	1087
Dejeto de suínos	2,7	0,9	9,8	37037	33	100	363
Cultivo de milho 2018/2019							
Cama de aves	16,2	5,3	280	6169	33	100	1728
Dejeto de suínos	3,3	1,0	19,3	30303	30	100	584
Cultivo de milho 2019/2020							
Cama de aves	22,1	10,6	280	6172	52	100	1407
Dejeto de suínos	8,5	0,9	12,6	33670	33	100	473
Soma do aporte durante 2018-2020							
Cama de aves				16473	137	300	4222
Dejeto de				101010	96	300	1420

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021)

A partir dos dados sobre a concentração de N, P e K nos fertilizantes orgânicos foram realizadas as formulações para os fertilizantes minerais, a ureia foi a fonte de N, o superfosfato triplo a fonte de P e cloreto de potássio a fonte de K, no tratamento M1 foram adicionadas as mesmas quantidades destes nutrientes, assim como no tratamento M2. As formulações foram ajustadas a cada safra, de acordo com a composição dos fertilizantes orgânicos utilizados em cada período.

O milho utilizado foi a cultivar Celeron TL Syngenta, híbrido simples, super precoce. A semeadura foi realizada com 8-9 sementes por metro linear, com espaçamento entre linhas de 0,80 m. A cultura da soja (BRS 523) foi implantada com 18 sementes por metro linear em

espaçamento entre linhas de 0,45 m. A semeadura das culturas foi realizada com semeadora de arrasto de plantio direto, composta de disco de corte frontal e discos duplo defasados, com rodas limitadoras de profundidade, haste sulcadora e compactadores em “V” com duas rodas de borracha.

No período do inverno foi semeada aveia preta cultivar comum em substituição ao centeio, com densidade de 50 kg ha⁻¹ de sementes, aproximadamente 80 sementes por metro linear em espaçamento entre linhas de 0,20 m.

5.3 COLETAS E AVALIAÇÕES DE C NO SOLO E EM AGREGADOS

5.3.1 Coleta e determinação de estabilidade de agregados do solo

A amostragem do solo foi realizada em junho de 2018, com coletas de amostras com estrutura preservada (bloco de 2,5 kg aproximadamente), nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm de profundidade, em três pontos nas entrelinhas. Essas amostras foram utilizadas para determinar a distribuição dos agregados e o fracionamento do carbono orgânico do solo nos agregados.

Para determinação do carbono orgânico do solo foram coletadas amostras compostas nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm de profundidade, dez subamostras em cada profundidade e tratamento foram retiradas aleatoriamente com auxílio de um trado calador mecanizado (Figura 6).

Figura 6 - Coleta do solo com auxílio de trado calador para análise de carbono.



Fonte: Elaborada pelo autor (2018).

As amostras foram secas à sombra para obtenção dos agregados. A análise de estabilidade de agregados foi realizada por via úmida padrão (KEMPER; CHEPIL, 1965). As

amostras estavam no ponto de friabilidade do solo e sua separação manual foi realizada no intervalo das peneiras de 8 a 4,76 mm, por tração, sem comprimir os agregados.

Os agregados foram armazenados em potes plásticos com tampa, aproximadamente 150 gramas. Antes da agitação em água, as amostras foram novamente peneiradas na peneira de 4,76 mm, retirando os cascalhos e os restos vegetais. Uma subamostra com cerca de 25 g foi transferida para lata de alumínio pré-presada e levada a estufa a 105 °C por 24 h, pesando o solo seco para correção da umidade da amostra.

As peneiras de malha 4,76; 2,00; 1,00 e 0,250 mm com as amostras foram acondicionadas em ordem decrescente no aparelho de oscilação vertical. Os agregados foram distribuídos uniformemente sobre a peneira de 4,76 mm e ficaram submersos em água por 10 minutos em repouso para umedecimento. O nível da água no aparelho de agitação vertical foi ajustado até atingir aproximadamente 1 cm acima da base das peneiras de 4,76 mm quando o conjunto estava em sua posição mais alta, não foi submergido por completo as peneiras de 4,76 mm em sua posição mais baixa. Após o tempo de repouso, a agitação ocorreu por 10 minutos, com 42 oscilações por minuto. O material retido em cada peneira após agitação foi transferido para latas de alumínio, previamente pesadas e identificadas, com auxílio de jatos de água. O excesso de água foi eliminado e os agregados foram secos em estufa de circulação de ar a 50 °C por 48 h.

O cálculo de percentagem de agregados foi realizado por classe de tamanho para as cinco classes e determinado diâmetro médio geométrico (DMG). Os resultados foram agrupados em duas classes de tamanho, a maior (1), com diâmetro de 8 a 4,76 mm e a menor (2), com diâmetro de 4,76 a 2 mm (COSTA JUNIOR et al., 2012). Os teores de carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP), carbono orgânico associado aos minerais (COAM), foram determinados nos macroagregados das classes 1 e 2. Os agregados foram moídos em gral de porcelana para determinação de carbono e nitrogênio nas classes 1 e 2.

5.3.1.1 Fracionamento físico do carbono

A determinação de carbono do solo das duas classes de agregados foi realizada por combustão seca, em analisador elementar TOC VCSH Shimadzu, em amostras moídas em gral de porcelana

O COP foi fracionado a partir da mistura de 20g de solo e 60 mL de hexametáfosfato de sódio (5g L⁻¹) (dispersão química do solo), com agitação horizontal por 16 horas e peneiramento em malha de 53µm, foi feita correção pela massa de areia nos teores de COP (CAMBARDELLA; ELLIOTT, 1992). Após a separação a fração particulada foi seca em

estufa a 50°C, e determinada em analisador elementar TOC VCSH Shimadzu. O COAM foi calculado pela diferença entre COT e COP, respectivamente.

5.4 AVALIAÇÃO DA PRODUTIVIDADE DO MILHO

A colheita de grãos de milho foi manual, recolhendo-se as espigas contidas em 2 fileiras com 2m de comprimento e 0,8m de largura entre fileiras. A seguir foi realizada a trilha manual, pesagem e secagem, determinando-se a massa dos grãos colhidos para o cálculo da produtividade de grãos por hectare com 13% de umidade (base úmida). A população de plantas foi determinada mediante a contagem do número de plantas contidas na área útil da parcela, no momento da colheita. Em virtude da pandemia os dados da avaliação de MS das plantas de coberturas foram prejudicados e não serão apresentados para estudo.

5.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados foram submetidos à análise de variância (teste F; $Pr < 0,05$), com teste de Tukey ($Pr < 0,05$) para comparação de fontes e análise de regressão polinomial para doses de fertilizantes.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 AGREGAÇÃO DO SOLO

Houve interação entre fertilizantes e doses para o diâmetro médio geométrico (DMG) para todas as camadas avaliadas. Na camada de 0-5 cm, o fertilizante composto apresentou melhor resultado para dose 75%, enquanto para doses 100 e 150% os fertilizantes cama e composto e cama se destacaram respectivamente (Tabela 3).

Tabela 3 - Diâmetro médio geométrico DMG (mm) de agregados de um Nitossolo Vermelho Distroférico típico, nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm após 7 anos de aplicação de tipos e doses de fertilizantes orgânicos e minerais.

Fertilizante	Recomendação de adubação (%)				Equação*
	0	75	100	150	
-----0-5 cm-----					
Cama	1,7	1,7 B	1,7 A	2,0 A	$\hat{y} = 1,78 - 0,003 * x + 3,307 * x^2$ R ² = 0,78
Dejeto	1,7	1,6 BC	1,5 B	1,7 B	$\hat{y} = 1,79 - 0,004 * x + 2,839 * x^2$ R ² = 0,65
M1	1,7	1,6 BC	1,5 B	1,5 D	$\hat{y} = 1,78 - 0,002 * x - 1,487 * x^2$ R ² = 0,87
M2	1,7	1,5 C	1,5 B	1,6 C	$\hat{y} = 1,78$
Composto	1,7	2,0 A	1,7 A	1,8 B	$\hat{y} = 1,80$
CV (%)	2,62				
-----5-10 cm-----					
Cama	1,6	1,6 B	1,7 BC	1,9 A	$\hat{y} = 1,68 - 0,002 * x + 2,473 * x^2$ R ² = 0,81
Dejeto	1,6	1,6 B	1,6 C	1,7 B	$\hat{y} = 1,68$
M1	1,6	1,9 A	1,7 AB	1,7 B	$\hat{y} = 1,70$
M2	1,6	1,7 B	1,7 AB	1,5 C	$\hat{y} = 1,67$
Composto	1,6	1,9 A	1,8 A	1,9 A	$\hat{y} = 1,69$
CV (%)	4,48				
-----10-20 cm-----					
Cama	1,6	1,7 A	1,6 B	1,8 A	$\hat{y} = 1,68 - 0,002 * x + 1,998 * x^2$ R ² = 0,64
Dejeto	1,6	1,6 B	1,6 B	1,7 B	$\hat{y} = 1,67$
M1	1,6	1,4 C	1,6 B	1,5 C	$\hat{y} = 1,66$
M2	1,6	1,6 B	1,3 C	1,5 C	$\hat{y} = 1,68$
Composto	1,6	1,7 A	1,7 A	1,7 B	$\hat{y} = 1,67$
CV (%)	4,32				

Médias seguidas de letras maiúsculas diferentes na coluna diferem pelo Teste de Tukey ($p \leq 0,05$). *Equações de regressão ($*p \leq 0,05$; $**p \leq 0,01$). Legenda – M1= fertilizante mineral 1, espelho do dejeto; M2= fertilizante mineral 2, espelho da cama de aves. Fonte: Elaborado pelo autor 2021.

Em profundidade para a camada de 5-10 cm na dose 75% os fertilizantes M1 e composto apresentaram os melhores resultados para o DMG, em relação a dose 100% foram os fertilizantes M1, M2 e composto e para 150% cama e composto foram os destaques. Para

camada mais profunda, composto e cama foram os fertilizantes que mostraram melhor resultado para doses 75, 100 e 150% respectivamente.

Em relação a dose aplicada os fertilizantes minerais foram semelhantes aos orgânicos apenas na camada de 5-10 cm nas doses 75% e 100%, na camada superficial e mais profunda, cama e compostos desempenharam aumento no DMG, demonstrando assim a importância dos fertilizantes orgânicos para estrutura do solo. O DMG é um importante indicador físico da qualidade do solo, assim, os fertilizantes orgânicos e minerais apresentaram resultados semelhantes nas três camadas avaliadas, para algumas doses os orgânicos aumentaram o DMG.

Os fertilizantes orgânicos oriundos de resíduos de animais (suínos e aves) podem proporcionar ao solo melhor estabilidade de agregados. No entanto, essa proporção depende de outros fatores como teor de argila do solo, manejo, clima e tipo de fertilizantes aplicado assim como sua composição química. Deste modo, o uso de resíduos de origem animal e vegetal demonstram ao longo do tempo, que os fertilizantes orgânicos podem manter ou aumentar a fertilidade do solo bem como melhorar a agregação do solo (GUO et al., 2019).

Em resposta as doses crescentes da recomendação de adubação, os fertilizantes cama, dejetos e M1 apresentaram resultados significativos para camada de 0-5 cm, onde mostraram comportamento quadrático crescente (cama e dejetos) e decrescente (M1), o dejetos aumentou o DMG a partir da dose 75% (Tabela 3).

Nas demais camadas apenas o fertilizante cama apresentou resultado significativo a resposta do aumento das doses de recomendação de adubação respectivamente. A cama apresentou um comportamento da curva para quadrático crescente, a qual aumentou a partir da dose 75%. Os fertilizantes cama, dejetos e composto responderam ao aumento das doses para recomendação de adubação quando se compara aos fertilizantes M1 e M2.

O uso de fertilizantes orgânicos na agricultura podem aumentar a agregação do solo assim como sua estrutura, pois, os compostos de origem animal e vegetal torna a prática de aplicação eficaz contra a degradação do solo, bem como confere uma maior resiliência ao solo, o que demonstra a importância dos fertilizantes orgânicos na estabilidade de agregados (ABDALLA et al., 2020).

Outro fator que afeta as propriedades físicas dos solo e conseqüentemente a agregação e DMG é a composição química dos fertilizantes orgânicos, de acordo com Barros et al. (2019) usando como base o esterco líquido de suínos com 3% de matéria seca, afirmaram que pode existir em sua composição 2,8 kg de N, 2,4 kg de P e 1,5 kg de K por m³, além de Ca e Mg dentre outros micronutrientes e que quanto maior for o teor de matéria seca dos dejetos,

maiores serão as concentrações desses nutrientes o que pode melhorar a estrutura física do solo e estabilidade de agregados.

Além disso, a relação C/N é um dos métodos que se avalia a capacidade de assimilação de N pelas plantas de um resíduo orgânico, deste modo, a relação C/N recomendada dos fertilizantes orgânicos deve estar entre 15 e 20, assim, valores superiores, pode gerar impactos negativos para o sistema solo-planta-atmosfera e a relação C/N é um indicativo do grau de humificação de materiais orgânicos o que também pode interferir nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (SILVA; LANDGRAF; REZENDE, 2013). Desta forma, os resíduos orgânicos apresentam papel importante na mineralização da MOS o que pode interferir de forma positiva ou negativa nos atributos do solo como a agregação (MANTOVANI et al., 2006; CARNEIRO et al., 2013; LORENSINI et al., 2014).

A mineralização de resíduos orgânicos de origem animal apresenta muitas questões que necessitam de mais estudos, pois a taxa de mineralização pode variar na função e forma que o N pode está presente nesses resíduos, pois, eles podem ser disponibilizado nas forma mais lábil e recalcitrante, o que interfere na sua distribuição no solo e para as plantas (BOEIRA; LIGO; DYNIA, 2002).

É importante ressaltar que os valores de DMG responderam positivamente ao aumento das doses para os fertilizantes orgânicos em todas as profundidades, o que pode ser atribuído pela presença de agregados maiores na camada superficial do solo, isso pode ser explicado pelo aumento de COT proporcionado pela aplicação dos fertilizantes orgânicos em comparação aos minerais que não apresentam em sua composição compostos orgânicos, de tal forma que pode afetar negativamente os índices de agregação do solo (MATOS et al., 2008).

A porcentagem de agregados do solo de tamanho de 8 a 4,76 mm (Classe 1) variou entre os tratamentos para todas as camadas avaliadas, com resposta positiva às doses na maioria dos tratamentos.

O M1 foi o fertilizante que mostrou maior porcentagem de agregados para dose 75% na camada de 0-5 cm, os fertilizantes orgânicos aumentaram a porcentagem de agregados quando comparados com os fertilizantes minerais nas doses 100 e 150%, o composto apresentou melhor agregação. Para camada 5-10 cm o dejetos e M2 na dose 75% apresentaram melhor resultado, nas doses 100 e 150% os fertilizantes orgânicos apresentaram resultados estatístico significativo, onde cama e dejetos desempenharam melhor aumento dos agregados. Na maior profundidade os fertilizantes cama, dejetos e cama aumentaram a distribuição dos agregados para todas as doses respectivamente (Tabela 4).

Tabela 4 - Agregados de 8 a 4,76 mm (%) de um Nitossolo Vermelho Distroférico típico, nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm após 7 anos de aplicação de tipos e doses de fertilizantes orgânicos e minerais.

Fertilizante	Recomendação de adubação (%)				Equação*
	0	75	100	150	
-----0-5 cm-----					
Cama	94,8	94,2 B	96,0 B	95,4 B	$\hat{y} = 94,65$
Dejeto	94,8	91,7 C	93,1 D	95,9 B	$\hat{y} = 94,70 - 0,0765 * x + 0,0006 * x^2$ R ² = 0,97
M1	94,8	95,8 A	94,5 C	91,2 D	$\hat{y} = 94,77 + 0,0472 * x - 0,0005 * x^2$ R ² = 0,98
M2	94,8	92,1 C	93,3 D	94,5 C	$\hat{y} = 94,69 - 0,0564 * x + 0,0004 * x^2$ R ² = 0,92
Composto	94,8	91,7 C	97,7 A	96,5 A	$\hat{y} = 94,43$
-----5-10 cm-----					
Cama	88,8	92,6 C	96,6 A	95,7 B	$\hat{y} = 88,70 + 0,0931 * x - 0,0003 * x^2$ R ² = 0,93
Dejeto	88,8	96,6 A	94,5 C	96,1 A	$\hat{y} = 88,05 + 0,1196 * x - 0,0005 * x^2$ R ² = 0,94
M1	88,8	90,4 D	86,8 E	92,8 D	$\hat{y} = 89,13$
M2	88,8	96,6 A	90,7 D	94,8 C	$\hat{y} = 89,25$
Composto	88,8	94,6 B	95,4 B	94,7 C	$\hat{y} = 88,86 + 0,1144 * x - 0,0005 * x^2$ R ² = 0,98
-----10-20 cm-----					
Cama	93,0	97,0 A	91,7 B	96,9 A	$\hat{y} = 93,38$
Dejeto	93,0	91,4 C	94,7 A	94,8 B	$\hat{y} = 92,88$
M1	93,0	88,6 D	88,5 D	87,9 D	$\hat{y} = 93,01 - 0,0766 * x + 0,0003 * x^2$ R ² = 0,97
M2	93,0	93,3 B	86,9 E	94,3 B	$\hat{y} = 1,68$
Composto	93,0	94,2 B	90,0 C	90,1 C	$\hat{y} = 93,70 - 0,0226 * x$ R ² = 0,65

Médias seguidas de letras maiúsculas diferentes na coluna diferem pelo Teste de Tukey ($p \leq 0,05$). *Equações de regressão (* $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$). Legenda – M1= fertilizante mineral 1, espelho do dejeto; M2= fertilizante mineral 2, espelho da cama de aves. Fonte: Elaborado pelo autor 2021.

Os resultados demonstram que o solo estudado apresenta uma boa estrutura natural, o que evidencia o importante papel da utilização dos fertilizantes orgânicos, os quais se destacaram nas maiores doses em comparação aos fertilizantes minerais, no entanto, para as camadas de 0-10 cm os fertilizantes minerais foram semelhantes aos orgânicos, principalmente para dose de 75% da recomendação de adubação.

Para a resposta as doses crescentes da recomendação de adubação na camada de 0-5 cm os fertilizantes, dejeto, M1 e M2 apresentaram resultados significativos ao aumento das doses. O dejeto aumentou a curva a partir da dose 75, deste modo, o comportamento da curva foi quadrática crescente, diferentemente para o fertilizante M1, a curva mostrou comportamento crescente na dose 75% e decaiu com o aumento das doses, assim sua curva foi quadrática decrescente, o M2 a partir da dose 100% apresentou comportamento quadrático crescente (Tabela 4).

Houve comportamento quadrático para a porcentagem de agregados de 8 a 4,76 mm conforme a dose aplicada dos fertilizantes, cama, dejetos e composto para camada de 5-10 cm, apresentaram aumento nas doses 75 e 100% e mostraram um leve decaimento para distribuição de agregados para dose 150% da recomendação de adubação. Na camada de 10-20 cm apenas o M1 e o composto apresentaram resultados significativos com diferenças no comportamento das curvas, no entanto, ambas as curvas desempenharam queda com o aumento das doses.

Estes resultados são concordantes com o relato de Chen et al. (2020), que avaliaram o efeito da aplicação de diferentes resíduos orgânicos na estabilidade de agregados por 9 anos, onde foi observado aumento na formação de agregados acima de 2 mm pela adição de palha de milho e dejetos de suínos em comparação ao uso de fertilizantes minerais.

O uso de fertilizantes orgânicos por longos períodos pode aumentar a agregação do solo, especialmente para formação de macroagregados, pelo fato de que a adição de compostos orgânicos via fertilizantes de origem orgânica aumenta o carbono orgânico do solo, que favorece a estruturação e formação dos agregados, o que ocasiona melhora na qualidade estrutural do solo (WANG et al., 2017).

