

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**FRAÇÕES DE CARBONO E NITROGÊNIO MINERALIZÁVEL NO SOLO
EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA**

HENRIQUE FONTELLAS LAURITO

ORIENTADORA: PROFA. DRA. MARA CRISTINA PESSÔA DA CRUZ

Trabalho apresentado à Faculdade de Ciências
Agrárias e Veterinárias - UNESP, Campus de
Jaboticabal, para graduação em ENGENHARIA
AGRONÔMICA.

Jaboticabal - SP
2º Semestre/2021

L386f Laurito, Henrique Fontellas
Frações de carbono e nitrogênio mineralizável no solo em sistema de integração lavoura-pecuária / Henrique Laurito. -- Jaboticabal, 2022
42 p. : il., tabs.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia Agrônômica) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal
Orientadora: Mara Cristina Pessôa da Cruz

1. Fertilidade do solo. 2. Matéria orgânica no solo. 3. Lavoura. 4. Pecuária. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CÂMPUS DE JABOTICABAL



DEPARTAMENTO: CIÊNCIAS DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO TRABALHO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

TÍTULO: Frações de carbono e nitrogênio mineralizável no solo em sistema de integração
lavoura-pecuária

ACADÊMICO: Henrique Fontellas Laurito

CURSO: Engenharia Agrônômica

ORIENTADOR (ES): Profa. Dra. Mara Cristina Pessoa da Cruz

Aprovado e corrigido de acordo com as sugestões da Banca Examinadora

BANCA EXAMINADORA:

	(Nomes)	(Assinaturas)
Presidente	Profa. Dra. Mara Cristina Pessoa da Cruz	
Membro	M.Sc. Amanda Manduca Rosa da Silva	
Membro	Dra. Roberta Souto Carlos	

Jaboticabal 17 / 12 / 2021

Aprovado em reunião do Conselho do Departamento em: 27 / 01 / 2022 “Ad referendum”



Chefe do Departamento

OFERECIMENTO

Ofereço este trabalho a todos, tanto aos envolvidos na área acadêmica quanto aos que buscam informações acerca do tema proposto. Vivemos em um triste cenário político que cala os pesquisadores e retira suas verbas em benefício da corrupção. A ciência brasileira deve ser incentivada e amparada para que consigamos sobreviver ao pior mal de todos: a alienação.

Agradeço imensamente às pessoas que me ajudaram e auxiliaram na conclusão deste trabalho de conclusão de curso.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio ao projeto de número 2020/16651-4.

Aos meus pais, por terem dado a mim a oportunidade e o privilégio de estudar em uma universidade pública de qualidade como a Unesp. Reconheço e aprecio muito o esforço de vocês. Muito obrigado.

Às amizades inesquecíveis que fiz no período de graduação. Jamais esquecerei os momentos engraçadíssimos que passamos juntos.

Ao Laboratório de Fertilidade do Solo pela oportunidade de crescimento profissional e pessoal. Agradeço a todos os integrantes da equipe, sobretudo a Amanda Manduca Rosa da Silva e a Roberta Souto Carlos, que me acompanharam e me ensinaram muito.

À Professora Mara Cristina Pessôa da Cruz, por me acolher e me orientar, não só como aluno, mas como pessoa. Com certeza você é uma das pessoas que eu mais admiro e respeito não só pela inteligência, mas pela calma, serenidade e sabedoria que transmite a todos os seus orientados e alunos. Muito obrigado por tudo.

À minha namorada, Thais Padovani, pelo apoio nos momentos mais difíceis que passei durante a realização deste projeto. Você me ajudou, deu suporte, alento e ânimo nos momentos mais difíceis. Muito obrigado por ser um porto seguro para mim.

A todos os envolvidos que me tornaram um profissional mais completo, dedicado e crítico.

Muito obrigado.

ÍNDICE

RESUMO	iv
SUMMARY	v
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. Integração lavoura-pecuária e a qualidade de solo.....	4
2.2. Matéria orgânica e suas frações como indicadores de qualidade do solo.....	5
2.3. Formas lábeis de carbono.....	7
2.4. Nitrogênio orgânico mineralizável	9
3. MATERIAL E MÉTODOS	11
3.1. Localização do experimento, caracterização da área e tratamentos.....	11
3.2. Incubação das amostras de solo.....	14
3.3. Determinação do carbono orgânico particulado	14
3.4. Determinação do nitrogênio mineralizado	16
3.5. Forma de análise dos resultados	17
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	18
5. CONCLUSÕES	30
6. LITERATURA CITADA.....	31

RESUMO

Em pesquisas sobre manejo de solo a matéria orgânica é frequentemente fracionada, com ênfase para a fração mais lábil, que é a mais sensível às alterações do manejo e a mais diretamente associada à ciclagem de nutrientes. Essa sensibilidade permite ganhar tempo para recomendar as melhores estratégias ou propor ajustes no manejo para aumentar a qualidade do solo e a sustentabilidade dos sistemas de produção. Com o presente trabalho objetivou-se avaliar as frações do carbono orgânico (C Orgânico Particulado Grosso, Fino e Associado a Minerais) e o N orgânico mineralizável em sistema de integração lavoura-pecuária (ILP) em que foram testados, na integração, diferentes sistemas de semeadura de milho de capim-marandu. O experimento foi instalado no ano de 2015, no Centro de Pesquisa de Bovinos de Corte de Sertãozinho, pertencente ao Instituto de Zootecnia/APTA/SAA. O delineamento do experimento foi em blocos casualizados com seis tratamentos e três repetições. Os tratamentos foram: Lavoura (milho para grãos); Pecuária (capim-marandu); ILP1: milho mais capim-marandu com semeadura simultânea na adubação de plantio; ILP2: milho mais capim-marandu com semeadura simultânea na adubação de plantio + aplicação de herbicida nicosulfuron; ILP3: milho mais capim-marandu com semeadura do capim-marandu na adubação de cobertura do milho; ILP4: milho mais capim-marandu com semeadura simultânea do capim-marandu na linha e na entrelinha do milho + aplicação do herbicida nicosulfuron. O experimento foi conduzido até janeiro de 2018, totalizando 2 ciclos de colheita do milho, quando foi feita coleta de amostras de solo nas profundidades de 0-10 cm e 10-20 cm. Parte do volume de solo coletado foi incubado por 28 dias a 25°C (amostras incubadas) e a outra parte foi mantida em temperatura ambiente (amostras não incubadas) e, nas amostras incubadas e não incubadas, foram determinadas as frações de carbono e o nitrogênio mineralizado em 28 dias. Nas mesmas amostras incubadas foi feita a determinação de N mineral para obtenção do N mineralizado em 28 dias. Na análise estatística as monoculturas de milho e capim e os sistemas de semeadura dentro do ILP foram considerados os tratamentos principais, e as profundidades, os secundários. Os efeitos dos tratamentos nos teores de COp antes da incubação e no N mineralizado foram avaliados empregando análise de variância pelo teste F e comparação de médias pelo teste de Tukey. O COp foi maior nos sistemas de integração lavoura-pecuária, particularmente na ILP1 (milho mais capim-marandu com semeadura simultânea na adubação de plantio) e ILP3 (milho mais capim-marandu com semeadura do capim-marandu na adubação de cobertura do milho). Os sistemas de semeadura e manejo não influenciaram no teor de nitrogênio mineralizado. Na profundidade de 0 a 10 cm houve maior teor de Nmin, COp e COam.