Cada tipo de solo pode apresentar uma resposta ao uso de fertilizantes orgânicos, a qual pode ser positiva ou negativa, deste modo, os atributos de agregação podem apresentar resposta significativa à aplicação de fertilizantes minerais (TROLEIS et al., 2017; RIBEIRO et al., 2019). Na presente pesquisa foi evidenciado aumento na distribuição de agregados de 8 a 4,76 mm pela aplicação dos fertilizantes orgânicos principalmente com o aumento das doses de recomendação de adubação, os fertilizantes minerais também apresentaram resultados significativos nas camadas de 0-10 cm para dose de 75%.

Os resultados de Zou et al. (2018), corroboram os do presente estudo, os autores encontraram que o dejetos de suínos aumentou a porcentagem de agregados quando se comparou com o solo sem adubação. Além disso, o manejo adotado e o adubo orgânico aumentaram os agregados em profundidade, pois o uso de resíduo orgânico foi capaz de diminuir o processo de degradação dos agregados, assim protegendo os teores de C e N os quais foram maiores com a aplicação do fertilizante orgânico no solo. Deste modo, a alta porcentagem de agregados 8-4,76 mm representa que o solo possui boa qualidade estrutural.

Os resultados para os agregados do solo de 4,76 a 2 mm foram significativos em todas as profundidades. Na camada de 0-5 cm o tratamento M1 e cama obtiveram as menores porcentagens de agregados para dose 75% da recomendação de adubação, enquanto o composto, dejetos e M2 apresentaram maior proporção desses agregados. Na camada de 5-10

cm apenas o fertilizante mineral M1 apresentou resultado significativo para todas as doses, o mesmo resultado foi observado para camada de 10-20 cm, onde os fertilizantes minerais apresentaram melhores resultados (Tabela 5).

Tabela 5 - Agregados de 4,76 a 2 mm (%) de um Nitossolo Vermelho Distroférrico típico, nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm após 7 anos de aplicação de tipos e doses de fertilizantes orgânicos e minerais.

Fertilizante	Recomendação de adubação (%)				Equação*
	0	75	100	150	
-----0-5 cm-----					
Cama	4,3	5,8 B	3,9 C	4,5 C	$\hat{y} = 5,34$
Dejeto	4,3	8,3 A	6,8 A	4,1 C	$\hat{y} = 5,30 + 0,0765 * x - 0,0006 * x^2$ R ² = 0,97
M1	4,3	4,2 C	5,4 B	8,8 A	$\hat{y} = 5,22 - 0,0472 * x + 0,0005 * x^2$ R ² = 0,98
M2	4,3	7,9 A	6,7 A	5,5 B	$\hat{y} = 5,30 + 0,0564 * x - 0,0004 * x^2$ R ² = 0,93
Composto	4,3	8,3 A	2,3 D	3,5 D	$\hat{y} = 5,56$
-----5-10 cm-----					
Cama	11,2	7,4 B	3,4 E	4,3 C	$\hat{y} = 11,29 - 0,0931 * x + 0,0003 * x^2$ R ² = 0,93
Dejeto	11,2	3,4 D	5,5 C	3,9 D	$\hat{y} = 10,95 - 0,2296 * x + 0,0005 * x^2$ R ² = 0,94
M1	11,2	9,6 A	13,2 A	7,2 A	$\hat{y} = 10,86$
M2	11,2	3,4 D	9,3 B	5,2 B	$\hat{y} = 10,74$
Composto	11,2	5,5 C	4,6 D	5,3 B	$\hat{y} = 11,13 - 0,1144 * x + 0,0005 * x^2$ R ² = 0,98
-----10-20 cm-----					
Cama	7,0	3,0 D	8,3 D	3,1 D	$\hat{y} = 6,61$
Dejeto	7,0	8,6 B	5,3 E	5,2 C	$\hat{y} = 7,11$
M1	7,0	11,4 A	11,5 B	12,1 A	$\hat{y} = 6,99 + 0,0766 * x - 0,0003 * x^2$ R ² = 0,97
M2	7,0	6,7 C	13,1 A	5,7 C	$\hat{y} = 6,55$
Composto	7,0	5,8 C	10,0 C	9,9 B	$\hat{y} = 6,29 + 0,0226 * x$ R ² = 0,65

Médias seguidas de letras maiúsculas diferentes na coluna diferem pelo Teste de Tukey ($p \leq 0,05$). *Equações de regressão ($*p \leq 0,05$; $**p \leq 0,01$). Legenda – M1= fertilizante mineral 1, espelho do dejeto; M2= fertilizante mineral 2, espelho da cama de aves. Fonte: Elaborado pelo autor 2021.

Os fertilizantes dejeto, M1 e M2 mostraram resultado significativo a resposta do aumento das doses crescentes da recomendação de adubação para camada de 0-5 cm. O dejeto apresentou elevação da curva até dose 75% e decaiu de forma significativa com o aumento das doses resultado semelhante para o fertilizante M2 que apresentou comportamento quadrático decrescente. O comportamento da curva do M1 foi quadrático crescente a partir da dose 75%.

A porcentagem de agregados de 4,76 a 2 mm respondeu significativamente ao aumento das doses apenas para cama, dejeto e composto na camada de 5-10 cm, todos

apresentaram queda acentuada e elevaram a curva a partir da dose 100%, o comportamento da curva foi quadrático crescente. A última camada avaliada apenas o M1 e o composto apresentaram resultado significativo para o aumento das doses (Tabela 5).

Estes resultados demonstram a importância da aplicação de fertilizantes orgânicos e minerais. Para os atributos físicos do solo, mesmo o solo naturalmente estruturado como pode ser visto através do tratamento que não recebeu adubação em todas as camadas avaliadas, os fertilizantes orgânicos e minerais proporcionaram boa agregação para o solo.

Deste modo, pesquisas mostram a importância do uso de resíduos orgânicos nos atributos físicos do solo. Chen et al. (2019) avaliaram o efeito do uso de diferentes fertilizantes orgânicos e mineral e rotação de cultura na distribuição de agregados e conteúdo de carbono e nitrogênio, os autores encontraram que a rotação de culturas ao longo de mais de 10 anos afetou significativamente o DMG em profundidade, o uso dos fertilizantes orgânicos aumentou a proporção de agregados <4 mm e com isso diminuiu a presença de agregados de >4 mm do solo, assim houve melhor proteção do conteúdo de carbono e nitrogênio no interior dos agregados respectivamente.

A proporção de agregados de 4,76 a 2 mm (Classe 2) representou mais de 4% dos agregados do solo, em virtude da alta concentração de agregados de 8 a 4,76 mm na peneira de maior malha, porém, mesmo com a expressiva diminuição do tamanho dos agregados na classe 2, a mesma foi significativa em comparação as classes que apresentaram menor malha de abertura e os fertilizantes orgânicos e minerais desempenharam resultados importantes para presença desses agregados.

Os tratamentos que receberam adubação com os fertilizantes orgânicos e minerais proporcionaram boa porcentagem de macroagregados nessa classe, sinalizando que o solo no presente estudo respondeu positivamente a adubação de resíduos orgânicos, apresentando assim boa qualidade estrutural.

Em estudo avaliando o efeito da aplicação continuada de fertilizantes orgânicos e minerais nos agregados estáveis em água, Ozlu; Kumar (2018) encontraram que a aplicação do resíduo orgânico aumentou a agregação do solo, proporcionando a formação de agregados maiores que 2 mm, enquanto o mineral diminuiu essa tendência. Este estudo corrobora os resultados encontrados nesta pesquisa, onde mostra a importância do uso de resíduos orgânicos como alternativa para ajudar na melhoria dos indicadores de qualidade física do solo.

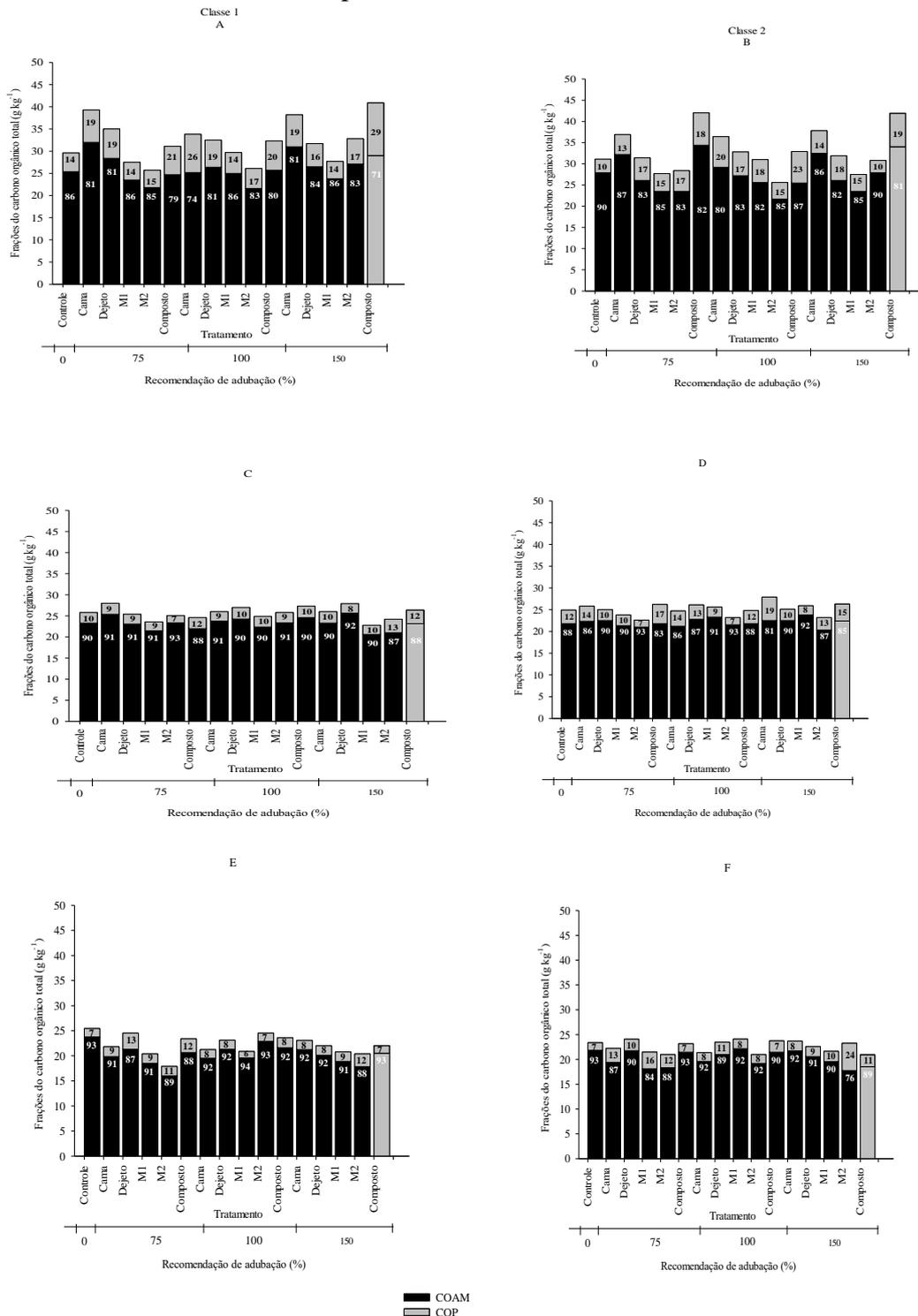
Resultados diferente foram encontrados por Ferreira et al. (2021) em estudo avaliando os efeitos dos fertilizantes minerais e da fertilização de resíduos de animais nos índices de

agregação do solo e nos atributos químicos e físicos dos agregados sob sistema de plantio direto, os autores encontraram que o uso dos fertilizantes orgânicos combinado ou não com a fertilização mineral, aumentou o teor carbono e nitrogênio nos agregados. Porém, não apresentou eficiência para os atributos físicos do solo, uma vez que houve redução nos índices de agregação do solo, evidenciado principalmente na camada de 5-10 cm. Esse resultado foi observado para todos os todos os tratamentos. Os autores concluem que a adubação orgânica não foi suficiente para melhorar os atributos físicos do solo ao longo de 4 anos.

6.2 CARBONO ORGÂNICO NAS CLASSES DE AGREGADOS

A proporção das frações do COT demonstrou que o COAM/COT foi predominante em comparação a COP nas duas classes de agregados avaliadas (Figura 7).

Figura 7 - Proporção das frações de carbono orgânico total (g kg^{-1}) nas classes 1 (8-4,76 mm) e 2 (4,76-2 mm) em resposta a aplicação de fertilizantes orgânicos e minerais em Nitossolo Vermelho distroférico típico. A/B=0-5 cm, C/D=5-10 cm e E/F=10-20 cm.



Legenda: Cama de aves, dejetos líquidos suínos – M1= fertilizante mineral espelho do dejetos; M2= fertilizante mineral, espelho da cama de aves, composto de dejetos líquidos suínos. Fonte: Elaborado pelo autor 2022.

Na camada de 0-5 cm na classe 1 (Figura 7A), os fertilizantes orgânicos aumentaram o teor da fração lábil do COT em todas as doses, enquanto os fertilizantes minerais aumentaram o teor da fração estabilizada para todas as doses, o composto propiciou maior teor de COP na dose 75% nas doses 100 e 150% foram cama e composto respectivamente.

Na classe 2 para mesma camada (Figura 7B) os fertilizantes cama e composto aumentaram o teor de COAM nas doses 75 e 100%, para maior dose, o fertilizante mineral M2 aumentou a fração COAM/COT. O composto aumentou teor de COP/COT em todas as doses da recomendação de adubação. Na camada de 5-10 cm, o teor de COP/COT foi maior na classe 2 (Figura 7D), com destaque para o fertilizante cama que apresentou maior teor da fração lábil na dose 150%.

Para camada de 10-20 cm foi observado resultado semelhante, no entanto, o fertilizante mineral M2 apresentou o maior teor de COP/COAM para maior dose na classe 2 (Figura 7F). Deste modo, as frações de COT foram maiores nos agregados que ficaram retidos na peneira de maior diâmetro da classe 1.

A proporção dos agregados para classe 1 foi em média de 93,09% e para classe 2, 6,47%, essa alta distribuição para classe de maior diâmetro mostra a importância da boa estrutura do solo, o que pode ter influenciado os teores das frações de COT do solo para os agregados de 8 a 4,76mm, no entanto o uso de fertilizantes orgânicos e minerais também contribuíram para o aumento das frações de COT.

Entretanto, os teores de carbono nos agregados não dependem apenas do seu tamanho, existem outros fatores, como textura, minerais do solo, manejo, atividade microbiana e formação e distribuição dos agregados. No presente estudo o alto teor de argila pode ter contribuído para boa formação dos agregados da classe 1, assim como para o maior conteúdo das frações de COT, solos com texturas argilosas tendem a aumentar os teores de carbono, o que interfere na formação dos agregados e conseqüentemente na proteção do carbono (DEGRYZE et al., 2004; WANG et al., 2021).

A proteção física do carbono é outro fator que pode explicar os maiores teores das frações de COT na classe 1, a avaliação das frações de COT associado aos agregados é uma das possíveis formas de estudar essa dinâmica. O carbono orgânico do solo que mantém os macroagregados unidos é menos humificado, ou seja, mais lábil, o que pode tornar a

manutenção dos teores dependentes da adição constante de resíduos orgânicos ao solo (PUGET; CHENU; BALESSENT, 2000).

Em regiões tropicais, a decomposição do carbono da fração mais grosseira é superior em comparação a da fração <0,05 mm, o que pode representar aproximadamente 80% do COT do solo. Além desses aspectos, os teores de óxidos podem atuar como o principal agente de estabilização de C em agregados, os agregados da classe 1 podem ter sido estruturas efetivas na proteção física das frações de COT contra o acesso dos microrganismos no seu interior (TISDALL; OADES, 1982b).

Outro fator importante é que a proteção física da matéria orgânica no interior de microagregados é menor, pois nesses tipos de agregados há o predomínio de minerais de argila e óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, que são responsáveis pela forte interação com o húmus e que, mesmo com a quebra do agregado, a mineralização do C não aumenta (PILLON; MIELNICZUK; MARTIN NETO, 2002). Deste modo, os agregados maiores são mais efetivos em proteger as frações de COT, o que pode explicar os teores dessas frações na classe 1.

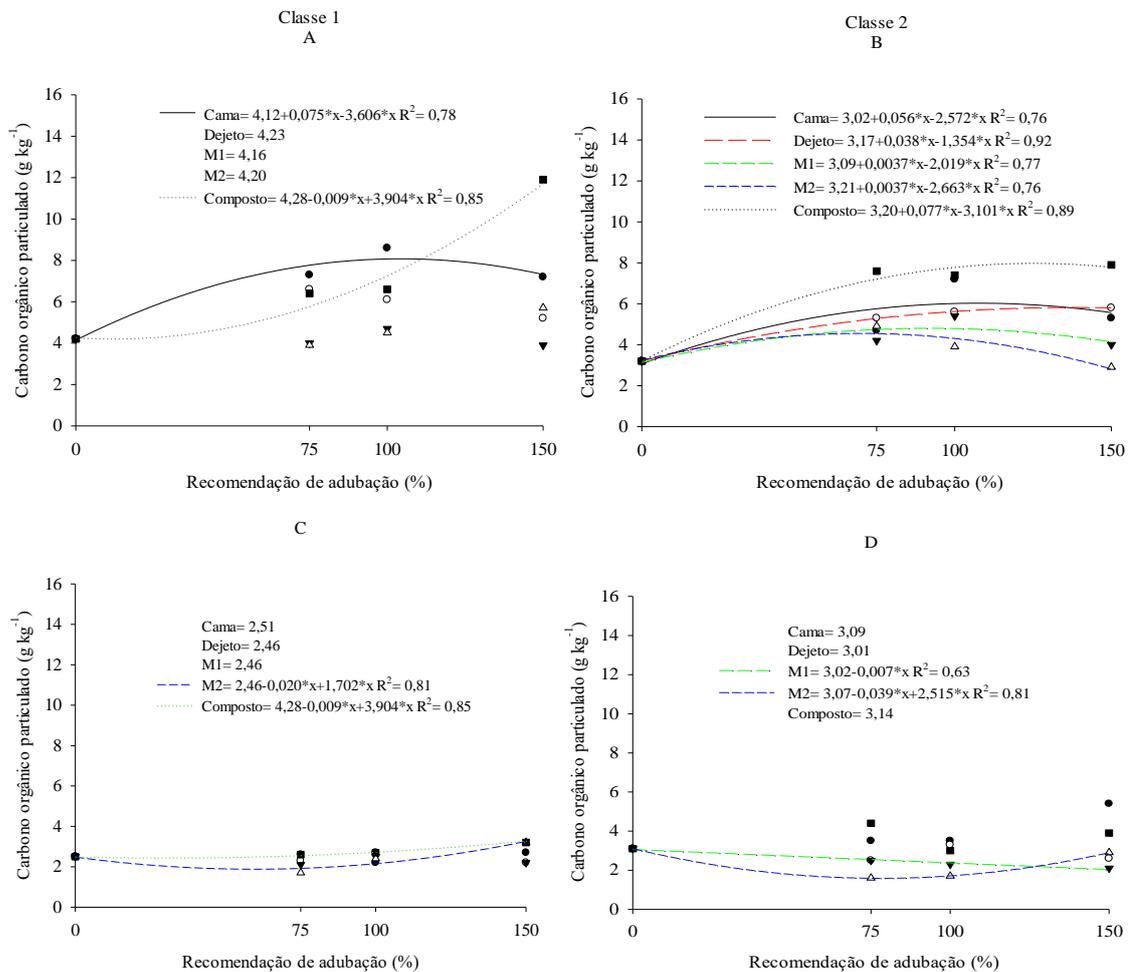
Portanto a proteção física do carbono apresenta uma inacessibilidade para os microrganismos decompositores, isso ocorre pela influência da agregação do solo, pelo fato da formação de uma barreira que impede os organismos de acessar as frações de COT no interior do agregado (SIX; ELLIOTT; PAUSTIAN, 2000; TRIVEDI et al., 2017; ZHAO et al., 2018). Deste modo, a formação de agregado no solo pode apresentar teor de carbono maior com o aumento da classe do agregado e que o carbono lábil e mais recente é encontrado em maiores quantidades nos macroagregados do que em microagregados (ELLIOTT, 1986).

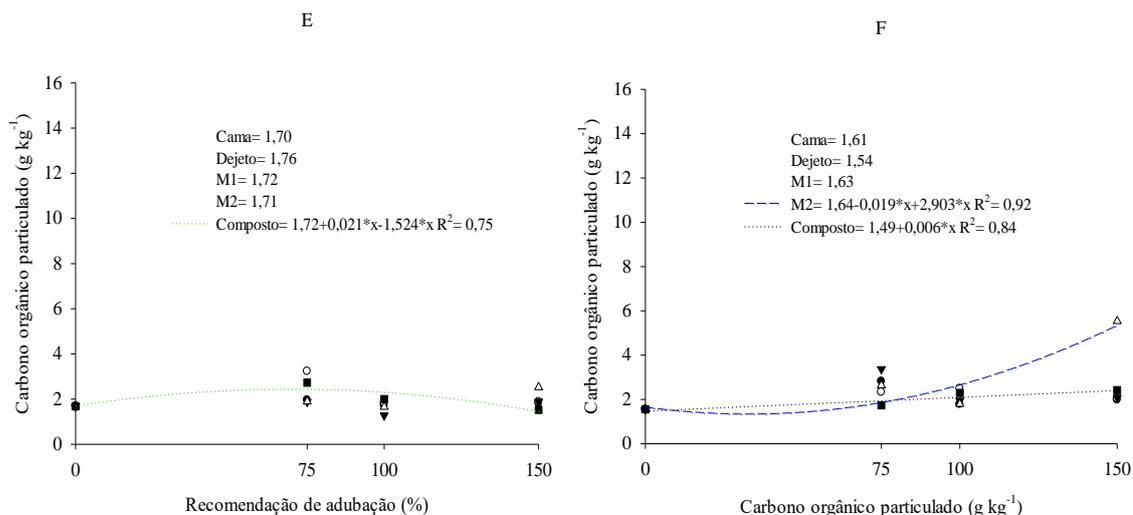
Além disso, a proteção física da matéria orgânica é considerada um importante mecanismo de estabilização e acúmulo de C, segundo Conceição et al. (2008), a proteção física foi responsável por acumular 54% do C total em um Argissolo e 23% em um Latossolo Vermelho, e demonstrou que este mecanismo é importante para o acúmulo da matéria orgânica em solos, os resultados também demonstraram que 65% do C no Latossolo se encontra na fração associada aos mineiras, possivelmente pela forte interação química dos óxidos com a fração orgânica, sendo este mecanismo o principal responsável pela estabilização da MOS para este solo (OADES; WATERS, 1991).

Assim, a aplicação de resíduos orgânicos no solo se torna importante como alternativa para melhorar a estrutura do solo, pois pode influenciar e aprimorar a agregação e com isso elevar os teores de carbono orgânico quando comparado ao controle sem adubação e aos fertilizantes minerais (FEI et al., 2021).

Em resposta as doses crescentes, para classe 1 na camada de 0-5 cm apenas cama e composto apresentaram resultados significativos para a fração COP, a cama mostrou ajuste quadrático decrescente a partir da dose 100%, resultado inverso para o composto, onde o ajuste foi quadrático crescente a partir da dose 75% (Figura 8A).

Figura 8 - Carbono orgânico particulado (g kg^{-1}) de agregados da classe 1 (8-4,76 mm) e 2 (4,76-2 mm) de um Nitossolo Vermelho Distroférrico típico em resposta à aplicação de doses crescentes de fertilizantes orgânicos e minerais. A/B=0-5 cm, C/D=5-10 cm, E/F= 10-20 cm.





M1= fertilizante mineral 1 espelho do dejetto líquido suíno. M2= fertilizante mineral 2 espelho da cama de aves. Equações de regressão (* $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$). Fonte: Autor, 2021.

Na classe 2 todos os fertilizantes responderam significativamente a elevação das doses para a fração COP. Os fertilizantes orgânicos cama, dejetto e composto apresentaram ajuste quadrático decrescente iniciando pela dose 75%, o que mostrou que houve diminuição das frações de COT para elevação das doses. Os fertilizantes minerais, M1 e M2 também apresentaram o mesmo comportamento, no entanto, a partir da dose 100% (Figura 8B).

Houve efeito significativo de 4,12 g kg⁻¹ de COP em resposta as doses crescentes para classe 1 principalmente pelo fertilizante composto. Para camada de 5-10 cm apenas o fertilizante mineral M2 e composto demonstrou resultado significativo com comportamento quadrático crescente na classe 1 (Figura 8C), e para classe 2 foram os fertilizantes minerais M1 e M2 que apresentaram resposta quadrática e linear iniciando pela dose 75% (Figura 8D).

Para última camada nas classes 1 e 2 os fertilizantes composto, M1 e composto apresentaram aumento dos teores de COP com ajuste quadrático decrescente decaindo pela dose 100% e quadrático e linear crescente a partir da dose 75% (Figura 8E/F).

O maior teor da fração COP ocorreu na camada superficial 0-5 cm na classe 1. Deste modo, é possível observar que a concentração de agregados nessa classe explica que o maior o tamanho destes na camada de 0-5 cm de profundidade após a aplicação dos fertilizantes orgânicos, ofereceram maiores armazenamento e proteção nos teores de COP (SIX; ELLIOTT; PAUSTIAN, 1999; MUSTAFA et al., 2021a).

Os agregados da classe 2 apresentaram menor teor de COP em relação a classe 1, o fertilizante mineral M2 apresentou maior perda de COP com a elevação das doses na camada de 0-5 cm. Resultado semelhante foi observado por Mustafa et al. (2021), os autores

encontraram maiores concentrações de COP nos tratamentos com aplicação de fertilizantes orgânicos em comparação ao uso de fertilizantes minerais e sem adubação em agregados ≥ 2 mm que ofereceram proteção intragregados da fração particulada do COT em estudo com mais de 28 anos de duração com diferentes aplicações de fertilizantes orgânicos e minerais, mostrando assim, que fertilizantes orgânicos com resíduos de animais e vegetais podem aumentar as frações de carbono orgânico do solo.

É importante ressaltar que solos que recebem a aplicação de fertilizantes orgânicos podem melhorar ou não suas características físicas como no caso da agregação e que os atributos físicos como a textura são de suma relevância, uma vez que influenciam na concentração das frações do COT, um solo com textura mais argilosa como é o caso do presente estudo, tende a apresentar fração mais estabilizada da matéria orgânica.

Segundo afirma Annuar et al. (2021) os compostos orgânicos oriundos dos fertilizantes de origem animal podem ficar quimicamente protegidos em ligação com a argila e formam frações de carbono mais estabilizada, pela relação com a fração mais humificada da matéria orgânica do solo, a qual está ligado com maior estabilidade química, pela interação forte com a fração mineral do solo, e física, pela proteção no interior dos agregados, evidenciando importância da formação e distribuição dos agregados (COURTIER-MURIAS et al., 2013; PINHEIRO JUNIOR et al., 2021).

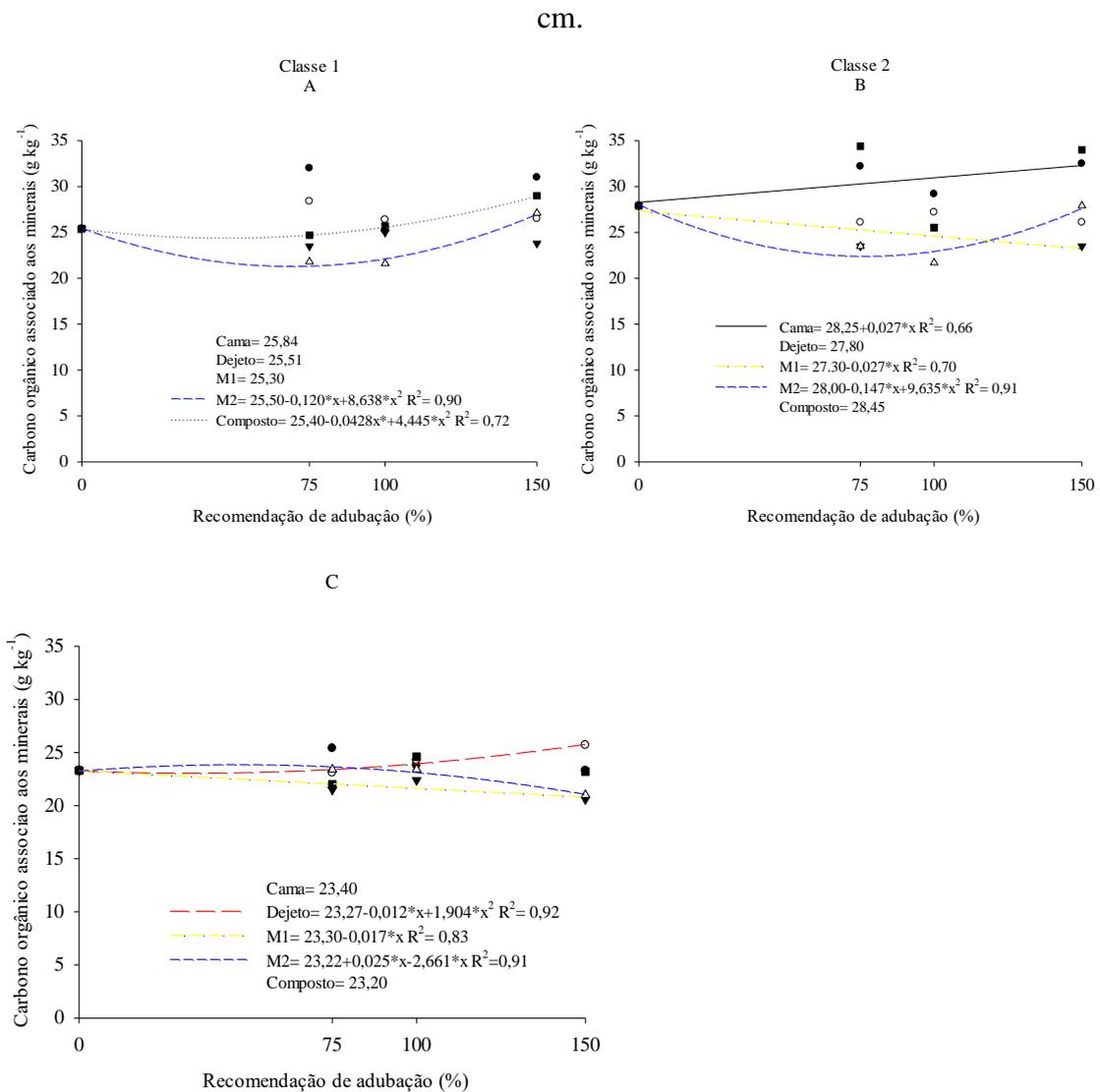
Portanto, é interessante destacar a importância do estudo da agregação bem como do fracionamento físico da matéria orgânico do solo, pois, segundo Degryze et al. (2004) e Six; Elliott; Paustian, (2000) há todo um processo para compreender como os compartimentos dos agregados influenciam na disposição das frações do carbono orgânico total do solo. Deste modo os agregados na classe 1 (8-4,76 mm), representaram menor acesso dos microrganismos que degradam o carbono, assim, oferecendo proteção física para estabilização da matéria orgânica do solo, dificultando assim a perda de C do solo para atmosfera (BARRETO et al., 2009).

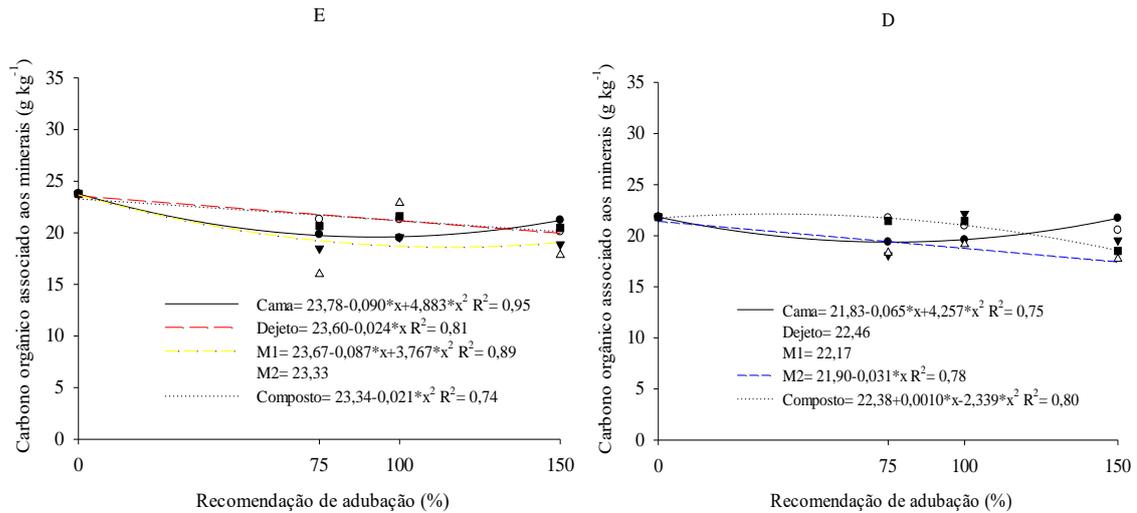
Esses resultados demonstram ainda mais a importância da boa estruturação do solo bem como ótima estabilidade de agregados nas camadas iniciais do solo, o que foi encontrado também para classe 2 deste estudo, o que reforça que a presença média de 4 a 5% de agregados de 4,76-2 mm desempenha importante papel no armazenamento do carbono orgânico do total do solo e suas frações.

Para fração COAM do COT na camada de 0-5 cm para classe 1 (Figura 9A) o fertilizante mineral M2 e o fertilizante orgânico composto foram os únicos que apresentaram resultados significativos ao aumento das doses crescentes, demonstrando ajuste da curva

quadrática a partir da dose 75% a qual foi crescente, para classe 2 o fertilizante orgânico cama mostrou resultado significativo com ajuste da curva para linear crescente, seguidos pelos fertilizantes minerais M1 e M2 com comportamento das curvas para linear decrescente e quadrático crescente na dose 100% (Figura 9B).

Figura 9 - Carbono orgânico associado aos minerais (g kg^{-1}) de agregados da classe 1 (8-4,76 mm) e 2 (4,76-2 mm) de um Nitossolo Vermelho Distroférico típico em resposta à aplicação de doses crescentes de fertilizantes orgânicos e minerais. A/B=0-5 cm, C/D=5-10, E/F= 10-20





M1= fertilizante mineral 1 espelho do dejeito líquido suíno. M2= fertilizante mineral 2 espelho da cama de aves. Equações de regressão (* $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$). Fonte: Autor, 2021.

Na camada de 5-10 cm apenas a classe 1 demonstrou resultado significativo ao aumento das doses de recomendação de adubação, dejeito apresentou comportamento quadrático crescente a partir da dose 100%, diferentemente do fertilizante mineral M1 que demonstrou comportamento contrário, com ajuste da curva para linear decrescente e M2 com ajuste para quadrático decrescente na dose 100% (Figura 9C).

Para última camada na classe 1 (Figura 9E) a cama mostrou ajuste da curva quadrática a partir da dose 100%, enquanto dejeito e composto apresentaram comportamento da curva para linear decrescente respectivamente. Na classe 2 foi possível observar o comportamento da curva para os fertilizantes orgânicos cama aumento da fração do COAM ao aumento das doses e composto resultado contrário, assim como para o mineral M2 que diminuiu a concentração de COAM em resposta as doses crescentes da recomendação de adubação (Figura 9F).

Os fertilizantes orgânicos e minerais apresentaram resultados significativos para as duas classes avaliadas, principalmente para camada superficial, mostrando que são ótimos incrementadores de carbono no solo e também como agentes condicionadores do solo melhorando seus atributos físicos, químicos e biológicos, com destaque principalmente para a estrutura do solo como a estabilidade de agregados, que dentro das suas características de formação desempenham papel de destaque no armazenamento e proteção das frações de carbono orgânico do solo no presente estudo (FERREIRA et al., 2021).

Portanto, é importante destacar o papel que os agregados desempenham na proteção da fração COAM do COT e na sua manutenção e estabilidade no solo. Os altos teores de COAM

podem ser atribuídos as interações que ocorrem pela forte ligação entre parte mineral do solo e compostos orgânicos da aplicação dos fertilizantes orgânicos que são ocasionadas pela forte interação química entre ambos, o que pode explicar o mecanismo de estabilização do COAM, para o presente estudo e sua alta concentração nos agregados da classe 1 relacionado com o alto teor de argila do Nitossolo (OADES; WATERS, 1991).

Na classe 2 a fração COAM foi menor em relação a primeira, mesmo não havendo comparação entre as duas, essa classe apresentou resultados significativos, que pode ser explicados pela formação e distribuição dos agregados do solo, segundo Elliott (1986), os agregados maiores de 8-4,76 mm do presente trabalho, apresentam maior conteúdo de matéria orgânica lábil, que pode ser perdida facilmente quando o solo é manejado, em comparação aos agregados de menor tamanho como os de 4,76-2 mm, desta forma os teores de carbono orgânico aumentam à medida que aumenta a classe do agregado,

Deste modo, o COAM é um importante indicador da qualidade do carbono mais estabilizado nos solos das regiões tropicais e subtropicais. Outro fator importante para explicar o alto teor de COAM é pelo fato que esse tipo de carbono orgânico é mais resistente biodegradação, ocasionado principalmente pelos complexos organominerais que são gerados pela composição mineralógica do solo esses complexos são responsáveis por aumentar a proteção de grupos funcionais mais recalcitrantes a longo prazo, com isso ocorre uma maior proteção e preservação do COAM no solo aumentando assim o sequestro de carbono do solo.

Os resultados para as frações COAM, tanto para classe 1 e classe 2, demonstram que essa fração do COT foi predominante no solo, os fertilizantes orgânicos e minerais apresentaram resultados significativos para o incremento dessa fração, no entanto é importante ressaltar que a boa estrutura do solo foi importante para uma boa agregação do mesmo, isso mostra a importância do uso de fertilizantes orgânicos e minerais para o aumento do carbono orgânico do solo.

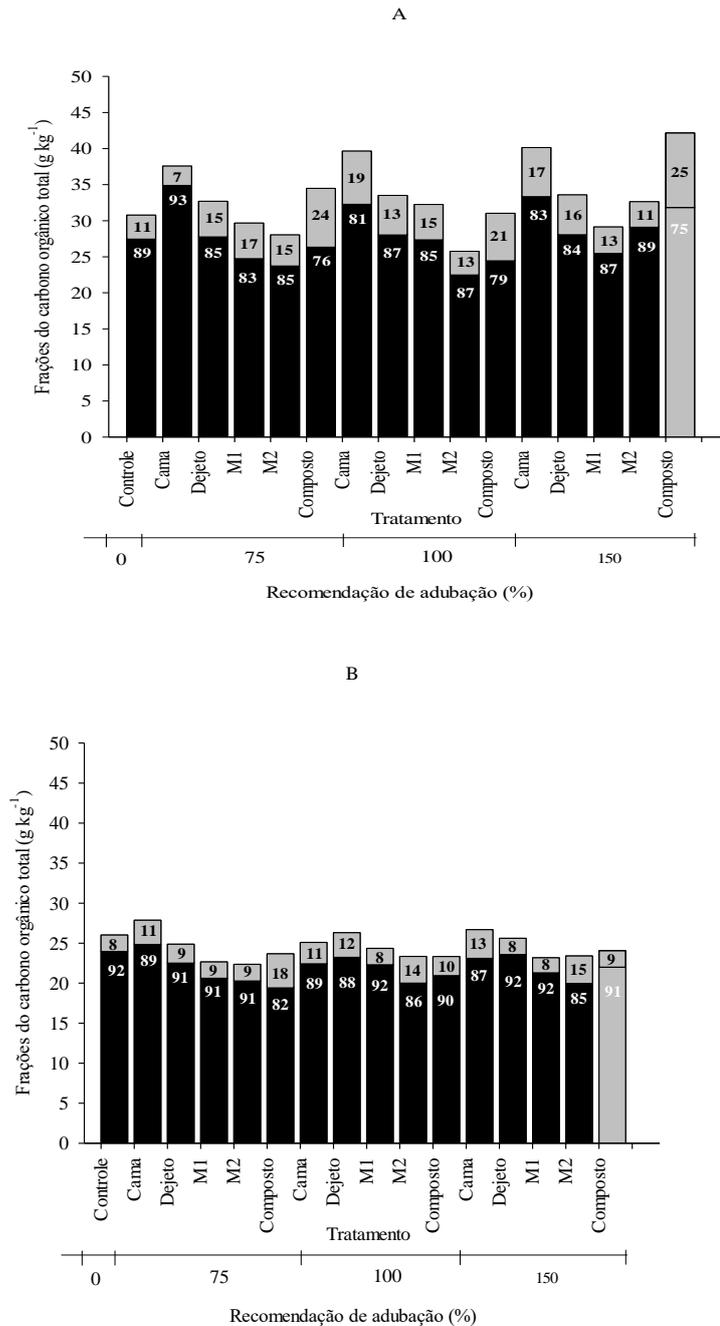
6.3 CARBONO ORGÂNICO DO SOLO

O COAM foi a fração mais representativa do COT para todas as doses e camadas avaliadas, o fertilizante orgânico composto apresentou os maiores teores da fração COP em todas doses da recomendação de adubação na camada superficial (Figura 10A).