Palavras-chave: Integração lavoura-pecuária; carbono orgânico particulado; nitrogênio mineralizável; incubação aeróbia; fracionamento físico.

Carbon fractions and mineralizable nitrogen in the soil in an Integrated Crop-Livestock System

SUMMARY

In research on soil management, organic matter is often fractionated, with emphasis on the labile fraction, which is the most sensitive to changes in management and the most directly associated with nutrient cycling. This sensitivity allows to save time to recommend the best strategies or propose adjustments in management to increase soil quality and sustainability of production systems. The objective of this study was to evaluate the physical fractions of carbon (Coarse and Fine Particulate Organic Carbon and Organic Carbon Associated with Minerals) and mineralizable organic N in an Integrated Crop-Livestock System (ICLS) in which different corn and marandu grass sowing systems were evaluated in the integration. The experiment was installed in 2015 at the Research Center for Beef Cattle of Sertãozinho, belonging to the Institute of Animal Science/APTA/SAA. The design of the experiment was randomized blocks with six treatments and three replications. The treatments were: Tillage (corn for grains); Livestock (marandu grass); ICLS1: corn plus marandu grass with simultaneous sowing in planting fertilization; ICLS2: corn plus marandu grass with simultaneous sowing in planting fertilization + application of nicosulfuron herbicide; ICLS3: corn plus marandu grass with marandu grass sowing in corn cover fertilization; ICLS4: corn plus marandu grass with simultaneous sowing of marandu grass in the corn line and between line + application of the herbicide nicosulfuron. The experiment was conducted until January 2018, when soil samples were collected at depths of 0-10 cm and 10-20 cm. Part of the collected soil volume was incubated for 28 days at 25°C (incubated samples) and the other part was kept at room temperature (non-incubated samples) and, in incubated and non-incubated samples, carbon fractions and mineralized nitrogen were determined in 28 days of incubation. In the statistical analysis, monoculture corn and grass and sowing systems within the ICLS were considered the main treatments, and the depths, the secondary ones. The effects of treatments on POC levels before incubation and mineralized N were evaluated using variance analysis by f-test and comparison of means by Tukey test. Particulate organic carbon was higher in crop-livestock integration systems, particularly in ICLS1 (marandu-grass plus corn with simultaneous sowing in planting fertilization) and ICLS3 (marandu-grass corn with marandu grass sowing in corn cover fertilization). The sowing and management systems did not influence the mineralized nitrogen content. In the layer from 0 to 10 cm there was a higher content of mineralized nitrogen, particulate organic carbon and associated with minerals.

Keywords: Crop-livestock integration; particulate organic carbon; mineralizable nitrogen; aerobic incubation; physical fractionation.

1. INTRODUÇÃO

O uso constante do solo em sistemas de manejo não conservacionistas tem causado impactos negativos na produção agrícola. Como consequência dessa prática, tem havido perda de qualidade nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo, tornando a produção demasiadamente onerosa, devido à maior demanda de insumos. Com a finalidade de amenizar custos e otimizar o aproveitamento das áreas e das atividades implementadas, sistemas de manejo conservacionistas vêm sendo amplamente utilizados pelos produtores. Dentre os sistemas de manejo conservacionistas, os sistemas de integração lavoura-pecuária (ILP), pelos seus impactos positivos, vêm se destacando como estratégia de manutenção da cobertura do solo, o que favorece o aumento do teor de matéria orgânica do solo (MOS).

A matéria orgânica do solo (MOS), devido a sua habilidade de estocar nutrientes, principalmente o nitrogênio (N), e aumentar a capacidade de troca

de cátions (CTC), é considerada um dos atributos que mais interfere direta e positivamente na qualidade do solo. Na ILP, as práticas agropecuárias podem ocorrer o ano todo. O solo sob esse sistema fica, portanto, sempre protegido pelos resíduos vegetais e pela cultura em si, o que favorece maior aporte de MOS. Com a adoção da ILP existe, conseqüentemente, a expectativa de obter ambos os efeitos proporcionados pelo aumento de MOS: aumento de CTC e da reserva de N.

Os conteúdos totais de MOS variam lentamente com as alterações no manejo do solo. Exatamente por isso, muitas vezes, para compreender os efeitos do manejo na MOS, ela é fracionada através do emprego de métodos químicos e físicos, em reservatórios de maior ou de menor estabilidade físico-química. As frações menos estáveis são chamadas de lábeis e as mais estáveis, de não lábeis. As medidas das formas lábeis de carbono (C) e de N são frequentemente utilizadas, pois são sensíveis aos efeitos de sistemas de manejo que, em curto prazo, afetam a ciclagem dos nutrientes.

Um dos esquemas de fracionamento mais usados para estudar a MOS é o físico, com separação das partículas da MOS em função do tamanho. Desse tipo de análise resulta o carbono orgânico particulado (COp), que é uma medida muito usada na avaliação da qualidade de sistemas de manejo, pois apresenta maior sensibilidade às alterações causadas pelo manejo em relação a outras medidas de matéria orgânica lábil. Às formas lábeis do carbono associam-se às formas de nutrientes que mais rapidamente mineralizam no solo e, portanto, mais rapidamente são disponibilizadas para as culturas em crescimento. Ter o grau de associação entre COp e taxas de mineralização de

nutrientes, particularmente do N armazenado na MOS, é relevante para todos os sistemas de produção, inclusive para as ILPs, e esses estudos, no Brasil, estão começando, uma vez que a própria adoção das ILPs é recente.

No Instituto de Zootecnia de Sertãozinho foi instalado um experimento com ILP em 2015, com a finalidade de estabelecer a melhor forma de semeadura das espécies que o compõem. Em janeiro de 2018 foi realizada a amostragem de solo, com o objetivo de determinar o COp e o N orgânico mineralizável para avaliação dos efeitos isolados e do grau de associação entre as duas variáveis, sob a hipótese de que a ILP resulta em maior teor de COp do que os monocultivos de milho e de capim-marandu e que o COp se relaciona com o N potencialmente mineralizável avaliado por incubação aeróbia de curta duração nos diferentes sistemas de semeadura.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Integração lavoura-pecuária e a qualidade de solo

Os sistemas de monocultivo são, de modo geral, altamente dependentes dos insumos agrícolas, o que os torna demasiadamente onerosos e pouco produtivos, principalmente devido ao aumento de ocorrência de ciclos bióticos deletérios (pragas e doenças), degradação do solo e esgotamento de recursos naturais (Balbino et al., 2012), aumentando a demanda de defensivos fitossanitários e adubos industriais, por exemplo.

Frente a esse problema, o interesse no desenvolvimento e emprego de novos sistemas agropecuários que proporcionem redução nos impactos causados pelo monocultivo tem aumentado. Dentre eles, técnicas de integração que utilizam o milho (*Zea mays*) com gramíneas do gênero *Urochloa* como espécies consorciadas, ganhou importância em regiões agropastoris como alternativa à monocultura intensiva de capim (Balbino et al., 2012; Macedo, 2000; Maia et al., 2021)

Na Integração Lavoura Pecuária (ILP) combinam-se rotação, diversificação, consorciação e/ou sucessão das atividades agrícolas/pecuárias dentro da propriedade rural, de forma integrada, na mesma área e em épocas

diferentes, aumentando a eficiência no uso dos recursos naturais e com menor impacto no meio ambiente, beneficiando ambas as partes integradas. A ILP contribui para a recuperação de áreas degradadas, alterando atributos do solo como a dinâmica dos nutrientes, o fluxo de água e a diversidade da microbiota (Assmann et al., 2014). A avaliação de alguns atributos permite a seleção das melhores estratégias de manejo dentro da ILP, e pode ser feita por indicadores de qualidade do solo (Balbino et al., 2012; Maia et al., 2021).

Além da combinação de espécies vegetais, na ILP há a participação de animais. Este fator é muito importante, pois eles fazem retornar cerca de 70 a 95% dos nutrientes ingeridos em forma de dejetos (fezes e urina), o que acelera a disponibilidade de nutrientes às plantas, aumentando a velocidade de ciclagem, reduzindo as perdas por lixiviação e erosão, quando comparados com o monocultivo (Balbino et al., 2012; Maia et al., 2021).

Costa et al. (2015) e Portilho et al. (2018), ao avaliarem os monocultivos de milho e sorgo ou consórcio com *Urochloa brizantha*, concluíram que os sistemas consorciados foram eficazes para a manutenção e melhoria dos atributos químicos, principalmente os estoques de carbono orgânico, além de aumentar a biodiversidade do solo, com possível aumento na mineralização das formas lábeis de carbono e de nitrogênio.

2.2. Matéria orgânica e suas frações como indicadores de qualidade do solo

A matéria orgânica do solo (MOS) é o atributo mais frequentemente associado com qualidade de solo (Bünemann et al., 2018), devido aos seus reflexos na agregação, na fertilidade e na biologia do solo. Quando ocorre

aumento da MOS, entre os vários efeitos esperados, têm-se, particularmente: (i) ganho nos estoques de nutrientes, sobretudo o nitrogênio e (ii) aumento na capacidade de troca de cátions. Com a adoção da ILP há expectativa de obter ambos os efeitos, porque o sistema permite ocupar o solo o ano todo e obter maior produção das culturas e de resíduos vegetais/animais por hectare, o que pode favorecer o aumento do teor de MOS (Assmann et al., 2014). O problema é que a MOS é um dos componentes mais complexos do solo, e alterações no seu conteúdo total demandam tempo. Exatamente por isso, em pesquisa sobre sistemas de cultivo e de manejo de solo, a MOS é, muitas vezes, fracionada em pesquisas de curta duração.

Nos esquemas de fracionamento da MOS, que podem ser classificados em químicos e físicos, fica subentendida a existência de pelo menos duas frações, uma de decomposição mais rápida e outra mais resistente. Strosser (2010) subdividiu a MOS nas frações lábil, estável e inerte. A fração lábil consiste em microrganismos, plantas, resíduos de fauna do solo sob diferentes níveis de decomposição, substâncias orgânicas não-húmicas facilmente decomponíveis como carboidratos, polissacarídeos, proteínas, ácidos orgânicos, aminoácidos, ceras e ácidos graxos. Essa fração provê energia e nutrientes para os microrganismos do solo e, a partir do processo de decomposição (mineralização), há liberação de parte dos nutrientes para as plantas. Sua taxa de decomposição varia de alguns dias a anos, dependendo das condições do próprio solo, como porosidade/aeração, temperatura, umidade e pH. Aeração, temperatura e valores altos de pH, e umidade abaixo de 70% de poros cheios de água, favorecem o processo de mineralização. A

fração estável é a fração menos decomponível. A função principal é prover carga de superfície para o processo de troca catiônica. Sua meia-vida varia de ano a décadas. A fração inerte, de maneira geral, não é reativa. Sua função está ligada à estrutura física do solo e sua meia-vida varia entre décadas e séculos.

O fracionamento químico dos componentes da MOS em substâncias não húmicas e húmicas, seguido da separação das substâncias húmicas em ácidos fúlvicos e húmicos (Stevenson, 1995), foi usado por muito tempo, mas tem sido questionado (Kleber; Lehmann, 2019; Lehmann; Kleber, 2015) devido às alterações que o extrator alcalino causa na estrutura das moléculas orgânicas. Ainda, de modo geral, as frações químicas não são claramente relacionadas à dinâmica da MOS em sistemas naturais e cultivados (Cambardella; Elliott, 1992). Por isso, o fracionamento físico da MOS tem sido preferido e usado como ferramenta para avaliação dos efeitos do manejo na qualidade do solo.

2.3. Formas lábeis de carbono

O fracionamento físico/granulométrico da MOS é baseado no grau de associação da MOS com a matriz do solo, ou seja, o carbono pode estar livre ou fracamente associado às partículas de solo, sendo chamado de carbono orgânico particulado (COp); ou estar fortemente ligado às partículas minerais, formando complexos organo-minerais, nomeado de C Orgânico associado aos minerais (COam) (Gazolla et al., 2015). O COp é uma medida muito usada na avaliação da qualidade de sistemas de manejo, pois apresenta resposta proporcionalmente maior que outras medidas de matéria orgânica lábil às

alterações causadas pelos sistemas (Carter, 2002; Conceição et al., 2005; Franzluebbbers et al., 2002; Rossi et al., 2012).

O método mais usado para medir o COp é o de Cambardella & Elliott (1992), baseado em uma dispersão química, seguida de uma separação física, por tamanho de partícula. Para a dispersão foi proposta a solução de hexametáfosfato de sódio 5 g L⁻¹, seguida de peneiramento úmido usando peneira de malha de 53 µm. Na fração retida na peneira, após secagem, determina-se o teor de COp. O COam é obtida por diferença entre o C total (COT) da amostra e o COp. Esse é ainda o método mais usado, mas o uso de soluções dispersantes pode alterar as características químicas das frações (Wander, 2004).

Duval et al. (2013) propuseram a dispersão em água, usando pérolas de vidro e agitação para desagregar solos de várias regiões da Argentina, de texturas diferentes. A água é um dispersante menos agressivo e, embora mais difícil, a qualidade do resultado pode melhorar. Os autores separaram as amostras em três frações: grossa (105-2.000µm), C associado às frações areia fina e grossa; média (53-105 µm), C associado à areia muito fina; e fina (<53 µm), C associado ao silte e à argila. O método foi aplicado a amostras de solo de áreas de vegetação natural e em plantio direto com práticas de manejo sustentáveis e não sustentáveis (não ILP), e a melhor indicadora dos efeitos de curto e médio prazos dos sistemas de manejo foi a fração média, associada à areia muito fina.

Em sistemas em que ocorre maior aporte de biomassa vegetal, o acúmulo de carbono ocorre preferencialmente no COp, a qual é mais sensível

do que o carbono orgânico total às alterações no manejo do solo (Rossi et al., 2012).