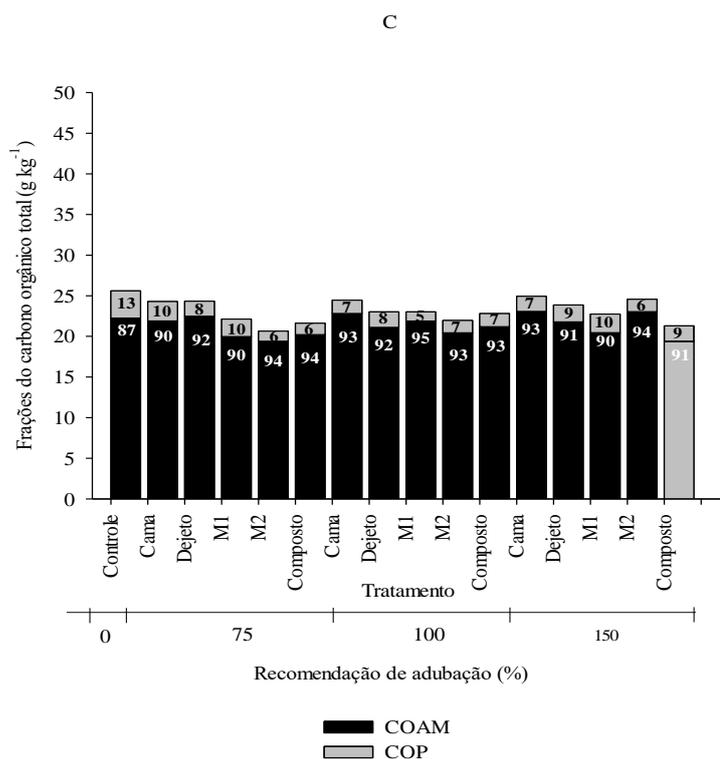
O fertilizante orgânico cama apresentou maior teor de COAM na dose 75%, o dejetos e M2 na dose 100% e M2 na dose 150% elevaram as frações de COAM/COT na TFSA para mesma camada. Com o aumento da profundidade as frações do COT diminuíram, para as doses 75, 100 e 150%, o fertilizante M1, dejetos, cama e composto apresentaram os melhores

teores de COAM, enquanto para o COP o composto e M2 que desempenharam melhor incremento dessa fração para camada de 5-10 cm (Figura 10B).

Figura 10 - Teor de carbono orgânico total (g kg^{-1}) na TFSA de um Nitossolo Vermelho Distroférico típico, nas camadas de 0-5 (A), 5-10 (B) e 10-20 cm após sete anos de aplicação dos fertilizantes orgânicos e minerais¹.



¹ Cama de aves, dejeto líquido suínos – M1= fertilizante mineral espelho do dejeto; M2= fertilizante mineral, espelho da cama de aves, composto de dejeto líquido suínos.



Elaborado pelo autor (2021).

Na camada de 10-20 cm os fertilizantes minerais apresentaram maior teor da fração COAM/COT em todas as doses seguido do fertilizante orgânico composto na dose 75% (Figura 10C). Esse resultado mostra o efeito dos fertilizantes para as frações do COT. O uso dos fertilizantes orgânicos aumentou principalmente o teor da fração particulada do COT em comparação com os fertilizantes minerais, principalmente na camada mais superficial do solo, mostrando assim o importante papel da utilização dos fertilizantes orgânicos.

A aplicação no solo de adubos orgânicos aumenta as concentrações de carbono orgânico do solo, os resíduos de origem animal apresentam na sua composição C, deste modo, ocorre a adição de forma direta de C no solo, além disso, o uso de fertilizantes orgânicos e minerais contribuem para melhorar os atributos físicos, químicos e biológicos do solo, o que apresenta maior biomassa para as culturas, melhorando assim adição de C pelos restos vegetais no solo (MUSTAFA et al., 2022b).

O aumento das frações do COT pela aplicação de forma direta do fertilizante orgânico na camada superficial pode ser justificado pelo aporte de carbono e pela liberação de outros nutrientes para as plantas. Além disso, a composição inorgânica dos fertilizantes minerais, pode explicar a diferença nos teores das frações do COT, o que atribui um importante papel da aplicação dos orgânicos para o solo estudado. (LI et al., 2017). Estes resultados indicam

que o teor de COT do solo aumentou na camada superficial em resposta da aplicação dos diferentes fertilizantes orgânicos e minerais.

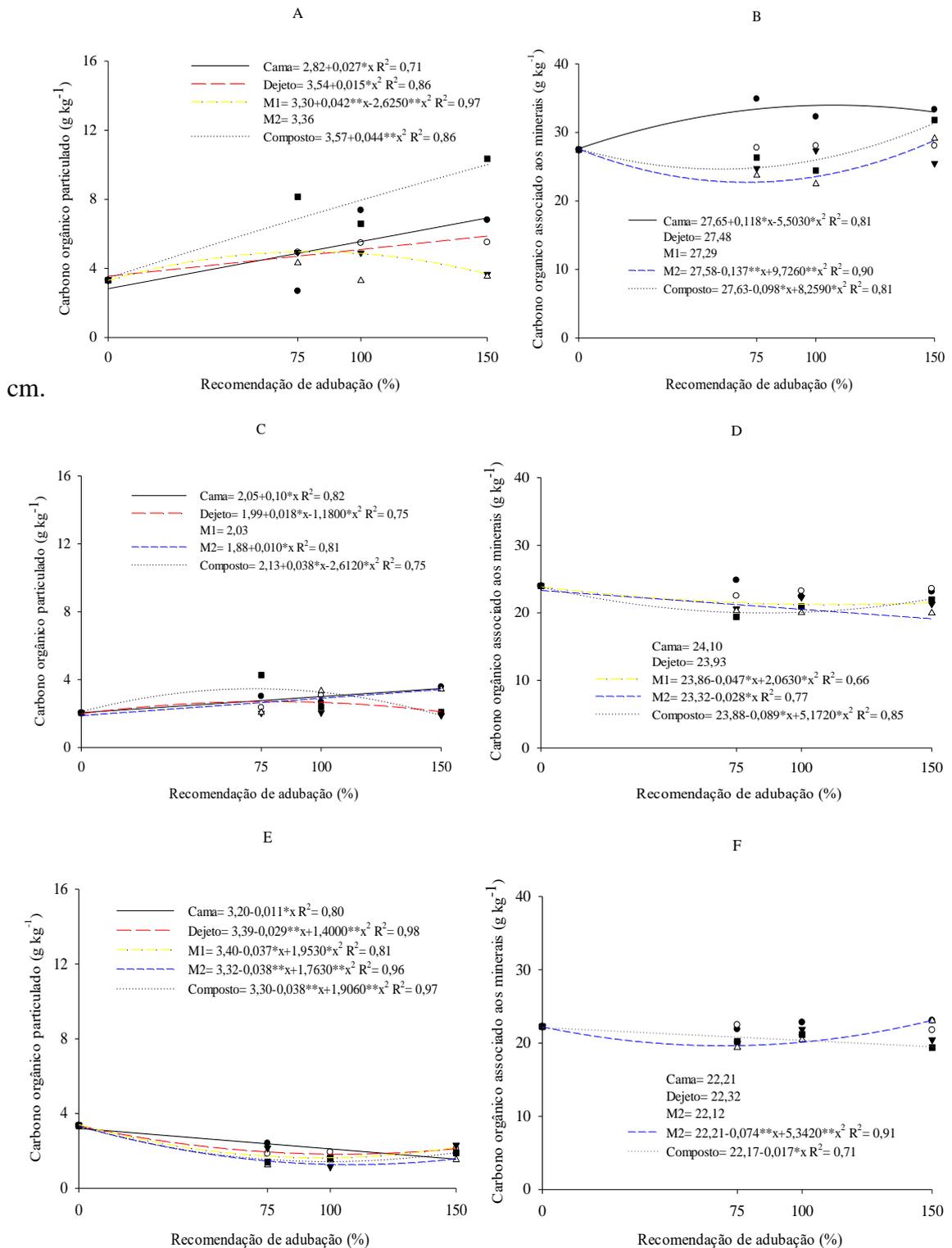
Outro fator importante para o aumento do carbono na camada superficial pode estar relacionado com a concentração de raízes nessa camada e pela implantação da ILP por ser um sistema conservacionista, que promove a entrada de resíduo vegetal através da utilização de pastagens e outras culturas no sistema produtivo, apresentando bons resultados para os atributos físicos do solo pela inclusão de espécies com diferentes sistemas radiculares melhorando a estrutura do solo como porosidade, aeração e estabilidade agregados (COSTA et al., 2015). Segundo Almeida et al. (2014) a concentração de raízes na camada superficial do solo, estimula a atividade dos microrganismos, aumentando a presença de agentes cimentantes nessa camada, desempenhando papel importante na formação e estabilização de agregados do solo e proteção do carbono orgânico do solo.

De acordo com Brandão; Silva (2012) as gramíneas participam do processo de formação e estabilização de agregados do solo de maneira direta, isso ocorre pela maior densidade de raízes e liberação de exsudatos orgânicos no solo, além disso as raízes aceleram a agregação, pelo fato de liberar exsudatos orgânicos que auxiliam na energia para a atividade microbiana, assim como na atuação de aproximação das partículas minerais pelas pressões exercidas durante seu crescimento e na absorção de água, favorecendo a coesão entre as partículas do solo, ainda segundo os autores as gramíneas colaboram para o processo de união de agregados menores para a formação de agregados maiores e sequestro de carbono.

A implantação de um sistema de integração conservacionista aliado com a aplicação de fertilizantes orgânicos e minerais proporcionam uma boa estrutura do solo, assim como uma boa estabilidade de agregados, isso demonstra que a aplicação dos fertilizantes estabiliza os maiores agregados nas camadas superficiais, deste, e melhora as concentrações de carbono orgânico do solo.

Em resposta as doses crescentes da recomendação de adubação, cama apresentou ajuste da curva para linear crescente assim como dejetos e composto, diferente do fertilizante mineral, que mostrou ajuste da curva quadrática decrescente iniciando essa resposta a partir da dose 100%, ou seja, houve um decréscimo da fração COP do COT na camada de 0-5 cm (Figura 11A). Para fração COAM do COT apenas cama, M2 e composto apresentaram ajustes significativos das curvas, a cama apresentou sua maior elevação até dose 100% decaindo em seguida com a elevação da maior dose, resultado inverso para os fertilizantes M2 e composto (Figura 11B).

Figura 11 - Frações do Carbono orgânico total (COT) (g kg^{-1}) de um Nitossolo Vermelho Distroférico típico em resposta à aplicação de doses crescentes de fertilizantes orgânicos e minerais. A/B=0-5 cm, C/D=5-10 cm, E/F=10



M1= fertilizante mineral 1 espelho do dejeito líquido suíno. M2= fertilizante mineral 2 espelho da cama de aves. Equações de regressão (* $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$). Fonte: Autor, 2021.

Para camada de 5-10 cm a cama e M2 apresentaram ajuste linear crescente diferente dos fertilizantes dejetado e composto, ambos apresentaram melhor ajuste da curva na dose 75% para fração COP (Figura 11C). A fração COAM teve aumento em resposta as doses crescentes para os fertilizantes M1 e composto, com melhor ajuste para dose 150%, enquanto que M1 apresentou decréscimo dessa fração (Figura 11D).

Na ultima camada, todos os fertilizantes apresentaram resultados significativos ao aumento das doses para fração COP do COT, os fertilizantes orgânicos cama, dejetado e composto mostraram resposta linear decrescente e quadrático decrescente com aumento da fração na dose 150% (Figura 11E). O COAM apenas o M2 aumentou essa fração com a elevação das doses de recomendação de adubação (Figura 11F).

Foi possível observar que o teor das frações de COT respondeu positivamente a elevação das doses e que os fertilizantes orgânicos cama e compostos apresentaram resultados significativos ao aumento dos teores de carbono do solo, na camada superficial. O aporte de carbono ao solo com aplicação dos fertilizantes orgânicos e minerais incrementou os teores das frações de COT na camada de 0-5 cm, principalmente nas doses 100 e 150%.

Resultado semelhante foi encontrado por Mustafa et al. (2022) em estudo avaliando o efeito da aplicação de fertilizantes orgânicos e minerais a longo prazo, o aumento das doses dos fertilizantes orgânicos proporcionaram os maiores teores de carbono orgânico do solo, esse resultado foi associado com a adição de C via fertilizantes orgânicos.

Em outro estudo que também avaliou o papel da fertilização orgânica e mineral no conteúdo de carbono orgânico, Ashraf et al. (2020) encontraram resultados semelhante aos observados neste estudo, onde os teores de carbono orgânico do solo aumentaram em função da elevação das doses pela aplicação de fertilizantes orgânicos de origem animal, em comparação com a aplicação padrão de fertilizantes minerais, e que o uso associado dos fertilizantes orgânicos e minerais seria uma opção viável para disponibilizar nutrientes para as culturas e armazenar carbono no solo.

A fração predominante do COT em TFSA para este solo foi a estabilizada (COAM), esse resultado pode ser explicado pelo tipo de fertilizante orgânico aplicado, na sua composição a cama e o composto a base de dejetado suíno apresentam materiais de difícil degradação, disponibilizando materiais mais recalcitrantes aos organismos do solo, desta forma, a fração mais estabilizada do carbono orgânico do solo se sobressai em relação a mais lábil, como pode ser observado pelos resultados do presente estudo. Assim, os compostos orgânicos mais recalcitrantes contidos nos fertilizantes orgânicos influenciam diretamente na proporção de cada fração do COT (LI et al., 2017).

A fração COP do COT apresentou seu maior conteúdo na camada superficial do solo, esse tipo de fração do COT é uma fração lábil que está ligado a atividade de raízes, restos vegetais e enzimas de fungos, o seu teor no solo pode variar em função do tipo de fertilizante, estrutura e manejo do solo, sendo considerado indicador sensível da qualidade do solo (LI et al., 2017; GE et al., 2021).

As características do solo principalmente o teor de argila, também pode interferir nas frações do COT. Em alguns casos solos com alto teor de argila tendem a disponibilizar o carbono de lenta decomposição, o mais estabilizado, isso pode ocorrer em função da aplicação de fertilizantes orgânicos (MI et al., 2019). Outro fator que pode explicar essa relação é a textura do solo. Solos argiloso aumentam a estabilidade dos substratos orgânicos e a biossíntese microbiana, deste modo, solos argilosos protegem o carbono e podem elevar seus teores, isso ocorre pela formação de complexos organominerais, o que resulta em acúmulo da matéria orgânica com o aumento no teor de argila e auxilia na proteção física promovida principalmente pelos agregados do solo (CONCEIÇÃO et al., 2008; SILVA et al., 2014). Deste modo, os compostos orgânicos mais complexos oriundos dos fertilizantes orgânicos são associados a partículas silte e argila. (CAI et al., 2021).

Dessa forma, aplicações por um longo período de fertilizantes orgânicos de origem animal e minerais no solo, podem aumentar o C orgânico do solo de várias formas, com influência variável em formas lábeis ou recalcitrantes, definindo assim um carbono mais estável ou não (TONG et al., 2014).

Deste modo, o alto teor de COAM pode ser atribuído a diferenças nas características do solo, estrutura física, bem como o teor de argila no presente estudo, além da aplicação dos fertilizantes orgânicos, portanto, é um carbono que apresenta características interessantes para o seu armazenamento e sequestro no solo, o que é benéfico para atividade agrícola, bem como para diminuição das emissões de gases do efeito estufa (TONG et al., 2014; XIE et al., 2017).

A avaliação do acúmulo de carbono e suas frações em resposta ao uso de fertilizantes orgânicos de origem animal pode ajudar no aproveitamento desses resíduos. Além disso, é sabido que o COT do solo apresenta um importante papel para produtividade do solo na produtividade do solo, pois está correlacionado com melhoras nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, e ao fornecimento de nutrientes às plantas (XU et al., 2019).

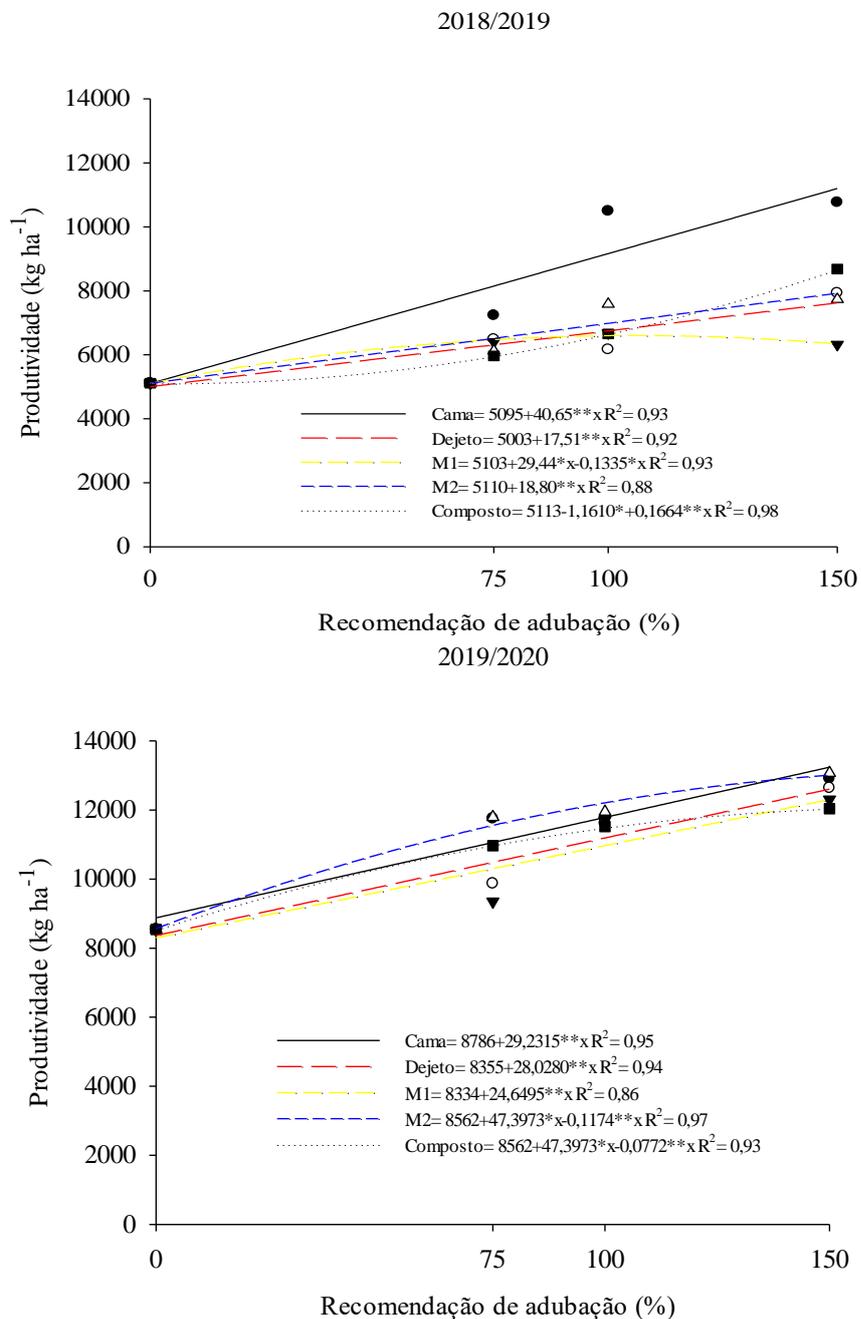
Portanto, o estudo sobre a relação dos fertilizantes orgânicos e minerais para o sequestro de carbono são essenciais, pois a aplicação dos orgânicos nos solos são caracterizadas com práticas agrícolas importantes para aumentar os teores e frações de

carbono orgânico do solo, mostrando também o importante papel do fracionamento físico do carbono para obtenção de resultados que auxiliam nas tomadas decisões nas áreas produtivas.