Ao comparar os sistemas ILP com plantio direto e vegetação nativa de cerrado, Gazolla et al. (2015) obtiveram maiores conteúdos de COp na ILP entre os sistemas manejados, bem como semelhança nos valores de COp entre as áreas de ILP e vegetação nativa de cerrado nas profundidades de 10 - 20 e 20 -40 cm. Os autores atribuíram os resultados a utilização de braquiária junto ao cultivo do milho safrinha na ILP, manejo que proporcionou maior adição anual e manutenção dos resíduos vegetais na superfície do solo. Além da palhada em superfície, os maiores valores de COp na ILP também foram associados a maior adição de resíduos via sistema radicular até a profundidade de 20 cm.

2.4. Nitrogênio orgânico mineralizável

Além de ser associado à entrada de resíduos orgânicos, há resultados de pesquisa que relacionam diretamente o COp às taxas de mineralização de C e N de curto prazo, e ao tamanho da biomassa microbiana (Wander, 2004). Contudo, os efeitos de tratamentos na MOS são geralmente mais aparentes no C do que no N orgânico particulado (NOp), porque as práticas de manejo, entre outros fatores, influenciam mais os reservatórios de N associados às frações mais finas (Wander, 2004). Apesar disso, este autor admite que a dinâmica de curto prazo do NOp pode dar informações valiosas sobre as características de ciclagem do N dentro dos sistemas.

O manejo do N é fator determinante para o sucesso e para a sustentabilidade de qualquer sistema de manejo e é dependente do potencial

de mineralização de N do solo. De modo geral, para estimar o potencial de fornecimento de N pelo solo são usados métodos biológicos de incubação de solo, e admite-se que o N liberado durante as semanas iniciais reflete o N facilmente mineralizável ou a fração ativa do N orgânico do solo, enquanto o liberado posteriormente se origina provavelmente de frações maiores e muito mais estáveis da MOS (Hart et al., 1994).

O COp, em sistemas ILP, tem sido avaliado no Brasil com relativa frequência (Rossi et al., 2012; Salton et al., 2011; Silva et al., 2014; Souza et al., 2009), mas as suas relações com o potencial de fornecimento de N em função de diferentes estratégias de manejo dentro do sistema ainda demandam mais pesquisas.

Dada a importância das formas lábeis de C e N, é necessário avaliar o COp e o N orgânico mineralizável em monocultivos e em sistemas ILP com diferentes sistemas de semeadura de milho e capim-marandu para compreender sua dinâmica no solo.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização, caracterização da área e tratamentos

As amostras de solo foram coletadas na área experimental em que foi instalado e conduzido o projeto “Impacto ambiental, produtividade e viabilidade econômica de sistema convencional e integrado de lavoura pecuária”, financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP - Processo Nº 2014/24514-6), e coordenado pela pesquisadora Dra. Flávia Fernanda Simili. Com o projeto, o objetivo foi avaliar os impactos ambientais, a produtividade de grãos de milho, o desempenho de bovinos e a viabilidade econômica em sistemas de integração lavoura-pecuária comparados aos sistemas convencionais de agricultura e pecuária exclusiva.

O experimento foi conduzido de dezembro de 2015 a janeiro de 2018 no Centro de Pesquisa de Bovinos de Corte de Sertãozinho, pertencente ao Instituto de Zootecnia/APTA/SAA, localizado a 21° 08' 16" de latitude Sul e 47° 59' 25" de longitude Oeste e altitude média de 548 metros. O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen, é Aw, caracterizado como tropical úmido, com estação chuvosa no verão e seca no inverno (Alvares et al., 2013). O solo da área, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2018), é Latossolo Vermelho eutrófico muito argiloso. A caracterização química e a granulometria do solo em amostras coletadas em dezembro de 2015 estão na Tabela 1. Na caracterização química foram usados métodos descritos em Raij et al. (2001) e a granulometria foi determinada conforme Embrapa (2017) e IAC (2021).

Tabela 1. Atributos químicos e granulometria do solo na área do experimento no ano de 2018.

Prof.	P resina	MO	pH _{CaCl2}	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V	Areia	Silte	Argila
cm	mg dm ⁻³	g dm ⁻³											
0-10	14	31	5,2	3,1	25	15	36	43,1	80	54	13	17	70
10-20	9	30	4,9	1,8	19	12	45	32,9	78	41	11	21	68

Em que: Prof.=profundidade, P=fósforo, MO=matéria orgânica, pH=acidez ativa do solo, K=potássio trocável, Ca=cálcio trocável, Mg=magnésio trocável, H+Al=acidez total do solo, SB=soma das bases, CTC=capacidade de troca de cátions, V=saturação por bases.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados com seis tratamentos e três repetições. Os tratamentos foram: Lavoura (milho para grãos); Pecuária (capim-marandu); ILP1: milho mais capim-marandu com semeadura simultânea na adubação de plantio; ILP2: milho mais capim-marandu com semeadura simultânea na adubação de plantio + aplicação de herbicida nicosulfuron; ILP3: milho mais capim-marandu com semeadura do capim-marandu na adubação de cobertura do milho; ILP4: milho mais capim-

marandu com semeadura simultânea do capim-marandu na linha e na entrelinha do milho + aplicação do herbicida nicosulfuron. Todos os tratamentos foram estabelecidos em semeadura direta, realizada em dezembro de 2015, conforme ilustrado na Figura 1. Durante o experimento foram feitas duas safras de milho, sendo que, nos sistemas integrados, noventa dias após a colheita (maio/2016; maio/2017) foi iniciado o pastejo. Foram realizados dois ciclos de lotação contínua: o primeiro ciclo entre agosto e outubro de 2016 (78 dias) e o segundo ciclo entre novembro de 2016 e dezembro de 2017 (370 dias). Informações adicionais sobre a instalação e condução do experimento podem ser encontradas em Maia et al. (2021).

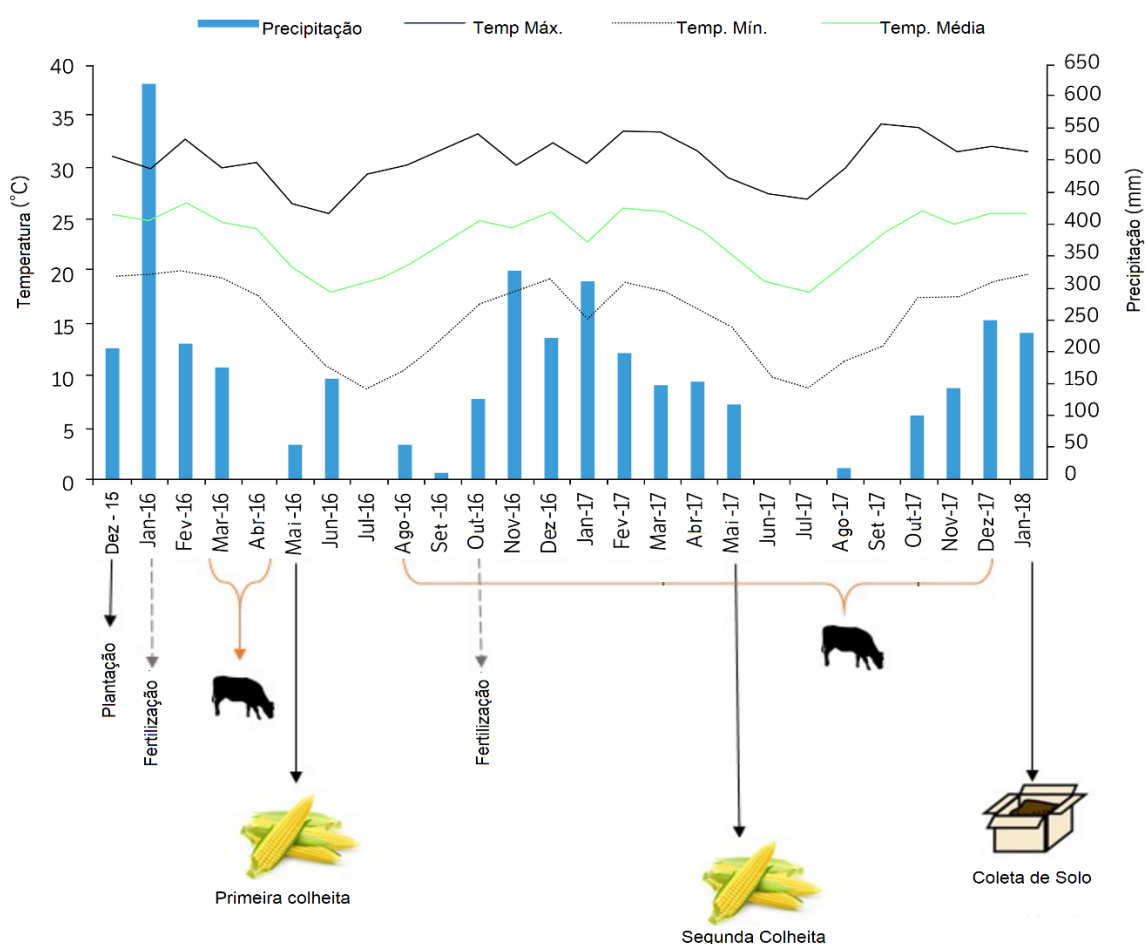


Figura 1. Esquema de atividades e dados de clima obtidas da estação meteorológica, localizada no Centro de Pesquisa de Bovinos de Corte, Instituto de Zootecnia/Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA)/Secretaria de Agricultura e Abastecimento de São Paulo (SAA), Sertãozinho, Brasil. Fonte: Maia et al. (2021), adaptado.

A coleta de solo foi feita nas áreas de mata e nos diferentes sistemas de semeadura em janeiro de 2018, após a finalização do segundo ciclo de pastejo, nas profundidades de 0-10 cm e 10-20 cm, com trado holandês, obtendo-se as amostras compostas a partir da coleta e mistura de 10 amostras simples por parcela. As amostras foram conservadas e parte delas foi utilizada em ensaio de incubação aeróbia por 28 dias. Os resultados obtidos do solo de mata foram muito maiores em relação aos sistemas de semeadura (outliers) e, conseqüentemente, não foram contemplados no trabalho.

3.2. Incubação das amostras de solo

Para recipientes de plástico com capacidade para 140 mL foram transferidos 100g de amostra de solo, os quais foram umedecidos de modo a obter 50% de poros cheios de água. Os recipientes foram pesados e tampados e, para aeração, foram feitos três orifícios de aproximadamente 0,5 cm na tampa. A incubação das amostras foi feita em BOD a 25°C por 28 dias. Durante a incubação, uma vez por semana, foi feito reumedecimento das amostras com base na perda de massa em relação à massa inicial. No final da incubação, o solo foi retirado dos recipientes, transferido para bandeja de plástico para secar, passado em peneira de 2 mm e homogeneizado.

3.3. Determinação do carbono orgânico particulado

O COp e o N mineral foram determinados em amostras incubadas e não incubadas. A determinação do COp foi feita conforme procedimento proposto por Duval et al. (2013). A dispersão em água, mesmo com auxílio de pérolas de vidro não foi possível. Desta forma, empregou-se hexametáfosfato de sódio 5 g

L^{-1} como agente dispersante (Cambardella e Elliott, 1992), associado a bolinhas de plástico para desagregação do solo.

Para copos de 100 mL foram transferidos 10 g de solo seco ao ar e passado em peneira de 0,5 mm, devido à alta estabilidade de agregados presentes no solo, mais 30 mL de solução de hexametáfosfato de sódio ($5 g L^{-1}$) e 3 bolinhas de plástico de 1,41 g. As amostras foram, em seguida, submetidas a agitação mecânica, a 240 rpm, por 16h. O peneiramento foi feito empregando peneiras de 105 e 53 μm , lavando as amostras com água até que a água drenada saísse limpa.

Foram obtidas as frações:

- a) Grossa (COp_g) (105-2.000 μm), contendo o C orgânico particulado grosso, associado às areias grossa e fina.
- b) Média (COp_f) (53-105 μm), na qual está incluído o C orgânico particulado fino, associado à areia muito fina.

O material retido em cada peneira foi integralmente transferido com jatos de água para recipientes de plástico, seco a 50°C por 24h ou até secagem, e então pesado. Todo o material coletado nas frações COp_g e COp_f foi transferido para erlenmeyers de 125 mL para determinação do C, usando oxidação por via úmida. Para oxidação foram usados 4 mL de solução de dicromato de potássio $0,167 mol L^{-1}$ e 8 mL ácido sulfúrico concentrado. As amostras foram então aquecidas a aproximadamente 140°C por 15 min em chapa aquecedora. Para manutenção de volume durante o aquecimento foi usado um tubo de ensaio com água, suspenso por um prendedor de madeira, na boca do erlenmeyer. Após o resfriamento, às amostras adicionaram-se 75

mL de água desionizada, as suspensões foram filtradas e o filtrado foi titulado com solução de sulfato ferroso amoniacal $0,4 \text{ mol L}^{-1}$, após adição de 4 mL de ácido fosfórico concentrado e três gotas de difenilamina 10 g L^{-1} . O procedimento descrito foi adaptado do método de determinação de C orgânico total Raij et al. (2001), com ajustes para as quantidades de reagentes em função das quantidades de COp. Para o solo de mata, com maiores teores de carbono, foram transferidas 0,5 g da fração COp_g e 0,3 g da fração COp_f para os erlenmeyers e os volumes de dicromato de potássio e ácido sulfúrico foram alterados para 5:10 mL.

Além das frações determinadas analiticamente, foram obtidas por cálculo as frações:

- a) Carbono orgânico particulado (COp): obtido pela soma das frações grossa e média (COp_g + COp_f).
- b) Carbono orgânico associado aos minerais (COam) ($<53 \mu\text{m}$), contendo C associado aos minerais presentes nas frações silte e argila e obtida pela diferença entre COT e COp.

3.4. Determinação do nitrogênio mineralizado

O N mineral das amostras incubadas foi determinado segundo método descrito em Cantarella e Trivelin (2001).

Das amostras incubadas e não incubadas foram pesadas, de cada uma, 10 g de solo para determinação do N mineral. A extração e a determinação de N-NH_4^+ e de N-NO_3^- foram feitas de acordo com o método descrito em Cantarella e Trivelin (2001), que compreende extração com solução de KCl 1 mol L^{-1} e quantificação por destilação em destilador de Kjeldahl com adição de

MgO (N-NH_4^+) e liga de Devarda (N-NO_3^-). O destilado foi recolhido em solução de H_3BO_3 (20 g L^{-1}) e a titulação foi feita com solução de H_2SO_4 0,0025 N em titulador automático.