6.4 PRODUTIVIDADE DO MILHO

A produtividade de grãos do milho aumentou em resposta à aplicação dos fertilizantes orgânicos e minerais e pela elevação das doses para os dois anos avaliados. agrícola safra 2018/2019 houve incremento na produtividade para os fertilizantes orgânicos e minerais. Cama, dejetos e M2 apresentaram comportamento linear crescente M1 e composto tiveram ajuste quadrático (Figura 12).

Figura 12 - Produtividade do milho (kg ha^{-1}) em resposta à aplicação de doses crescentes de fertilizantes orgânicos e minerais em Nitossolo Vermelho Distroférico típico.



M1= fertilizante mineral 1 espelho do dejetto. M2= fertilizante mineral 2 espelho da cama de aves. Equações de regressão (* $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$). Autor, 2021.

Para o ano agrícola 2019/2020 a produtividade do milho teve resposta positiva para doses de todos fertilizantes. Cama, dejetto e M1 apresentaram comportamento linear crescente e M2 e composto quadrático, com as mais altas respostas para cama, dejetto e M2. A produtividade foi maior na safra 2019/2020 em relação à 2018/2019, fato este que pode ser justificado pela menor quantidade de chuva deste período (Figura 1), que foi abaixo da média.

Em trabalho na mesma área experimental, Hentz et al. (2016) encontraram resultados semelhantes ao presente estudo, com resposta positiva na produtividade de milho em função das doses dos fertilizantes cama, dejetto e M1.

Rigo et al. (2019) também encontraram resultados semelhantes, os autores afirmam que houve relação positiva para o incremento da produtividade do milho em função da aplicação dos fertilizantes orgânicos cama e dejetto e mineral M1. Deste modo, a aplicação dos fertilizantes orgânicos e minerais aumenta a produtividade da cultura, o que é relacionado ao fornecimento de nutrientes as plantas.

O uso de fertilizantes orgânicos por um longo período de aplicação exerce efeitos positivos sobre o rendimento do milho, além de beneficiar melhor estrutura do solo e a diversidade bacteriana. A adição de resíduos de animais melhora o teor de nutrientes e sua disponibilidade no solo, com melhor rendimento da cultura do milho, incremento na fertilidade do solo e menor acidificação do solo em comparação com fertilizantes minerais (MEI et al., 2021).

A aplicação de fertilizantes orgânicos e minerais é prática de manejo do solo que aumenta o acúmulo de carbono orgânico do solo e colabora na ciclagem dos nutrientes. Deste modo, os fertilizantes orgânicos podem aumentar tanto o COT do solo quanto a produtividade das culturas. Além disso, aplicações de fertilizantes orgânicos e minerais a longo prazo são fatores que contribuem de forma positiva para produção da cultura do milho como foi observado no presente estudo.

Mustafa et al. (2021b) avaliaram o rendimento da cultura do milho após aplicação de fertilizantes orgânicos e minerais no solo por 28 anos, o que melhorou o rendimento do milho, sendo que os tratamentos com aplicação dos fertilizantes orgânicos de origem animal foram os que levaram a um maior aumento na produção de grãos e biomassa do milho. A resposta foi associada com o maior fornecimento de nutrientes para cultura.

Pelos resultados obtidos no presente estudo para produtividade do milho nos anos agrícolas 2018/2019 e 2019/2020 em sistema conservacionista ILP, mostrou que os

fertilizantes orgânicos foram importantes para o incremento na produtividade, assim como os fertilizantes minerais que também contribuíram de forma significativa respectivamente.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A agregação é um indicador da qualidade do solo que desempenha papel importante para boa estrutura do solo, bem como para o bom desenvolvimento das culturas agrícolas e não agrícolas, então a presença de macroagregados em comparação aos microagregados se torna um fator importante para manutenção e equilíbrio do sistema solo planta.

A integração lavoura pecuária, apresentou resultados interessantes a respeito da estabilidade de agregados, onde houve predominância de macroagregados nas classes 1 e 2, evidenciando a boa agregação do solo, a adubação orgânica e mineral também foi eficiente na promoção de agregados nessas duas classes. A implantação desse sistema por longos anos, respeitando as características conservacionistas do SPD promove boa resposta em se tratando da formação de macroagregados nas camadas superficiais do solo, isso é possível de observar pela concentração de raízes nas camadas iniciais nesse sistema. As raízes possuem papel de destaque na boa estruturação do solo, isso é possível graças a um solo com atributos que apresentem boa estrutura física, química e biológica.

O uso de fertilizantes orgânicos como alternativa aos minerais ainda requer muitos estudos, principalmente a respeito da aplicação de doses no solo, no entanto, adição de carbono via resíduos de animais proporcionou aumentos das frações de carbono orgânico total do solo principalmente nos agregados das classes 1 e 2, estudos são necessários para uma melhor compreensão dos diferentes comportamentos do COT, e como isso pode influenciar na fertilidade do solo, disponibilidade de nutrientes as plantas e sequestro de carbono.

Deste modo, pesquisas voltadas a compreender esses diferentes aspectos são importantes, principalmente pelo papel das atividades agropecuárias para economia do país e pela produção de alimentos. No entanto, para que esses processos possam ocorrer é preciso seguir todas as normas vigentes, respeitando o suporte do solo em receber altas quantidades de resíduos orgânicos de origem animal e a legislação ambiental recomendada pelos órgãos competentes.

Por fim, é de conhecimento que a agregação, uso de fertilizantes orgânicos apresentam relação positiva da MOS, pois ela é um dos fatores mais importantes para formação dos agregados do solo. E a presença de macroagregados do solo na camada de 0-5 cm de profundidade pode mostrar que a MOS do solo é mais ativa e presente onde se encontra uma atividade maior do solo. Assim, a estabilidade de agregados apresentou resultados satisfatórios e importantes para mostrar que adubação orgânica em sistema integrados tem que ser mais difundida e ter mais estudos voltados para esse sistema, pois é um sistema que pode oferecer ao produtor economia e sustentabilidade ambiental.

8 CONCLUSÃO

A aplicação dos fertilizantes orgânicos em relação aos minerais melhora a agregação do solo, formando em grande parte agregados de maior diâmetro.

O uso de fertilizantes orgânicos em relação aos minerais aumenta o teor de carbono orgânico nos agregados do solo, a classe 1 apresenta maior teor das frações de carbono.

A fração estabilizada (COAM) apresenta maior proporção do COT e aumenta seus teores com a elevação das doses crescentes dos fertilizantes orgânicos e minerais principalmente na camada superficial.

Os fertilizantes orgânicos e minerais incrementam o rendimento positivo para cultura do milho, o uso dos fertilizantes de origem animal mostra que pode ser uma alternativa para alto rendimento da cultura.

REFERÊNCIAS

- ALVARENGA, R.C.; NOCE, M.A. Integração Lavoura-Pecuária. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2005. 16 p. (Série Documentos, n. 47).
- ABDALLA, M. et al. Critical review of the impacts of grazing intensity on soil organic carbon storage and other soil quality indicators in extensively managed grasslands. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 253, n. October 2017, p. 62–81, 2018.
- ABDALLA, M. A. et al. Effectiveness of organic amendment and application thickness on properties of a sandy soil and sand stabilization. **Journal of Arid Environments**, v. 183, n. July, p. 104273, 2020.
- ALI SHAH, S. A. et al. Long-term fertilization affects functional soil organic carbon protection mechanisms in a profile of Chinese loess plateau soil. **Chemosphere**, v. 267, p. 128897, 2021.
- ALMEIDA, R. F. et al. Correlação do tamanho e distribuição dos agregados em latossolos amarelo da região do triângulo mineiro em diferentes ambientes. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 5, p. 1325–1334, 2014.
- ÁLVAREZ, C. R. et al. Distribution and vertical stratification of carbon and nitrogen in soil under different managements in the pampean region of Argentina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 6, p. 1985–1994, 2011.
- ANDA. **Estatística**. Disponível em: <<http://anda.org.br/estatisticas/>>.
- ANGULO, R. J.; ROLOFF, G.; SOUZA, M. L. . Relações entre a erodibilidade e agregação, granulometria e características químicas de solos brasileiros. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 8, p. 133–138, 1984.
- ARCÂNGELO, L. et al. Carbon, nitrogen, and aggregation index in Ultisol with 11 years of application of animal manures and mineral fertilizer. **Journal of Soil and Water Conservation**, 2021.
- ARCÂNGELO, L. et al. Carbon, nitrogen and the natural abundance of ¹³C and ¹⁵N in macro and microaggregates. **Idesia (Arica)**, v. 32, n. 4, p. 15–21, 2014.
- ARRUDA, C. A. O. et al. Aplicação de dejetos suíno e estrutura de um latossolo vermelho sob semeadura direta. **Ciencia e Agrotecnologia**, v. 34, n. 4, p. 804–809, 2010.
- ASHRAF, M. N. et al. Soil and microbial biomass stoichiometry regulate soil organic carbon and nitrogen mineralization in rice-wheat rotation subjected to long-term fertilization. **Journal of Soils and Sediments**, v. 20, n. 8, p. 3103–3113, 2020.
- ATERE, C. T. et al. Organic matter stabilization in aggregates and density fractions in paddy soil depending on long-term fertilization: Tracing of pathways by ¹³C natural abundance. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 149, n. January, p. 107931, 2020.
- AZEVEDO, A. C. DE; BONUMÁ, A. S. Partículas coloidais, dispersão e agregação em latossolos. **Ciência Rural**, v. 34, n. 2, p. 609–617, 2004.

- B. T. CHRISTENSEN. Physical fractionation of soil and structural and functional complexity in organic matter turnover. **European Journal of Soil Science**, v. 52, n. September, p. 345–353, 2001.
- BALABANE, M.; PLANTE, A. F. Aggregation and carbon storage in silty soil using physical fractionation techniques. **European Journal of Soil Science**, v. 55, n. 2, p. 415–427, 2004.
- BANDYOPADHYAY, K. K. et al. Effect of integrated use of farmyard manure and chemical fertilizers on soil physical properties and productivity of soybean. **Soil and Tillage Research**, v. 110, n. 1, p. 115–125, 2010.
- BARBOSA, G. M. DE C. et al. Aggregation and clay dispersion of an oxisol treated with swine and poultry manures. **Soil and Tillage Research**, v. 146, n. PB, p. 279–285, 2015.
- BARRETO, R. C. et al. The impact of soil management on aggregation, carbon stabilization and carbon loss as CO₂ in the surface layer of a Rhodic Ferralsol in Southern Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 132, n. 3–4, p. 243–251, 2009.
- BARROS, E. C. et al. Potencial agronômico dos dejetos de suínos. **Embrapa Suínos e Aves**, v. 1, p. 52, 2019.
- BASTOS, R. S. et al. Soil aggregate formation and stabilization as influenced by organic compounds with different hydrophobic characteristics. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 1, p. 11–20, 2005.
- BAUMGÄRTNER, C., L. et al. Estoque e Mecanismo de Proteção Física do Carbono no Solo em Manejos Agrícolas. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 57, n. 06, p. 643–652, 2021.
- BAYER, C. et al. 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.
- BAYER, C. et al. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 7, p. 677–683, 2004.
- BEARE, M. H. et al. 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.
- BERTOL, O. J. et al. Área Cultivada Sob Semeadura Direta E Submetida. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 4, p. 781–792, 2007.
- BETIOLO TROLEIS, M. J. et al. Estabilidade De Agregados E Teor De Matéria Orgânica Em Um Latossolo Vermelho Sob Urochloa Brizantha Após a Aplicação De Cama De Peru. **Journal of Neotropical Agriculture**, v. 4, n. 1, p. 83–87, 2017.
- BOEIRA, R. C.; LIGO, M. A. V.; DYNIA, J. F. Mineralização de nitrogênio em solo tropical tratado com lodos de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 11, p. 1639–1647,

2002.

BRAGA, M. B. et al. Coberturas do solo e uso de manta agrotêxtil (TNT) no cultivo do meloeiro. **Horticultura Brasileira**, v. 35, n. 1, p. 147–153, 2017.

BRAIDA, J. A. et al. MATERIA ORGANICA E SEU EFEITO NA FISICA DO SOLO. **Tópicos de Ciência do Solo**, v. 7, p. 221–278, 2011.

BRIEDIS, C. et al. Particulate soil organic carbon and stratification ratio increases in response to crop residue decomposition under no-till. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 5, p. 1483–1490, 2012.

BRONICK, C. J.; LAL, R. Soil structure and management: A review. **Geoderma**, v. 124, n. 1–2, p. 3–22, 2005.

BUENO, M.; DALMOLIN, R. S. D.; MIGUEL, P. Frações do carbono orgânico do solo sob diferentes usos da terra em áreas de agricultura familiar. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 12, n. 3, p. 8, 2017.

BUYANOVSKY, G. A.; ASLAM, M.; WAGNER, G. H. Carbon Turnover in Soil Physical Fractions. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, n. 4, p. 1167–1173, 1994.

CAI, A. et al. Changes in mineral-associated carbon and nitrogen by long-term fertilization and sequestration potential with various cropping across China dry croplands. **Soil and Tillage Research**, v. 205, n. August 2019, 2021.

CALEGARI, A. et al. Melhoria da agregação do solo através do sistema plantio direto. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 27, n. 2, p. 147, 2006.

CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E. T. Particulate Soil Organic-Matter Changes across a Grassland Cultivation Sequence. **Soil Science Society of America Journal**, v. 56, n. 3, p. 777–783, maio 1992.

CANELLAS, L. P. et al. Propriedades químicas de um cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhço e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 27, n. 4, p. 935–944, 2003.

CARNEIRO, W. J. DE O. et al. Mineralização de nitrogênio em latossolos adubados com resíduos orgânicos. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 37, n. 3, p. 715–725, 2013.

CARVALHO, J. L. N. et al. Impact of pasture, agriculture and crop-livestock systems on soil C stocks in Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 110, n. 1, p. 175–186, 2010a.

CARVALHO, J. L. N. et al. Potential of soil carbon sequestration in different biomes of Brazil. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 34, n. 2, p. 277–289, 2010b.

CARVALHO, J. L. N. et al. Crop-pasture rotation: A strategy to reduce soil greenhouse gas emissions in the Brazilian Cerrado. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 183, p. 167–175, 2014.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num latossolo roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, n. 3, p. 527–538, 1998.

CÉSAR DE FACCIO CARVALHO, P. et al. Definições e terminologias para Sistema Integrado de Produção Agropecuária 1 Definitions and terminologies for Integrated Crop-Livestock System. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 5, p. 1040–1046, 2014.

CHAN, K. Y.; BOWMAN, A.; OATES, A. Oxidizable organic carbon fractions and soil quality changes in an oxic paleustalf under different pasture leys. **Soil Science**, v. 166, n. 1, p. 61–67, 2001.

CHAVES, L. H. G.; FARIAS, C. H. A. Variabilidade espacial do estoque de carbono nos Tabuleiros Costeiros da Paraíba: Solo cultivado com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 3, n. 1, p. 20–25, 2008.

CHEN, K. et al. Stabilization of soil aggregate and organic matter under the application of three organic resources and biochar-based compound fertilizer. **Journal of Soils and Sediments**, v. 20, p. 3633–3643, 2020.

CHEN, Y. et al. Rotation and Organic Fertilizers Stabilize Soil Water-Stable Aggregates and Their Associated Carbon and Nitrogen in Flue-Cured Tobacco Production. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 20, p. 192–205, 2019.

CHEN, Y. J. et al. Reprogramming human endometrial fibroblast into induced pluripotent stem cells. **Taiwanese Journal of Obstetrics and Gynecology**, v. 51, n. 1, p. 35–42, 2012.

CHUNG, H.; GROVE, J. H.; SIX, J. Indications for Soil Carbon Saturation in a Temperate Agroecosystem. **Soil Science Society of America Journal**, v. 72, n. 4, p. 1132–1139, 2008.

CONCEIÇÃO, P. C. et al. Fracionamento densimétrico com politungstato de sódio no estudo da proteção física da matéria orgânica em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 2, p. 541–549, abr. 2008.

CONDÉ, M. S. et al. Influência Da Aplicação De Águas Residuárias De Criatórios De Animais No Solo: Atributos Químicos E Físicos. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS)**, v. 2, n. 1, p. 99–106, 2012.

COSTA, C. et al. Carbono em agregados do solo sob vegetação nativa, pastagem e sistemas agrícolas no bioma Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 4, p. 1311–1321, 2012.

COSTA, F. S. et al. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 3, p. 527–535, 2003.

COSTA JUNIOR, C. et al. Carbono em agregados do solo sob vegetação nativa, pastagem e sistemas agrícolas no bioma Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 4, p. 1311–1322, ago. 2012.

COSTA, N. R. et al. Atributos do solo e acúmulo de carbono na integração lavoura-pecuária em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 39, n. 3, p. 852–863, 2015.

COURTIER-MURIAS, D. 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.

CRESTANA, S. Inovação e desenvolvimento: faces da mesma moeda. **Revista Inovação**, v. 1, p. 28–30, 2004.

DA SILVA, A. J. N.; CABEDA, M. S. V.; DE CARVALHO, F. G. Matéria orgânica e propriedades físicas de um Argissolo Amarelo Coeso sob sistemas de manejo com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 3, p. 579–585, 2006.

DA SILVA, R. F. et al. Macrofauna invertebrada do solo sob diferentes sistemas de produção em Latossolo da Região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 41, n. 4, p. 697–704, 2006.

DAVIDSON, E. A.; JANSSENS, I. A. Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change. **Nature**, v. 440, n. 7081, p. 165–173, 2006.

DE FACCIO CARVALHO, P. C. et al. Managing grazing animals to achieve nutrient cycling and soil improvement in no-till integrated systems. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 88, n. 2, p. 259–273, 2010.

DE FIGUEIREDO, C. C.; RESCK, D. V. S.; CARNEIRO, M. A. C. Labile and stable fractions of soil organic matter under management systems and native Cerrado. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 34, n. 3, p. 907–916, 2010.

DE OLIVEIRA DIAS, B. et al. Estoque de carbono e quantificação de substâncias húmicas em latossolo submetido a aplicação contínua de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 31, n. 4, p. 701–711, 2007.

DE SOUSA, R. F. et al. Frações Da Matéria Orgânica Do Solo Em Veredas Conservadas E Antropizadas No Bioma Cerrado. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 39, n. 1, p. 222–231, 2015.

DE SOUZA, E. D. et al. Soil organic carbon and nitrogen stocks in an untilled crop-livestock integration system under different grazing intensities. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 33, n. 6, p. 1829–1836, 2009.

DE VASCONCELOS, R. F. B. et al. Estabilidade de agregados de um latossolo amarelo distrocoeso de tabuleiro costeiro sob diferentes aportes de resíduos orgânicos da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 34, n. 2, p. 309–316, 2010.

DEGRYZE, S. et al. Soil organic carbon pool changes following land-use conversions. **Global Change Biology**, v. 10, n. 7, p. 1120–1132, 2004.

DEL GALDO, I. et al. Assessing the impact of land-use change on soil C sequestration in agricultural soils by means of organic matter fractionation and stable C isotopes. **Global Change Biology**, v. 9, n. 8, p. 1204–1213, 2003.

DEMARCHI, J. C.; PERUSI, M. C.; PIROLI, E. L. Análise da estabilidade de agregados de solos da microbacia do Ribeirão São Domingos, Santa Cruz do Rio Pardo – SP, sob diferentes tipos de uso e ocupação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v. 4, n. 2, p. 7–29, 2012.

DEXTER, A. R. Advances in characterization of soil structure. **Soil and Tillage Research**, v. 11, n. 3–4, p. 199–238, 1988.

DIECKOW, J. et al. Land use, tillage, texture and organic matter stock and composition in tropical and subtropical Brazilian soils. **European Journal of Soil Science**, v. 60, n. 2, p. 240–249, 2009.

DONEDA, A. et al. Fitomassa e decomposição de resíduos de plantas de cobertura puras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 36, n. 6, p. 1714–1723, 2012.

DOS REIS, C. E. S. et al. Carbon sequestration in clay and silt fractions of Brazilian soils under conventional and no-tillage systems. **Scientia Agricola**, v. 71, n. 4, p. 292–301, 2014.

DRURY, C. F. et al. Influence of crop rotation and aggregate size on carbon dioxide production and denitrification. **Soil and Tillage Research**, v. 79, n. 1, p. 87–100, 2004.

DUARTE, P. M. et al. Integração Lavoura-Pecuária (ILP): uma Revisão Literária Crop-Livestock Integration (ILP): a Literature Review. **Uniciências**, v. 22, n. 2, p. 106–109, 2018.
EDWARDS, A. P.; BREMNER, J. M. Microaggregates in Soils. **Journal of Soil Science**, v. 18, n. 1, p. 64–73, 1967.

ELLIOTT, A. E. T.; COLEMAN, D. C. Oikos Editorial Office Let the Soil Work for Us Let the soil work for us. **Ecological Bulletins**, n. 39, p. 23–32, 1988.

ELLIOTT, E. T. Aggregate structure and carbon, nitrogen, and phosphorus in native and cultivated soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 50, n. 3, p. 627–633, 1986.

EMBRAPA. **Centro Nacional de Pesquisa em Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2 ed. Bras ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 2013.

EMERSON, W. W. Stability of soil crumbs. **Nature**, v. 183, p. 538–538, 1959.

ERTHAL, V. J. T. et al. Physical and chemical changes in an Luvisoil by the application of cattle farm wastewater. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 5, p. 467–477, 2010.

FEI, C. et al. Partial substitution of rice husks for manure in greenhouse vegetable fields: Insight from soil carbon stock and aggregate stability. **Land Degradation and Development**, v. 32, n. 14, p. 3962–3972, 2021.

FELLER, C.; BEARE, M. H. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics.

Geoderma, v. 79, n. 1–4, p. 69–116, 1997.

FERNÁNDEZ, R. et al. Carbon contents and respiration rates of aggregate size fractions under no-till and conventional tillage. **Soil and Tillage Research**, v. 109, n. 2, p. 103–109, 2010.

FERREIRA, G. et al. Soil aggregation indexes and chemical and physical attributes of aggregates in a Typic Hapludult fertilized with swine manure and mineral fertilizer. **International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture**, v. 10, 2021.

FERREIRA, C. DOS R. et al. Dynamics of soil aggregation and organic carbon fractions over 23 years of no-till management. **Soil and Tillage Research**, v. 198, n. December 2019, p. 104533, 2020.

FERREIRA, G. W. et al. Soil aggregation indexes and chemical and physical attributes of aggregates in a typic hapludult fertilized with swine manure and mineral fertilizer. **International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture**, v. 10, n. 1, p. 1–17, 2021.

FERREIRA, J. P. et al. Atributos químicos e físicos de um latossolo em diferentes sistemas integrados de produção agropecuária. **Boletim de Indústria Animal**, v. 75, p. 1–17, 2018.

FERREIRA, M. M.; FERNANDES, B.; CURI, N. Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de latossolos da região sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n. 3, p. 515–524, 1999.

FILHO, J. T.; DE CÉSARE BARBOSA, G. M.; RIBON, A. A. Water-dispersible clay in soils treated with sewage sludge. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 34, n. 5, p. 1527–1534, 2010.

FRANCISCO, C. A. L. et al. Aggregation, carbon, nitrogen, and natural abundance of ^{13}C and ^{15}N in soils under no-tillage system fertilized with injection and surface application of pig slurry for five years. **Carbon Management**, v. 12, n. 3, p. 275–287, 2021.

GALHARTE, C. A.; CRESTANA, S. Avaliação do impacto ambiental da integração lavoura-pecuária: aspecto conservação ambiental no cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 11, p. 1202–1209, 2010.

GE, Z. et al. Differential long-term fertilization alters residue-derived labile organic carbon fractions and microbial community during straw residue decomposition. **Soil and Tillage Research**, v. 213, n. 120, p. 105120, 2021.

GERZABEK, M. H. et al. The response of soil organic matter to manure amendments in a long-term experiment at Ultuna, Sweden. **European Journal of Soil Science**, v. 48, n. 2, p. 273–282, 1997.

GHOSH, A. et al. Long-term fertilization effects on soil organic carbon sequestration in an Inceptisol. **Soil & Tillage Research**, v. 177, n. November 2017, p. 134–144, 2018.

GIUMBELLI, L. D. et al. Aggregation index, carbon, nitrogen, and natural abundance of ^{13}C

and 15N in soil aggregates and bulk soil cultivated with onion under crop successions and rotations. **Soil Research**, v. 58, n. 7, p. 622–635, 2020.

GOLCHIN, A. et al. Soil structure and carbon cycling. **Australian Journal of Soil Research**, v. 32, n. 5, p. 1043–1063, 1994.

GROSSI, B. et al. Efeito do uso prolongado de água residuária da suinocultura sobre as propriedades químicas e físicas de um Latossolo Vermelho-Amarelo Effect of prolonged use of swine wastewater on soil properties. p. 299–309, 2014.

GUARESCHI, R. F.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A. Carbono, nitrogênio e abundância natural de $\delta^{13}C$ e $\delta^{15}N$ em uma cronosequência de agricultura sob plantio direto no cerrado goiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 4, p. 1135–1142, 2014.

GUEDES FILHO, O. et al. Structural properties of the soil seedbed submitted to mechanical and biological chiseling under no-tillage. **Geoderma**, v. 204–205, p. 94–101, 2013.

GUO, Z. et al. Aggregate stability under long-term fertilization practices: The case of eroded ultisols of south-central China. **Sustainability (Switzerland)**, v. 11, n. 4, p. 1–17, 2019.

GUO, Z. C. et al. Long-term animal manure application promoted biological binding agents but not soil aggregation in a Vertisol. **Soil and Tillage Research**, v. 180, n. March, p. 232–237, 2018.

HAHN, C. et al. Phosphorus losses in runoff from manured grassland of different soil P status at two rainfall intensities. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 153, p. 65–74, 2012.

HE, Y. et al. Soil & Tillage Research Soil aggregate stability improves greatly in response to soil water dynamics under natural rains in long-term organic fertilization. **Soil & Tillage Research**, v. 184, n. August, p. 281–290, 2018a.

HE, Y. T. et al. Long-term fertilization increases soil organic carbon and alters its chemical composition in three wheat-maize cropping sites across central and south China. **Soil and Tillage Research**, v. 177, n. December 2017, p. 79–87, 2018b.

HEID, D. M.; VITORINO, A. C. T.; TIRLONI, C.; HOFFMANN, N. T. K. Frações Orgânicas E Estabilidade Dos Agregados De Um Um Vermelho Distroférico Distroférico Sob Sob Diferentes. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 52, n. 1, p. 143–160, 2009.

HENTZ, P. et al. Poultry litter and pig slurry applications in an integrated crop-livestock system. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 40, p. 1–12, 2016.

HOUGHTON, R. A.; SKOLE, D. L.; LEFKOWITZ, D. S. Changes in the landscape of Latin America between 1850 and 1985 II. Net release of CO₂ to the atmosphere. **Forest Ecology and Management**, v. 38, n. 3–4, p. 173–199, 1991.

JAGADAMMA, S.; LAL, R. Distribution of organic carbon in physical fractions of soils as affected by agricultural management. **Biology and Fertility of Soils**, v. 46, n. 6, p. 543–554, 2010.

JASTROW, D. <Jastrow 1996 Soil Biol Biochem - soil carbon restoration.pdf>. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 28, n. 415, p. 665–676, 1996.

JASTROW, J. D.; MILLER, R. M. Soil aggregate stabilization and carbon sequestration: Feedbacks through organomineral associations. **Soil Processes and the Carbon Cycle**, n. January 2014, p. 207–223, 1998.

JOHN, B. et al. Storage of organic carbon in aggregate and density fractions of silty soils under different types of land use. **Geoderma**, v. 128, n. 1–2, p. 63–79, 2005.

JUNIOR, G. DE F. S.; CORÁ, J. E.; LAL, R. Soil aggregation according to the dynamics of carbon and nitrogen in soil under different cropping systems. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1652–1659, 2016.

KAISER, K; GUGGENBERGER, G. Mineral surfaces and soil organic matter. **European Journal of Soil Science**, v. 54, p. 219–236, 2003.

KAY, B. D. Rates of Change of Soil Structure Under Different Cropping Systems. p. 1–52, 1990.

KEMPER, W. D.; CHEPIL, W. S. Size distribution of aggregates. In: F.E, L. C. A. . E. D. D. . W. J. L. . E. L. E. . C. (Ed.). . **Methods of soil analysis: Part 1 Physical and Mineralogical Methods**. Madison: [s.n.].

KEMPER, W. D.; ROSENAU, R. C. Aggregate Stability and Size Distributlon'. **Methods of soil analysis: Part 1 Physical and Mineralogical Methods**, v. 9, n. 9, p. 425–442, 1986.

KOGA, N. Tillage, fertilizer type, and plant residue input impacts on soil carbon sequestration rates on a Japanese Andosol. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 63, n. 4, p. 396–404, 2017.

LADD, J. N.; FOSTER, R. C.; SKJEMSTAD, J. O. Soil structure: carbon and nitrogen metabolism. **Geoderma**, v. 56, n. 1–4, p. 401–434, 1993.

LAL, R.; BRUCE, J. P. The potential of world cropland soils to sequester C and mitigate the greenhouse effect. **Environmental Science and Policy**, v. 2, n. 2, p. 177–185, 1999.

LI, H. et al. Chemical fertilizers could be completely replaced by manure to maintain high maize yield and soil organic carbon (SOC) when SOC reaches a threshold in the Northeast China Plain. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 16, n. 4, p. 937–946, 2017.

LI, S. et al. Effect of straw management on carbon sequestration and grain production in a maize-wheat cropping system in Anthrosol of the Guanzhong Plain. **Soil and Tillage Research**, v. 157, p. 43–51, 2016.

LIN, Y. et al. Long-term manure application increases soil organic matter and aggregation, and alters microbial community structure and keystone taxa. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 134, n. March, p. 187–196, 2019.

LIU, A.; MA, B. L.; BOMKE, A. A. Effects of cover crops on soil aggregate stability, total organic carbon, and polysaccharides. **Soil Science Society of America Journal**, v. 69, n. 6, p. 2041–2048, 2005.

- LOPES, I. M. et al. Aggregation and soil carbon aggregates distribution in a red latosol under different levels of sugarcane straw in paranavaí (PR). **Revista Virtual de Química**, v. 9, n. 5, p. 1985–1995, 2017.
- LOPES, M. L. T. et al. Sistema de integração lavoura-pecuária: Desempenho e qualidade da carcaça de novilhos superprecoces terminados em pastagem de aveia e azevém manejada sob diferentes alturas. **Ciencia Rural**, v. 38, n. 1, p. 178–184, 2008.
- LORENSINI, F. et al. Disponibilidade de nitrogênio de fontes minerais e orgânicas aplicadas em um Argissolo cultivado com videira. **Revista Ceres**, v. 61, n. 2, p. 241–247, 2014.
- LORENZ, K. et al. Strengthening the soil organic carbon pool by increasing contributions from recalcitrant aliphatic bio(macro)molecules. **Geoderma**, v. 142, n. 1–2, p. 1–10, 2007.
- LOSS, A. et al. Carbono e frações granulométricas da matéria orgânica do solo sob sistemas de produção orgânica. **Ciencia Rural**, v. 39, n. 4, p. 1077–1082, 2009.
- LOSS, A. et al. Frações orgânicas e índice de manejo de carbono do solo em diferentes sistemas de produção orgânica. **Idesia**, v. 29, n. 2, p. 11–19, 2011a.
- LOSS, A. et al. Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1269–1276, 2011b.
- LOSS, A. et al. Soil fertility, physical and chemical organic matter fractions, natural ^{13}C and ^{15}N abundance in biogenic and physcogenic aggregates in areas under different land use systems. **Soil Research**, v. 52, n. 7, p. 685–697, 2014a.
- LOSS, A. et al. Granulometric and oxidizable fractions of organic matter under different land use systems in the state of Paraná, Brazil | Frações granulométricas e oxidáveis de matéria orgânica sob diferentes sistemas de uso do solo, no Paraná, Brasil. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 1, p. 43–54, 2014b.
- LOSS, A. et al. Agregação, matéria orgânica leve e carbono mineralizável em agregados do solo. **Revista de la Facultad de Agronomía**, v. 113, n. 1, p. 1–8, 2014c.
- LUGATO, E. et al. Distribution of organic and humic carbon in wet-sieved aggregates of different soils under long-term fertilization experiment. **Geoderma**, v. 157, n. 3–4, p. 80–85, 2010.
- MACEDO, M. C. M. Integração lavoura e pecuária: O estado da arte e inovações tecnológicas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. SUPPL. 1, p. 133–146, 2009.
- MADARI, B. et al. No tillage and crop rotation effects on soil aggregation and organic carbon in a Rhodic Ferralsol from southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 80, n. 1–2, p. 185–200, 2005.
- MAFRA, M. S. H. et al. Acúmulo de carbono em Latossolo adubado com dejetos líquidos de suínos e cultivado em plantio direto. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 49, n. 8, p. 630–638, 2014.

MAFRA, M. S. H. et al. Teores e estoques de carbono orgânico em frações granulométricas de latossolo fertilizado com dejetos suínos e adubo solúvel. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 4, p. 1161–1171, 2015.

MAGALHÃES, A. C. M. DE et al. Production Components of the Cowpea under Different Doses of Organic Fertiliser. **Journal of Experimental Agriculture International**, v. 26, n. 5, p. 1–9, 2018.

MAIA, S. M. F. et al. Changes in soil organic carbon storage under different agricultural management systems in the Southwest Amazon Region of Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 106, n. 2, p. 177–184, 2010.

MANTOVANI, J. R. et al. Carbon and nitrogen mineralization in an ultisol fertilized with urban waste compost. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 4, p. 677–684, 2006.

MARCHÃO, R. L. et al. Qualidade física de um Latossolo Vermelho sob sistemas de integração lavoura-pecuária no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 6, p. 873–882, 2007.

MARIA, I. C.; ANSELMIKOCSSI, M.; DECHEN, S. C. F. Agregação do solo em área que recebeu lodo de esgoto. **Bragantia**, v. 66, n. 2, p. 291–298, 2007.

MATOS, E. D. S. et al. Estabilidade de agregados e distribuição de carbono e nutrientes em Argissolo sob adubação orgânica e mineral. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 9, p. 1221–1230, 2008.

MAZZOCHI, F.; BARETTA, D. Integração lavoura-pecuária: ótima opção a quem busca sustentabilidade na produção. **Caderno SB Rural**, v. ed 164, p. 1–4, 2015.

MEI, N. et al. Effects of 40 years applications of inorganic and organic fertilization on soil bacterial community in a maize agroecosystem in northeast China. **European Journal of Agronomy**, v. 130, n. April, p. 126332, 2021.

MENDES, I. C. et al. Propriedades biológicas em agregados de um Latossolo Vermelho-Escuro sob plantio convencional e direto no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 3, p. 435–443, 2003.

MI, W. et al. Changes in humus carbon fractions in paddy soil given different organic amendments and mineral fertilizers. **Soil and Tillage Research**, v. 195, n. February, p. 104421, 2019.

MIDWOOD, A. J. et al. Storage of soil carbon as particulate and mineral associated organic matter in irrigated woody perennial crops. **Geoderma**, v. 403, p. 115185, 2021.

MIKUTTA, R. et al. Microbial and abiotic controls on mineral-associated organic matter in soil profiles along an ecosystem gradient. **Scientific Reports**, v. 9, n. 1, p. 1–9, 2019.

MOOJEN, F. G. et al. The farm coaching experience to support the transition to integrated crop–livestock systems: From gaming to action. **Agricultural Systems**, v. 196, n. October 2020, p. 103339, 2022.

MORAES, M. **O que são Fertilizantes? Saiba a Importância para a Agricultura.** Disponível em: <<https://agropos.com.br/o-que-sao-fertilizantes/>>.

MUSTAFA, A. et al. Soil aggregation and soil aggregate stability regulate organic carbon and nitrogen storage in a red soil of southern China. **Journal of Environmental Management**, v. 270, n. February, 2020.

MUSTAFA, A. et al. Long-term fertilization enhanced carbon mineralization and maize biomass through physical protection of organic carbon in fractions under continuous maize cropping. **Applied Soil Ecology**, v. 165, n. February, 2021a.

MUSTAFA, A. et al. Long-term fertilization enhanced carbon mineralization and maize biomass through physical protection of organic carbon in fractions under continuous maize cropping. **Applied Soil Ecology**, v. 165, n. August 2020, 2021b.

MUSTAFA, A. et al. Stability of soil organic carbon under long-term fertilization: Results from ¹³C NMR analysis and laboratory incubation. **Environmental Research**, v. 205, n. September 2021, 2022a.

MUSTAFA, A. et al. Stability of soil organic carbon under long-term fertilization: Results from ¹³C NMR analysis and laboratory incubation. **Environmental Research**, v. 205, n. September 2021, p. 112476, 2022b.

MUSTAFA A. et al. Stability of soil organic carbon under long-term fertilization: Results from ¹³C NMR analysis and laboratory incubation. **Environmental Research**, p. 118159, 2021.

NANZER, M. C. et al. Total organic carbon stock and granulometric fractioning of organic matter in soil use systems in Cerrado. **Revista de Ciências Agroveterinarias**, v. 18, n. 1, p. 136–145, 2019.

OADES, J. M.; WATERS, A. G. Aggregate hierarchy in soils. **Australian Journal of Soil Research**, v. 29, n. 6, p. 815–825, 1991.

OHNO, T. et al. Molecular weight and humification index as predictors of adsorption for plant- and manure-derived dissolved organic matter to goethite. **European Journal of Soil Science**, v. 58, n. 1, p. 125–132, 2007.

OLIVEIRA, G. R. et al. Alterações Na Física Do Solo Com a Aplicação De Dejetos Animais. **Geographia Opportuno Tempore**, v. 2, n. 2, p. 66–80, 2016.

OLIVEIRA, D. M. DA S. et al. Assessing labile organic carbon in soils undergoing land use change in Brazil: A comparison of approaches. **Ecological Indicators**, v. 72, p. 411–419, 2017.

OLIVEIRA, G. C. et al. Caracterização química e físico-hídrica de um latossolo vermelho após vinte anos de manejo e cultivo do solo. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 28, n. 2, p. 327–336, 2004.

OLK, D. C.; GREGORICH, E. G. Overview of the symposium proceedings, "meaningful

pools in determining soil carbon and nitrogen dynamics. **Soil Science Society of America Journal**, v. 70, n. 3, p. 967–974, 2006.

Orgânica, Propriedades eletroquímicas de um solo eletropositivo influenciadas pela adição de diferentes fontes de matéria orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, n. 1, p. 215–221, 1998.

OZLU, E.; KUMAR, S. Response of Soil Organic Carbon, pH, Electrical Conductivity, and Water Stable Aggregates to Long- Term Annual Manure and Inorganic Fertilizer. **Soil Science Society of America Journal**, v. 13, p. 1243–1251, 2018.

PANACHUKI, E. et al. Perdas de solo e de água e infiltração de água em latossolo vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 5, p. 1777–1785, 2011.