O Nmin em 28 dias foi obtido pela diferença entre os teores de N mineral determinado nas amostras incubadas e do N mineral determinado nas amostras não incubadas.

3.5. Forma de análise dos resultados

Os efeitos dos tratamentos nos teores de COpg, COpf, COp e COam e do N mineralizado (Nmin) foram avaliados empregando análise de variância pelo teste F, considerando esquema fatorial e delineamento em blocos ao acaso com parcelas subdivididas. As monoculturas de milho e de capim e os sistemas de semeadura dentro da ILP foram considerados tratamentos principais, e as profundidades, tratamentos secundários, pré e pós incubação. Para os resultados significativos foi feita comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. As variáveis COpg, COpf, COp e COam foram avaliadas antes e após a incubação, usando análise de variância e comparação de médias.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 e Tabela 3 estão os resultados obtidos para C orgânico particulado grosso (COpg), fino (COpf), a soma das frações (COp = COpg + COpf), o C orgânico associado aos minerais (COam) e o N mineralizado.

Tabela 2. Análise de variância (Teste F) para os teores de carbono orgânico particulado grosso (COpg) e fino (COpf), carbono orgânico particulado (COp), C associado aos minerais (COam) e N mineralizado em 28 dias (Nmin), em amostras de solo de monoculturas de milho e capim marandu e de sistemas de ILP, nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm.

	COpg	COpf	COp	COam	Nmin
	p-valor				
Bloco	0,8167 ^{NS}	0,0500 ^{NS}	0,1570 ^{NS}	0,0169 [*]	0,8905 ^{NS}
Tratamento	1,2e-10 [*]	0,0162 [*]	4,5e-06 [*]	0,0002 [*]	0,8910 ^{NS}
Profundidade	4,4e-13 [*]	5,7e-20 [*]	3,8e-22 [*]	1,9e-07 [*]	0,0271 [*]
Incubação	0,1503 ^{NS}	2,9e-05 [*]	8,2e-05 [*]	0,8072 ^{NS}	7,8e-27 [*]
Trat x Prof	0,0280 [*]	0,3589 ^{NS}	0,0778 ^{NS}	0,0089 [*]	0,6125 ^{NS}
Trat x Inc	0,4050 ^{NS}	0,4444 ^{NS}	0,8689 ^{NS}	0,9999 ^{NS}	0,3566 ^{NS}
Prof x Inc	0,3591 ^{NS}	0,0795 ^{NS}	0,0641 ^{NS}	0,9147 ^{NS}	0,1872 ^{NS}
Trat x Prof x Inc	0,8653 ^{NS}	0,6507 ^{NS}	0,9599 ^{NS}	1,0000 ^{NS}	0,4228 ^{NS}
Shapiro-Wilk (5%)					
Tratamento	0,007	0,162	0,120	0,127	0,667
CV (%)					
Tratamento	27,32	26,73	9,53	5,87	12,34

Em que: CV = coeficiente de variação, NS = não significativo, * = significativo a 95% de probabilidade.

Tabela 3. Carbono orgânico particulado grosso (COPg) e fino (COPf), carbono orgânico particulado (COp), carbono associado aos minerais (COam) e N mineralizado em 28 dias (Nmin) em amostras de solo de monoculturas de milho e capim marandu e de sistemas de ILP, nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm.

Tratamento	COPg	COPf	COp	COam	Nmin
mg kg ⁻¹					
Lavoura	363,37 c	701,34 a	1064,71 d	32204 b	53,11 a
Pecuária	454,43 bc	689,32 a	1143,74 bcd	34138 ab	53,57 a
ILP1	557,73 ab	717,59 a	1275,32 ab	35838 a	59,85 a
ILP2	503,97 ab	616,45 a	1120,42 cd	33641 ab	53,60 a
ILP3	636,00 a	679,52 a	1315,53 a	33504 ab	56,06 a
ILP4	507,86 ab	742,71 a	1250,57 abc	35866 a	59,95 a
Profundidade (cm)					
0 – 10	587,22 a	845,16 a	1432,38 a	35645 a	57,88 a
10 – 20	420,57 b	537,15 b	957,72 b	32752 b	54,16 b
Tempo					
I	516,11 a	736,96 a	1253,1 a	34140,96 a	74,73 a
NI	491,67 a	645,35 b	1137,0 b	34257,01 a	37,32 b

Onde: ILP1 = milho mais capim-marandu com semeadura simultânea na adubação de plantio, ILP2 = milho mais capim-marandu com semeadura simultânea na adubação de plantio + aplicação de herbicida nicosulfuron, ILP3 = milho mais capim-marandu com semeadura do capim-marandu na adubação de cobertura do milho, ILP4 = milho mais capim-marandu com semeadura simultânea do capim-marandu na linha e na entrelinha do milho + aplicação do herbicida nicosulfuron.; I = Incubado; NI = Não Incubado; Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O carbono orgânico particulado variou conforme os tratamentos, profundidade e incubação (Figura 2). Os tratamentos ILP1, ILP3 e ILP4 apresentaram médias semelhantes quanto ao teor de carbono orgânico particulado, sendo o ILP3 a maior média significativa. Por outro lado, a lavoura de milho, pecuária com capim-marandu e a ILP2 apresentaram as menores médias, sendo a lavoura com milho a menor delas. Este fato pode explicar o motivo do sistema ILP2 levar a médias menores de COp em relação aos outros sistemas de ILP. Segundo Maia et al. (2021), o emprego de nicosulfuron diminui a quantidade de células microbianas viáveis em até 25% e, desta forma, espera-se nestes tratamentos menor atividade de degradação dos resíduos vegetais. Apesar do sistema ILP4 também ter a aplicação do herbicida, a semeadura do capim-marandu (pecuária) na linha e na entrelinha

foi um fator amenizador da ação do nicosulfuron na microbiota do solo (Maia et al., 2021). Quanto a monocultura de capim-marandu, seu baixo teor de COp pode estar associado ao manejo da pastagem (Salton et al., 2011), que não aportou quantidade de serapilheira equivalente aos demais tratamentos.

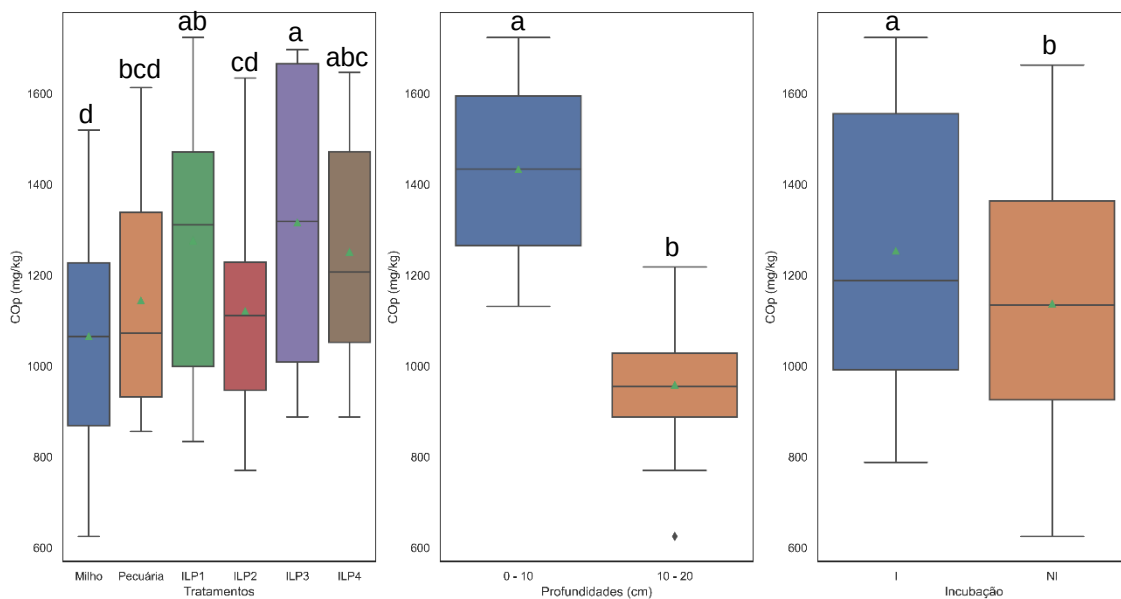


Figura 2. Gráfico Boxplot das interações significativas (p -valor < 0.05) para o COp. ILP = Interação Lavoura Pecuária, P1 = Profundidade 0 - 10 cm, P2 = Profundidade de 10 - 20 cm, I = Incubado, NI = Não Incubado, ILP1 = milho mais capim-marandu com semeadura simultânea na adubação de plantio, ILP2 = milho mais capim-marandu com semeadura simultânea na adubação de plantio + aplicação de herbicida nicosulfuron, ILP3 = milho mais capim-marandu com semeadura do capim-marandu na adubação de cobertura do milho, ILP4 = milho mais capim-marandu com semeadura simultânea do capim-marandu na linha e na entrelinha do milho + aplicação do herbicida nicosulfuron.

Em seu trabalho, Do Carmo et al. (2012) avaliaram as frações da matéria orgânica em solo sob plantio direto com gramíneas e concluíram que o aumento dos teores de COp estão diretamente associados à quantidade de resíduos vegetais adicionada ao solo. Desta forma, os sistemas de ILP propiciam maior adição de resíduos na superfície, via palhada, e em subsuperfície, via sistema radicular. Como a massa de palha adicionada sobre o solo é maior, os teores de COp em superfície também foram maiores, em relação aos subsuperficiais, nos sistemas de ILP. As amostras incubadas

apresentaram maiores teores de COp em relação as amostras não incubadas, comprovando a ação microbiológica decompositora sobre os materiais orgânicos presentes no solo.

A fração do COp_g apresentou significância quanto aos tratamentos, profundidades e interação entre estes dois fatores (Figura 3). Os tratamentos de integração lavoura pecuária, em particular a ILP3, foram os que resultaram em maior teor médio de carbono orgânico particulado associado a fração areia grossa (COp_g) e fina (COp_f) em relação às monoculturas de milho e pecuária. A monocultura de milho foi o sistema com o menor teor de COp_g. Os outros tratamentos não diferiram estatisticamente.

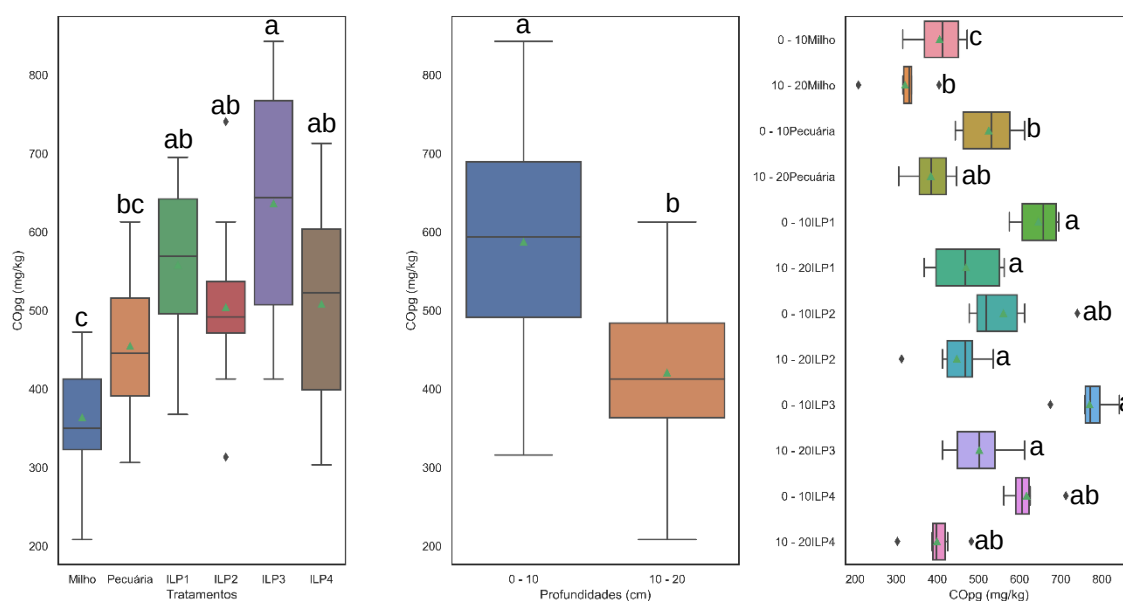


Figura 3. Gráfico Boxplot das interações significativas (p -valor < 0,05) para o carbono orgânico particulado grosso. ILP1 = milho mais capim-marandu com semeadura simultânea na adubação de plantio, ILP2 = milho mais capim-marandu com semeadura simultânea na adubação de plantio + aplicação de herbicida nicosulfuron, ILP3 = milho mais capim-marandu com semeadura do capim-marandu na adubação de cobertura do milho, ILP4 = milho mais capim-marandu com semeadura simultânea do capim-marandu na linha e na entrelinha do milho + aplicação do herbicida nicosulfuron.

A profundidade de 0 a 10 cm foi a que apresentou maior teor médio de COp_g e, para esse mesmo atributo, não houve diferença significativa nos teores médios das amostras incubadas e não incubadas.

No estudo das interações (Tabela 4), na profundidade de 0-10 cm, todos os tratamentos, com exceção da ILP2, apresentaram maior teor médio de COpg em relação à profundidade de 10-20 cm. Quanto aos tratamentos, os sistemas de ILP, particularmente a ILP1 e a ILP3, resultaram nos maiores teores médios de COpg. A monocultura de milho, seguida da monocultura de capim, apresentaram as menores médias.

Na profundidade de 10 a 20 cm, todos os tratamentos, com exceção da monocultura de milho (lavoura), apresentaram teores de COpg semelhantes, com ênfase nos sistemas ILP1, ILP2 e ILP3 que resultaram nas maiores médias.

A fração COpg está relacionada com materiais orgânicos menos transformados pela decomposição, associa-se intimamente à deposição de resíduos, tanto na superfície quanto em profundidade, e depende das características do material, local, temperatura e umidade (Duval et al., 2013). A deposição superficial dos resíduos de parte aérea é o fator que mais explica a variação nos teores de COpg em diferentes profundidades. Além disso, essa fração é sensível à degradação quando o sistema em que se encontra é alterado, causando maior taxa de decomposição da COpg. Sendo assim, pode-se atribuir ao manejo ILP, com revolvimento mínimo, os maiores teores de COpg, quando comparado aos manejos tradicionais de monocultivo, tanto em superfície quanto em profundidade.