PASSOS, R. R. et al. Substâncias húmicas, atividade microbiana e Carbono orgânico lábil em agregados de Um latossolo vermelho distrófico sob duas coberturas vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 5, p. 1119–1129, 2007.

PAUSTIAN, K. et al. Agricultural soils as a sink to mitigate CO₂ emissions. **Soil Use and Management**, v. 13, n. 4 SUPPL., p. 230–244, 1997.

PEREIRA, M. G. et al. Granulometric and humic fractions carbon stocks of soil organic matter under no-tillage system in Uberaba, Brazil. **Tropical and Subtropical Agroecosystems**, v. 15, n. 1, p. 1–13, 2012.

PIKUL, J. L. et al. Particulate organic matter and water-stable aggregation of soil under contrasting management. **Soil Science Society of America Journal**, v. 71, n. 3, p. 766–776, 2007.

PILLON, C. N.; MIELNICZUK, J.; MARTIN NETO, L. Dinâmica da matéria orgânica no ambiente. **Embrapa Clima Temperado**, n. Documentos, 105, p. 41, 2002.

PINHEIRO JUNIOR, C. R. et al. Fertilidade do solo e dinâmica da matéria orgânica em áreas no perímetro irrigado Jaguaribe-Apodi, CE. **Agropecuária Científica No Semiárido**, v. 17, n. 1, p. 1, 2021.

POEPLAU, C. et al. Isolating organic carbon fractions with varying turnover rates in temperate agricultural soils – A comprehensive method comparison. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 125, n. June 2017, p. 10–26, 2018.

PORTUGAL, A. F; JUCKSCG, I; SCHAEFER, C. E. G. R; WENDLING, B. Determinação de estoques totais de carbono e nitrogênio e suas frações em sistemas agrícolas implantados em argissolo vrbmblo-marelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 5, p. 2091–2100, 2008.

PUGET, P.; CHENU, C.; BALESSENT, J. Dynamics of soil organic matter associated with particle-size fractions of water-stable aggregates. **European Journal of Soil Science**, v. 51, n. 4, p. 595–605, 2000.

PULLEMAN, M. M.; MARINISSEN, J. C. Y. Physical protection of mineralizable C in aggregates from long-term pasture and arable soil. **Geoderma**, v. 120, n. 3–4, p. 273–282, 2004.

QASWAR, M. et al. Yield sustainability, soil organic carbon sequestration and nutrients balance under long-term combined application of manure and inorganic fertilizers in acidic paddy soil. **Soil and Tillage Research**, v. 198, n. December 2019, p. 104569, 2020.

RABBI, S. M. F. et al. Soil organic carbon mineralization rates in aggregates under contrasting land uses. **Geoderma**, v. 216, p. 10–18, 2014.

RABOT, E. et al. Soil structure as an indicator of soil functions: A review. **Geoderma**, v. 314, n. October 2017, p. 122–137, 2018.

RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 6, p. 1609–1623, 2007.

RAO, S. C. et al. Potential Grain and Forage Production of Early Maturing Pigeonpea in the Southern Great Plains. **Crop Science**, v. 43, n. 6, p. 2212–2217, 2003.

RAYNE, N.; AULA, L. Livestock manure and the impacts on soil health: A review. **Soil Systems**, v. 4, n. 4, p. 1–26, 2020.

RAZAFIMBELO, T. M. et al. Aggregate associated-C and physical protection in a tropical clayey soil under Malagasy conventional and no-tillage systems. **Soil and Tillage Research**, v. 98, n. 2, p. 140–149, 2008.

RIBEIRO, D. O. et al. Atributos físicos de um latossolo após o uso de doses de cama de frango acrescidas à adubação mineral. **Colloquium Agrariae**, v. 15, n. 2, p. 9–17, 2019.

RIGO, A. Z. et al. Phosphorus fractions in soil with organic and mineral fertilization in integrated crop-livestock system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 43, p. 1–15, 2019.

ROSA, M. E. C. et al. Formas de carbono em Latossolo Vermelho Eutroférico sob plantio direto no sistema biogeográfico do cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 5, p. 911–923, 2003.

ROSA, R.; SANO, E. E.; ROSENDO, J. DOS S. Estoque de carbono em solos sob pastagens cultivadas na bacia hidrográfica do Rio Paranaíba. **Sociedade & Natureza**, v. 26, n. 2, p. 333–351, 2014.

ROSSI, C. Q. et al. Frações lábeis da matéria orgânica em sistema de cultivo com palha de braquiária e sorgo. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 43, n. 1, p. 38–46, 2012.

ROSSI, C. Q. et al. Frações orgânicas e índice de manejo de carbono do solo em Latossolo Vermelho sob plantio de soja no cerrado goiano. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 7, n. 2, p. 233–241, 2012.

ROZANE, D. E. et al. Estoque de carbono e estabilidade de agregados de um latossolo vermelho distrófico, sob diferentes manejos. **Bioscience Journal**, v. 26, n. 1, p. 24–32, 2010.

RUEHLMANN, J. Soil particle density as affected by soil texture and soil organic matter: 1. Partitioning of SOM in conceptual fractions and derivation of a variable SOC to SOM conversion factor. **Geoderma**, v. 375, n. March, p. 114542, 2020.

SALTON, J. C. et al. Soil aggregation and aggregate stability under crop-pasture systems in Mato Grosso do Sul state, Brazil. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 32, n. 1, p. 11–21, 2008.

SALTON, J. C. et al. Teor e dinâmica do carbono no solo em sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1349–1356, 2011.

SANTOS, C. et al. Aggregation Index and Carbon and Nitrogen Contents in Aggregates of Pasture Soils under Successive Applications of Pig Slurry in Southern Brazil. **Agronomy**, v. 12, n. 2, 2022.

SARMA, B. et al. Organic amendments: Effect on carbon mineralization and crop productivity in acidic soil. **Journal of Cleaner Production**, v. 152, p. 157–166, 2017.

SCHMIDT, M. W. I. et al. Persistence of soil organic matter as an ecosystem property. **Nature**, v. 478, n. 7367, p. 49–56, 2011.

SCHÖNING, I.; MORGENROTH, G.; KÖGEL-KNABNER, I. O/N-alkyl and alkyl C are stabilised in fine particle size fractions of forest soils. **Biogeochemistry**, v. 73, n. 3, p. 475–497, 2005.

SEKARAN, U. et al. Role of integrated crop-livestock systems in improving agriculture production and addressing food security – A review. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 5, p. 100190, 2021.

SILVA, F. F. et al. Propriedades físicas de um latossolo vermelho cultivado no sistema plantio direto. **Irriga**, v. 13, n. 2, p. 191–204, 2008.

SILVA, P. L. F; OLIVEIRA, F. P; PEREIRA, W. E; BORBA, J. O. M; TAVARES, D. D; SANTOS, T. E. D; MARTINS, A. F. ESTOQUES DE CARBONO E RETENÇÃO HÍDRICA EM BIOMASSA DE GRAMÍNEAS NO AGRESTE DA PARAÍBA. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v. 13, n. 2, p. 155–167, 2019.

SILVA, PAULO DORES, LANDGRAF, MARIA DIVA, REZENDE, M. O. Processo de estabilização de resíduos orgânicos: Vermicompostagem versus compostagem. **Quimica Nova**, v. 36, n. 5, p. 640–645, 2013.

SILVA, W.; SILVEIRA, A. M. E; TAVARES, R.; MARTINS, G.; LIMA, J. S. Velocidade De Infiltração Básica Da Água No Solo Em Diferentes Agroecossistemas Amazônicos. **Agrarian Academy Centro Científico Conhecer**, v. 4, n. 7, p. 127–145, 2018.

SILVA, A. S. et al. Clay and organic matter and effects on aggregation in different soil uses | Argila e matéria orgânica e seus efeitos na agregação em diferentes usos do solo. **Ciencia**

Rural, v. 44, n. 10, p. 1783–1789, 2014.

SILVA, L. S. et al. Does grass-legume intercropping change soil quality and grain yield in integrated crop-livestock systems? **Applied Soil Ecology**, v. 170, n. August 2021, 2022.

SIX, J.; FELLER, C.; DENEFF, K.; OGLE, S.; SA, J. C. M.; ALBRECHT, A. Review article Methods for studying root colonization by introduced. **Agronomie**, v. 22, p. 755–775, 2002.

SIX, J.; FELLER, C.; DENEFF, K.; OGLE, S.; SA, J. C. M.; ALBRECHT, A. Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils - Effects of no-tillage. **Agronomie**, v. 22, p. 755–775, 2002.

SIX, J.; PAUSTIAN, L.; ELLIOT, E. T.; COMBRINK, C. Division s-6—soil and water management and conservation. **Soil Science Society of America Journal**, v. 64, p. 681–689, 2000.

SIX, J. et al. Aggregation and Soil Organic Matter Accumulation in Cultivated and Native Grassland Soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 62, n. 5, p. 1367–1377, 1998.

SIX, J. et al. Recycling of sodium polytungstate used in soil organic matter studies. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 31, n. 8, p. 1193–1196, 1999.

SIX, J. et al. A re-evaluation of the enriched labile soil organic matter fraction. **European Journal of Soil Science**, v. 51, n. 2, p. 283–293, 2000.

SIX, J. et al. Measuring and Understanding Carbon Storage in Afforested Soils by Physical Fractionation. **Soil Science Society of America Journal**, v. 66, n. 6, p. 1981–1987, 2002.

SIX, J. et al. 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.; ELLIOTT, E. T.; PAUSTIAN, K. Aggregate and Soil Organic Matter Dynamics under Conventional and No-Tillage Systems. **Soil Science Society of America Journal**, v. 63, n. 5, p. 1350–1358, 1999.

SIX, J.; ELLIOTT, E. T.; PAUSTIAN, K. Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: A mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 32, n. 14, p. 2099–2103, 2000.

SOARES, M. B. et al. Integrated production systems: An alternative to soil chemical quality restoration in the Cerrado-Amazon ecotone. **Catena**, v. 185, n. April 2019, p. 104279, 2020.

SODHI, G. P. S.; BERI, V.; BENBI, D. K. Soil aggregation and distribution of carbon and nitrogen in different fractions under long-term application of compost in rice-wheat system. **Soil and Tillage Research**, v. 103, n. 2, p. 412–418, 2009.

SOKOL, N. W.; SANDERMAN, J.; BRADFORD, M. A. Pathways of mineral-associated soil organic matter formation: Integrating the role of plant carbon source, chemistry, and point of entry. **Global Change Biology**, v. 25, n. 1, p. 12–24, 2019.

SOLLINS, P.; HOMANN, P.; CALDWELL, B. A. Stabilization and destabilization of soil organic matter: mechanisms and controls. **Geoderma**, v. 74, p. 65–105, 1996.

SOUSA, R. F. DE et al. Matéria orgânica e textura do solo em veredas conservadas e antropizadas no bioma Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 8, p. 861–866, 2011.

STOTZKY, G. Influence of Soil Mineral Colloids on Metabolic Processes, Growth, Adhesion, and Ecology of Microbes and Viruses. **Soil Science Society of America**, n. 17, p. 305–428, 1986.

SULC, M. R; FRANZLUEBBERS, A. J. Exploring integrated crop–livestock systems in different ecoregions of the United States. **European Journal of Agronomy**, v. 57, p. 21–30, 2014.

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Organic matter and water-stable aggregates in soils - TISDALL - 2006 - Journal of Soil Science - Wiley Online Library. **European Journal of Soil Science**, p. 141–163, 1982a.

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, 1982b.

TIVET, F. et al. 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 and Tillage Research**, v. 126, p. 203–218, 2013.

TONG, X. et al. Long-term fertilization effects on organic carbon fractions in a red soil of China. **Catena**, v. 113, p. 251–259, 2014.

TRIVEDI, P. et al. Soil aggregation and associated microbial communities modify the impact of agricultural management on carbon content. **Environmental Microbiology**, v. 19, n. 8, p. 3070–3086, 2017.

VENTURA, B. S. et al. Carbon, nitrogen and humic substances in biogenic and physico-genic aggregates of a soil with a 10- year history of successive applications of swine waste. **Tropical and Subtropical Agroecosystems**, v. 21, p. 329–343, 2018.

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.

VICENTE, T. F. DA S. et al. Relações de atributos do solo e estabilidade de agregados em canaviais com e sem vinhaça. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 11, p. 1215–1222, 2012.

VILELA, E. F; MENDONÇA, E. S. IMPACTO DE Sistemas Agroflorestais SOBRE A MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO: modelagem de Carbono e Nitrogênio Emerson Ferreira Vilela 1, Eduardo Sá Mendonça 2. **Coffee Science**, v. 8, n. 3, p. 354–363, 2013.

VILELA, L. et al. Sistemas de integração lavoura-pecuária na região do Cerrado. **Pesquisa**

Agropecuaria Brasileira, v. 46, n. 10, p. 1127–1138, 2011.

VON LÜTZOW, M. et al. Stabilization mechanisms of organic matter in four temperate soils: Development and application of a conceptual model. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 171, n. 1, p. 111–124, 2008.

WAGAI, R.; MAYER, L. M.; KITAYAMA, K. Nature of the “occluded” low-density fraction in soil organic matter studies: A critical review. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 55, n. 1, p. 13–25, 2009.

WANG, R. JIE et al. Changes in soil organic carbon pools following long-term fertilization under a rain-fed cropping system in the Loess Plateau, China. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 20, n. 9, p. 2512–2525, 2021.

WANG, Y. et al. Soil aggregation regulates distributions of carbon , microbial community and enzyme activities after 23-year manure amendment. **Applied Soil Ecology**, v. 111, p. 65–72, 2017.

WANKHEDE, M. et al. Does soil organic carbon quality or quantity govern relative temperature sensitivity in soil aggregates? **Biogeochemistry**, v. 148, n. 2, p. 191–206, 2020.

WAQAS, M. A. et al. The influence of nutrient management on soil organic carbon storage, crop production, and yield stability varies under different climates. **Journal of Cleaner Production**, v. 268, 2020.

WATTEAU, F. et al. 0-20 Mm Aggregate Typology Based on the Nature of Aggregative Organic Materials in a Cultivated Silty Topsoil. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 46, p. 103–114, 2012.

WU, L. et al. Carbon sequestration under different organic amendments in saline-alkaline soils. **Catena**, v. 196, p. 1–10, 2021.

XIE, J. et al. Carbon sequestration and mineralization of aggregate-associated carbon in an intensively cultivated Anthrosol in north China as affected by long term fertilization. **Geoderma**, v. 296, p. 1–9, 2017.

XU, L. et al. Sensitivity of soil aggregation to soil organic carbon fractions under land-use conversion from rice to organic vegetable cultivation. **Catena**, v. 207, n. February 2020, p. 105661, 2021.

XU, Y. et al. A soil texture manipulation doubled the priming effect following crop straw addition as estimated by two models. **Soil and Tillage Research**, v. 186, n. July 2018, p. 11–22, 2019.

YU, H. et al. Long-term application of organic manure and mineral fertilizers on aggregation and aggregate-associated carbon in a sandy loam soil. **Soil and Tillage Research**, v. 124, p. 170–177, 2012.

YU, Q. et al. Influences of organic material application on the physically separated soil organic carbon and nitrogen fractions in rice fields. **Journal of Soils and Sediments**, v. 21, n.

2, p. 1079–1088, 2021.

ZHAO, Z. H. et al. Fertilizer impacts on soil aggregation and aggregate-associated organic components. **Plant, Soil and Environment**, v. 64, n. 7, p. 338–343, 2018.

ZHU, L. et al. Short-term responses of soil organic carbon and carbon pool management index to different annual straw return rates in a rice-wheat cropping system. **Catena**, v. 135, p. 283–289, 2015.

ZOU, C. et al. Rotation and manure amendment increase soil macro-aggregates and associated carbon and nitrogen stocks in flue-cured tobacco production. **Geoderma**, v. 325, p. 49–58, 2018.

ANEXOS

Anexo 1 - Resultado da análise de variância para Interação Fertilizante x Doses ($p > 0,05$), para Diâmetro médio geométrico (DMG), em resposta à aplicação de doses crescentes de fertilizantes orgânicos e minerais em Nitossolo Vermelho Distroférico típico.

Análise de variância

Fonte de Dados: DMG 0-5 cm

Balanced Design

Variável dependente: DMG 0-5 cm

Teste de normalidade: (Shapiro-Wilk)

Teste de Igualdade de Variância: (P = 0,060)

Fonte de Variação:	DF	SS	MS	F	P
Fertilizantes	4	0,544	0,136	37,141	<0,001
Doses	3	0,216	0,0720	19,663	<0,001
Fertilizantes x Doses	12	0,560	0,0466	12,741	<0,001
Residual	60	0,220	0,00366		
Total	79	1,539	0,0195		

Análise de variância

Fonte de Dados: DMG 5-10 cm

Balanced Design

Variável dependente: DMG 0-5 cm

Teste de normalidade: (Shapiro-Wilk)

Teste de Igualdade de Variância: (P = 0,060)

Fonte de Variação:	DF	SS	MS	F	P
Fertilizantes	4	0,297	0,0742	20,327	<0,001
Doses	3	0,193	0,0643	17,616	<0,001
Fertilizantes x Doses	12	0,499	0,0415	11,387	<0,001
Residual	60	0,219	0,00365		
Total	79	1,207	0,0153		

Análise de variância

Fonte de Dados: DMG 10-20 cm

Balanced Design

Variável dependente: DMG 0-5 cm

Teste de normalidade: (Shapiro-Wilk)

Teste de Igualdade de Variância: (P = 0,060)

Fonte de Variação:	DF	SS	MS	F	P
Fertilizantes	4	0,458	0,115	53,482	<0,001
Doses	3	0,0508	0,0169	7,899	<0,001
Fertilizantes x Doses	12	0,483	0,0402	18,784	<0,001
Residual	60	0,129	0,00214		
Total	79	1,121	0,0142		

Anexo 2 - Resultado da análise de variância para Interação Fertilizante x Doses ($p > 0,05$), para Agregados de 8 a 4,76 mm em resposta à aplicação de doses crescentes de fertilizantes orgânicos e minerais em Nitossolo Vermelho Distroférrico típico.

Análise de Variância

Fonte de Dados: 8 a 4,76 mm 0-5 cm

Balanced Design

Variável dependente: 8 a 4,76 mm 0-5 cm

Teste de normalidade: (Shapiro-Wilk)

Teste de Igualdade de Variância: (P = 0,060)

Fonte de Variação:	DF	SS	MS	F	P
Fertilizantes	4	31,417	7,854	97,245	<0,001
Doses	3	43,630	14,543	180,062	<0,001
Fertilizantes x Doses	12	150,533	12,544	155,313	<0,001
Residual	60	4,846	0,0808		
Total	79	230,426	2,917		

Análise de variância

Fonte de Dados: 8 a 4,76 mm 5-10 cm

Balanced Design

Variável dependente: 8 a 4,76 mm 5-10 cm

Teste de normalidade: (Shapiro-Wilk)

Teste de Igualdade de Variância: (P = 0,060)

Fonte de Variação:	DF	SS	MS	F	P
Fertilizantes	4	186,211	46,553	3471,030	<0,001
Doses	3	427,716	142,572	10630,339	<0,001
Fertilizantes x Doses	12	209,735	17,478	1303,176	<0,001
Residual	60	0,805	0,0134		
Total	79	824,467	10,436		

Análise de variância

Fonte de Dados: 8 a 4,76 mm 10-20 cm

Balanced Design

Variável dependente: 8 a 4,76 mm 10-20 cm

Teste de normalidade: (Shapiro-Wilk)

Teste de Igualdade de Variância: (P = 0,060)

Fonte de Variação:	DF	SS	MS	F	P
Fertilizantes	4	241,182	60,296	254,191	<0,001
Doses	3	95,091	31,697	133,626	<0,001
Fertilizantes x Doses	12	275,669	22,972	96,846	<0,001
Residual	60	14,232	0,237		
Total	79	626,175	7,926		

Anexo 3 - Resultado da análise de variância para Interação Fertilizante x Doses ($p > 0,05$), para Agregados de 4,76 a 2 mm em resposta à aplicação de doses crescentes de fertilizantes orgânicos e minerais em Nitossolo Vermelho Distroférico típico.

Análise de variância

Fonte de Dados: 4,76 a 2,00 mm 0-5 cm

Balanced Design

Variável dependente: 4,76 a 2,00 mm 0-5 cm

Teste de normalidade: (Shapiro-Wilk)

Teste de Igualdade de Variância: (P = 0,060)

Fonte de Variação:	DF	SS	MS	F	P
Fertilizantes	4	31,424	7,856	97,243	<0,001
Doses	3	43,627	14,542	180,007	<0,001
Fertilizantes x Doses	12	150,497	12,541	155,238	<0,001
Residual	60	4,847	0,0808		
Total	79	230,396	2,916		

Análise de variância

Fonte de Dados: 4,76 a 2,00 mm 5-10 cm

Balanced Design

Variável dependente: 4,76 a 2,00 mm 5-10 cm

Teste de normalidade: (Shapiro-Wilk)

Teste de Igualdade de Variância: (P = 0,060)

Fonte de Variação:	DF	SS	MS	F	P
Fertilizantes	4	186,261	46,565	3448,574	<0,001
Doses	3	427,650	142,550	10557,104	<0,001
Fertilizantes x Doses	12	209,805	17,484	1294,829	<0,001
Residual	60	0,810	0,0135		
Total	79	824,526	10,437		

Análise de variância

Fonte de Dados: 4,76 a 2,00 mm 10-20 cm

Balanced Design

Variável dependente: 4,76 a 2,00 mm 10-20 cm

Teste de normalidade: (Shapiro-Wilk)

Teste de Igualdade de Variância: (P = 0,060)

Fonte de Variação:	DF	SS	MS	F	P
Fertilizantes	4	241,248	60,312	253,431	<0,001
Doses	3	95,076	31,692	133,170	<0,001
Fertilizantes x Doses	12	275,687	22,974	96,536	<0,001
Residual	60	14,279	0,238		
Total	79	626,290	7,928		

Anexo 4 - Resultado da análise de variância para Interação Fertilizante x Doses ($p > 0,05$), Carbono orgânico particulado (COP) da classe 1, em resposta à aplicação de doses crescentes de fertilizantes orgânicos e minerais em Nitossolo Vermelho Distroférico típico.

Análise de variância

Fonte de Dados: COP 0-5 cm

Balanced Design

Variável dependente: COP 0-5 cm

Teste de normalidade: (Shapiro-Wilk)

Teste de Igualdade de Variância: (P = 0,060)

Fonte de Variação:	DF	SS	MS	F	P
Fertilizantes	4	129,774	32,444	9,984	<0,001
Doses	3	60,156	20,052	6,170	0,001
Fertilizantes x Doses	12	105,399	8,783	2,703	0,006
Residual	60	194,982	3,250		
Total	79	490,311	6,206		

Análise de variância

Fonte de Dados: COP 5-10 cm

Balanced Design

Variável dependente: COP 5-10 cm

Teste de normalidade: (Shapiro-Wilk)

Teste de Igualdade de Variância: (P = 0,060)

Fonte de Variação:	DF	SS	MS	F	P
Fertilizantes	4	1,731	0,433	4,963	0,002
Doses	3	1,787	0,596	6,829	<0,001
Fertilizantes x Doses	12	5,307	0,442	5,071	<0,001
Residual	60	5,233	0,0872		
Total	79	14,058	0,178		

Análise de variância

Fonte de Dados: COP 10-20 cm

Balanced Design

Variável dependente: COP 10-20 cm

Teste de normalidade: (Shapiro-Wilk)

Teste de Igualdade de Variância: (P = 0,060)

Fonte de Variação:	DF	SS	MS	F	P
Fertilizantes	4	2,083	0,521	4,729	0,002
Doses	3	5,591	1,864	16,924	<0,001
Fertilizantes x Doses	12	7,127	0,594	5,393	<0,001
Residual	60	6,608	0,110		
Total	79	21,409	0,271		

Anexo 5 - Resultado da análise de variância para Interação Fertilizante x Doses ($p>0,05$), Carbono orgânico associado aos minerais (COAM) da classe 1, em resposta à aplicação de doses crescentes de fertilizantes orgânicos e minerais em Nitossolo Vermelho Distroférico típico.

Análise de variância

Fonte de Dados: COAM 0-5 cm

Balanced Design

Variável dependente: COAM 0-5 cm

Teste de normalidade: (Shapiro-Wilk)

Teste de Igualdade de Variância: (P = 0,060)

Fonte de Variação:	DF	SS	MS	F	P
Fertilizantes	4	204,080	51,020	22,307	<0,001
Doses	3	80,739	26,913	11,767	<0,001
Fertilizantes x Doses	12	239,328	19,944	8,720	<0,001
Residual	60	137,232	2,287		
Total	79	661,379	8,372		

Análise de variância

Fonte de Dados: COAM 5-10 cm

Balanced Design

Variável dependente: COAM 5-10 cm

Teste de normalidade: (Shapiro-Wilk)

Teste de Igualdade de Variância: (P = 0,060)

Fonte de Variação:	DF	SS	MS	F	P
Fertilizantes	4	36,879	9,220	0,855	0,497
Doses	3	20,407	6,802	0,630	0,598
Fertilizantes x Doses	12	110,627	9,219	0,854	0,596
Residual	60	647,368	10,789		
Total	79	815,281	10,320		

Análise de variância

Fonte de Dados: COAM 10-20 cm

Balanced Design

Variável dependente: COAM 10-20 cm

Teste de normalidade: (Shapiro-Wilk)

Teste de Igualdade de Variância: (P = 0,060)

Fonte de Variação:	DF	SS	MS	F	P
Fertilizantes	4	35,061	8,765	9,405	<0,001
Doses	3	246,435	82,145	88,144	<0,001
Fertilizantes x Doses	12	97,467	8,122	8,715	<0,001
Residual	60	55,917	0,932		
Total	79	434,880	5,50		

Anexo 6 - Resultado da análise de variância para Interação Fertilizante x Doses ($p > 0,05$), Carbono orgânico particulado (COP) da classe 2, em resposta à aplicação de doses crescentes de fertilizantes orgânicos e minerais em Nitossolo Vermelho Distroférico típico.

Análise de variância

Fonte de Dados: COP 0-5 cm

Balanced Design

Variável dependente: COP 0-5 cm

Teste de normalidade: (Shapiro-Wilk)

Teste de Igualdade de Variância: (P = 0,060)

Fonte de Variação:	DF	SS	MS	F	P
Fertilizantes	4	72,484	18,121	35,720	<0,001
Doses	3	86,058	28,686	56,546	<0,001
Fertilizantes x Doses	12	45,997	3,833	7,556	<0,001
Residual	60	30,438	0,507		
Total	79	234,977	2,974		

Análise de variância

Fonte de Dados: COP 5-10 cm

Balanced Design

Variável dependente: COP 5-10 cm

Teste de normalidade: (Shapiro-Wilk)

Teste de Igualdade de Variância: (P = 0,060)

Fonte de Variação:	DF	SS	MS	F	P
Fertilizantes	4	29,700	7,425	14,997	<0,001
Doses	3	4,032	1,344	2,715	0,053
Fertilizantes x Doses	12	25,347	2,112	4,266	<0,001
Residual	60	29,706	0,495		
Total	79	88,785	1,124		

Análise de variância

Fonte de Dados: COP 10-20 cm

Balanced Design

Variável dependente: COP 10-20 cm

Teste de normalidade: (Shapiro-Wilk)

Teste de Igualdade de Variância: (P = 0,060)

Fonte de Variação:	DF	SS	MS	F	P
Fertilizantes	4	8,325	2,081	7,564	<0,001
Doses	3	18,776	6,259	22,746	<0,001
Fertilizantes x Doses	12	36,685	3,057	11,110	<0,001
Residual	60	16,510	0,275		
Total	79	80,297	1,016		

Anexo 7 - Resultado da análise de variância para Interação Fertilizante x Doses ($p > 0,05$), Carbono orgânico associado aos minerais (COAM) da classe 2, em resposta à aplicação de doses crescentes de fertilizantes orgânicos e minerais em Nitossolo Vermelho Distroférico típico.

Análise de variância

Fonte de Dados: COAM 0-5 cm

Balanced Design

Variável dependente: COAM 0-5 cm

Teste de normalidade: (Shapiro-Wilk)

Teste de Igualdade de Variância: (P = 0,060)

Fonte de Variação:	DF	SS	MS	F	P
Fertilizantes	4	35,595	8,899	5,195	0,001
Doses	3	90,568	30,189	17,624	<0,001
Fertilizantes x Doses	12	78,015	6,501	3,795	<0,001
Residual	60	102,779	1,713		
Total	79	306,957	3,886		

Análise de variância

Fonte de Dados: COAM 5-10 cm

Balanced Design

Variável dependente: COAM 5-10 cm

Teste de normalidade: (Shapiro-Wilk)

Teste de Igualdade de Variância: (P = 0,060)

Fonte de Variação:	DF	SS	MS	F	P
Fertilizantes	4	19,925	4,981	2,641	0,042
Doses	3	3,781	1,260	0,668	0,575
Fertilizantes x Doses	12	26,251	2,188	1,160	0,332
Residual	60	113,168	1,886		
Total	79	163,125	2,065		

Análise de variância

Fonte de Dados: COAM 10-20 cm

Balanced Design

Variável dependente: COAM 10-20 cm

Teste de normalidade: (Shapiro-Wilk)

Teste de Igualdade de Variância: (P = 0,060)

Fonte de Variação:	DF	SS	MS	F	P
Fertilizantes	4	29,880	7,470	0,468	0,759
Doses	3	37,248	12,416	0,778	0,511
Fertilizantes x Doses	12	44,014	3,668	0,230	0,996
Residual	60	958,071	15,968		
Total	79	1069,214	13,534		

Anexo 8 - Resultado da análise de variância para Interação Fertilizante x Doses ($p > 0,05$), para porcentagem da fração particulada do Carbono orgânico total (COT) da classe 1, em resposta à aplicação de doses crescentes de fertilizantes orgânicos e minerais em Nitossolo Vermelho Distroférico típico.

Análise de variância

Fontes de dados: %COP_COT 0-5 cm

Balanced Design

Variável dependente: % COP_COT 0-5 cm

Teste de normalidade: (Shapiro-Wilk)

Teste de Igualdade de Variância: (P = 0,060)

Fonte de Variação:	DF	SS	MS	F	P
Fertilizantes	4	424,318	106,080	5,272	0,001
Doses	3	362,230	120,743	6,000	0,001
Fertilizantes x Doses	12	446,235	37,186	1,848	0,060
Residual	60	1207,369	20,123		
Total	79	2440,152	30,888		

Análise de variância

Fontes de dados: %COP_COT 5-10 cm

Balanced Design

Variável dependente: % COP_COT 5-10 cm

Teste de normalidade: (Shapiro-Wilk)

Teste de Igualdade de Variância: (P = 0,060)

Fonte de Variação:	DF	SS	MS	F	P
Fertilizantes	4	35,946	8,986	6,719	<0,001
Doses	3	19,341	6,447	4,820	0,005
Fertilizantes x Doses	12	104,788	8,732	6,529	<0,001
Residual	60	80,252	1,338		
Total	79	240,327	3,042		

Análise de variância

Fontes de dados: %COP_COT 10-20 cm

Balanced Design

Variável dependente: % COP_COT 10-20 cm

Teste de normalidade: (Shapiro-Wilk)

Teste de Igualdade de Variância: (P = 0,060)

Fonte de Variação:	DF	SS	MS	F	P
Fertilizantes	4	25,342	6,336	2,858	0,031
Doses	3	196,864	65,621	29,600	<0,001
Fertilizantes x Doses	12	108,256	9,021	4,069	<0,001
Residual	60	133,018	2,217		
Total	79	463,480	5,867		

Anexo 9 - Resultado da análise de variância para Interação Fertilizante x Doses ($p > 0,05$), para porcentagem da fração particulada do Carbono orgânico total (COT) da classe 2, em resposta à aplicação de doses crescentes de fertilizantes orgânicos e minerais em Nitossolo Vermelho Distroférico típico.

Análise de variância

Fontes de dados: %COP_COT 0-5 cm

Balanced Design

Variável dependente: % COP_COT 0-5 cm

Teste de normalidade: (Shapiro-Wilk)

Teste de Igualdade de Variância: (P = 0,060)

Fonte de Variação:	DF	SS	MS	F	P
Fertilizantes	4	181,212	45,303	9,772	<0,001
Doses	3	723,894	241,298	52,049	<0,001
Fertilizantes x Doses	12	257,335	21,445	4,626	<0,001
Residual	60	278,160	4,636		
Total	79	1440,601	18,235		

Análise de variância

Fontes de dados: %COP_COT 5-10 cm

Balanced Design

Variável dependente: % COP_COT 5-10 cm

Teste de normalidade: (Shapiro-Wilk)

Teste de Igualdade de Variância: (P = 0,060)

Fonte de Variação:	DF	SS	MS	F	P
Fertilizantes	4	342,456	85,614	10,618	<0,001
Doses	3	42,605	14,202	1,761	0,164
Fertilizantes x Doses	12	305,246	25,437	3,155	0,002
Residual	60	483,765	8,063		
Total	79	1174,071	14,862		

Análise de variância

Fontes de dados: %COP_COT 10-20 cm

Balanced Design

Variável dependente: % COP_COT 10-20 cm

Teste de normalidade: (Shapiro-Wilk)

Teste de Igualdade de Variância: (P = 0,060)

Fonte de Variação:	DF	SS	MS	F	P
Fertilizantes	4	185,429	46,357	8,632	<0,001
Doses	3	432,806	144,269	26,864	<0,001
Fertilizantes x Doses	12	655,404	54,617	10,170	<0,001
Residual	60	322,220	5,370		
Total	79	1595,859	20,201		

Anexo 10 - Resultado da análise de variância para Interação Fertilizante x Doses ($p > 0,05$), para porcentagem da fração associado aos minerais do Carbono orgânico total (COT) da classe 1, em resposta à aplicação de doses crescentes de fertilizantes orgânicos e minerais em Nitossolo Vermelho Distroférico típico.

Análise de variância

Fontes de dados: %COAM_COT 0-5 cm

Balanced Design

Variável dependente: % COAM_COT 0-5 cm

Teste de normalidade: (Shapiro-Wilk)

Teste de Igualdade de Variância: (P = 0,060)

Fonte de Variação:	DF	SS	MS	F	P
Fertilizantes	4	420,964	105,241	5,191	0,001
Doses	3	355,999	118,666	5,853	0,001
Fertilizantes x Doses	12	442,311	36,859	1,818	0,065
Residual	60	1216,538	20,276		
Total	79	2435,812	30,833		

Análise de variância

Fontes de dados: %COAM_COT 5-10 cm

Balanced Design

Variável dependente: % COAM_COT 5-10cm

Teste de normalidade: (Shapiro-Wilk)

Teste de Igualdade de Variância: (P = 0,060)

Fonte de Variação:	DF	SS	MS	F	P
Fertilizantes	4	35,922	8,980	6,756	<0,001
Doses	3	19,211	6,404	4,817	0,005
Fertilizantes x Doses	12	105,393	8,783	6,607	<0,001
Residual	60	79,761	1,329		
Total	79	240,287	3,042		

Análise de variância

Fontes de dados: %COAM_COT 10-20 cm

Balanced Design

Variável dependente: % COAM_COT 10-20 cm

Teste de normalidade: (Shapiro-Wilk)

Teste de Igualdade de Variância: (P = 0,060)

Fonte de Variação:	DF	SS	MS	F	P
Fertilizantes	4	25,292	6,323	2,851	0,031
Doses	3	196,481	65,494	29,532	<0,001
Fertilizantes x Doses	12	108,003	9,000	4,058	<0,001
Residual	60	133,063	2,218		
Total	79	462,838	5,859		

Anexo 11 - Resultado da análise de variância para Interação Fertilizante x Doses ($p > 0,05$), para porcentagem da fração associado aos minerais do Carbono orgânico total (COT) da classe 2, em resposta à aplicação de doses crescentes de fertilizantes orgânicos e minerais em Nitossolo Vermelho Distroférico típico.

Análise de variância

Fontes de dados: %COAM_COT 0-5 cm

Balanced Design

Variável dependente: % COAM_COT 0-5 cm

Teste de normalidade: (Shapiro-Wilk)

Teste de Igualdade de Variância: (P = 0,060)

Fonte de Variação:	DF	SS	MS	F	P
Fertilizantes	4	181,153	45,288	9,765	<0,001
Doses	3	722,991	240,997	51,966	<0,001
Fertilizantes x Doses	12	259,064	21,589	4,655	<0,001
Residual	60	278,256	4,638		
Total	79	1441,465	18,246		

Análise de variância

Fontes de dados: %COAM_COT 5-10 cm

Balanced Design

Variável dependente: % COAM_COT 5-10 cm

Teste de normalidade: (Shapiro-Wilk)

Teste de Igualdade de Variância: (P = 0,060)

Fonte de Variação:	DF	SS	MS	F	P
Fertilizantes	4	341,521	85,380	10,605	<0,001
Doses	3	42,587	14,196	1,763	0,164
Fertilizantes x Doses	12	304,662	25,389	3,153	0,002
Residual	60	483,060	8,051		
Total	79	1171,830	14,833		

Análise de variância

Fontes de dados: %COAM_COT 10-20 cm

Balanced Design

Variável dependente: % COAM_COT 10-20 cm

Teste de normalidade: (Shapiro-Wilk)

Teste de Igualdade de Variância: (P = 0,060)

Fonte de Variação:	DF	SS	MS	F	P
Fertilizantes	4	185,367	46,342	8,640	<0,001
Doses	3	433,699	144,566	26,953	<0,001
Fertilizantes x Doses	12	655,107	54,592	10,178	<0,001
Residual	60	321,818	5,364		
Total	79	1595,990	20,202		

Anexo 12 - Aporte nutricional dos fertilizantes orgânicos no sistema iLP (2011-2017).

	Teor de Nutrientes no Fertilizante (g kg ⁻¹ ou L ⁻¹)			Dose 100% kg ou L ha ⁻¹	Aporte de P (kg ha ⁻¹)			Aporte de C (kg ha ⁻¹)		
	N	P	C		% de Recomendação			% de Recomendação		
				75	100	150	75	100	150	
Cultivo do milho 2011/12										
Cama	20,7	13,4	290	4800	48	64	96	1044	1392	2088
Dejeto	3,72	1,43	13	26880	28	38	57	262	349	523
Cultivo do milho 2012/13										
Cama	21,8	13,3	270	4600	46	61	91	931	1242	1863
Dejeto	3,85	0,99	8,5	25974	19	25	37	166	221	331
Composto	5,9	5,5	105	16949	70	93	139	1334	1779	2668
Cultivo de soja 2013/2014										
Cama	20,3	11,6	259	2463	22	29	43	478	638	957
Dejeto	4,2	0,82	12,5	11905	7,5	10	15	112	149	223
Composto	6,5	6,5	132	15384	75	100	150	1523	2031	3046
Cultivo de milho 2014/2015										
Cama	24,2	12,6	263,1	4132	39	52	78	815	1087	1630
Dejeto	2,7	0,9	9,8	37037	25	33	49	272	363	544
Composto	5,8	4,7	95,3	17241	61	81	121	1232	1643	2464
Cultivo de soja 2015/2016										
Cama	22,1	10,6	282	2262	18	24	36	478	638	957
Dejeto	3,4	0,9	10,5	14706	10	13	19	115	154	231
Composto	8,5	7,9	127	5882	34	46	69	560	747	1120
Cultivo de milho 2016/2017										
Cama	25,5	15,3	296	3921	45	60	90	871	1161	1741
Dejeto	2,5	0,35	5,7	40000	10	14	21	171	228	342
Composto	6,8	7,6	125	14706	84	112	168	1378	1838	2757
Soma do aporte durante a condução do sistema										
Cama					218,0	290,0	434,0	4617,0	6158,0	9236,0
Dejeto					99,5	133,0	198,0	1098,0	1464,0	2194,0
Composto					324,0	432,0	647,0	6027,0	8038,0	12055,0

Fonte: Rigo et al. (2019).