Tabela 4. Interações do Carbono Orgânico Particulado Grosso (COPg) em relação aos sistemas de monocultura e ILP e profundidades de coleta das amostras de solo.

Tratamento x Prof (0 – 10 cm)	COPg (mg kg ⁻¹)
Lavoura	405,36 c
Pecuária	524,83 b
ILP1	645,76 a
ILP2	560,65 ab
ILP3	770,01 a
ILP4	616,71 ab
Tratamento x Prof (10 – 20 cm)	
Lavoura	321,38 b
Pecuária	384,02 ab
ILP1	469,70 a
ILP2	447,30 a
ILP3	501,99 a
ILP4	399,00 ab
Profundidade (Lavoura)	
0-10 cm	405,36 a
10-20 cm	321,38 b
Profundidade (Pecuária)	
0-10 cm	524,83 a
10-20 cm	384,02 b
Profundidade (ILP1)	
0-10 cm	645,76 a
10-20 cm	469,70 b
Profundidade (ILP2)	
0-10 cm	560,65 a
10-20 cm	447,30 a
Profundidade (ILP3)	
0-10 cm	770,01 a
10-20 cm	501,99 b
Profundidade (ILP4)	
0-10 cm	616,71 a
10-20 cm	399,00 b

Em que: ILP1 = milho mais capim-marandu com semeadura simultânea na adubação de plantio, ILP2 = milho mais capim-marandu com semeadura simultânea na adubação de plantio + aplicação de herbicida nicosulfuron, ILP3 = milho mais capim-marandu com semeadura do capim-marandu na adubação de cobertura do milho, ILP4 = milho mais capim-marandu com semeadura simultânea do capim-marandu na linha e na entrelinha do milho + aplicação do herbicida nicosulfuron.

O carbono orgânico particulado fino (COPf) variou em função dos tratamentos, profundidades e incubação (Figura 4). A profundidade de 0 a 10 cm apresentou maior acúmulo médio de COPf em relação a profundidade de 10 a 20 cm. Quanto a incubação, os teores médios após a incubação foram maiores em relação as amostras não incubadas.

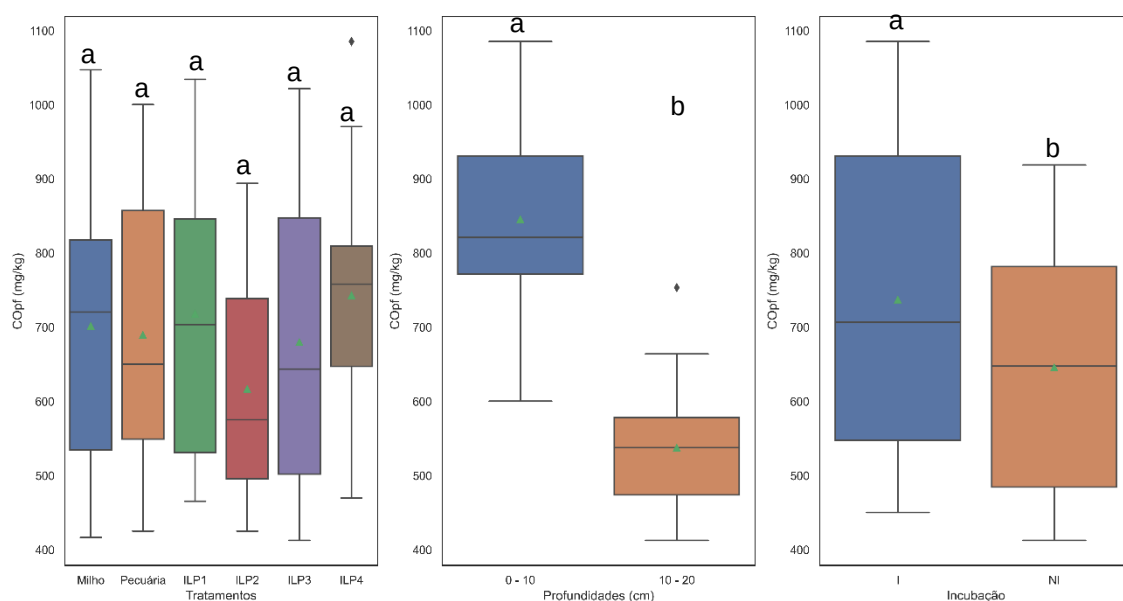


Figura 4. Gráfico Boxplot das interações significativas (p -valor < 0.05) para o Carbono orgânico particulado fino. I = Incubado, NI = Não Incubado, ILP1 = milho mais capim-marandu com semeadura simultânea na adubação de plantio, ILP2 = milho mais capim-marandu com semeadura simultânea na adubação de plantio + aplicação de herbicida nicosulfuron, ILP3 = milho mais capim-marandu com semeadura do capim-marandu na adubação de cobertura do milho, ILP4 = milho mais capim-marandu com semeadura simultânea do capim-marandu na linha e na entrelinha do milho + aplicação do herbicida nicosulfuron.

A fração COPf representa o material orgânico em transição, não tão variável quanto o COp_g, nem tão estável quanto o COT (Duval et al., 2013). Essa fração, juntamente com o COp_g, representam a fração mais lábil de carbono no solo, portanto, seu teor está intimamente relacionado aos teores de COp_g e, conseqüentemente, relacionado às deposições de material orgânico e ao revolvimento do solo. Devido a não diferença significativa no teste de comparação de médias dos tratamentos, é possível levantar a hipótese da

existência de um equilíbrio aparente nas taxas de decomposição e deposição de material orgânico. Porém, como grande parte do depósito é realizado em superfície, a concentração média do CO_{pf} é maior nas camadas superficiais e, ao incubar estas amostras, a transição do carbono contido na fração grosseira é realizada para a fração fina ou associada aos minerais.

O carbono orgânico associado aos minerais (CO_{am}) variou em função de tratamentos e profundidades e, neste caso, houve efeito de interação (Tabela 5). Na profundidade de 0 a 10 cm, os tratamentos capim-marandu, ILP1 e, em particular, a ILP4, apresentaram os maiores teores de CO_{am}, enquanto a lavoura de milho, o menor. Na profundidade de 10 a 20 cm, a ILP1 resultou na maior média, enquanto a monocultura de milho e o capim-marandu apresentaram as menores médias. Os tratamentos ILP1, ILP2 e ILP3 não diferiram estatisticamente no teor de CO_{am} em nenhuma das profundidades amostradas (Figura 5).

O CO_{am} está relacionado com a formação de complexos organo-minerais em função da relação C:N. Materiais orgânicos de alta relação C:N acarretam decomposição mais lenta, favorecendo o aumento do teor de C associado a fração argila e silte (Gazolla et al., 2015). Torres et al. (2021) salientaram o papel dos óxidos de ferro e alumínio como agentes cimentantes que, juntamente com a utilização de braquiária na ILP, através do depósito de restos culturais na superfície e raízes na subsuperfície, proporcionaram condições para formação de microagregados que protegem o CO_{am} no interior de sua estrutura. Sendo assim, pode-se observar maior concentração de

COam na profundidade superficial e subsuperficial, nos sistemas de ILP, particularmente a ILP4.

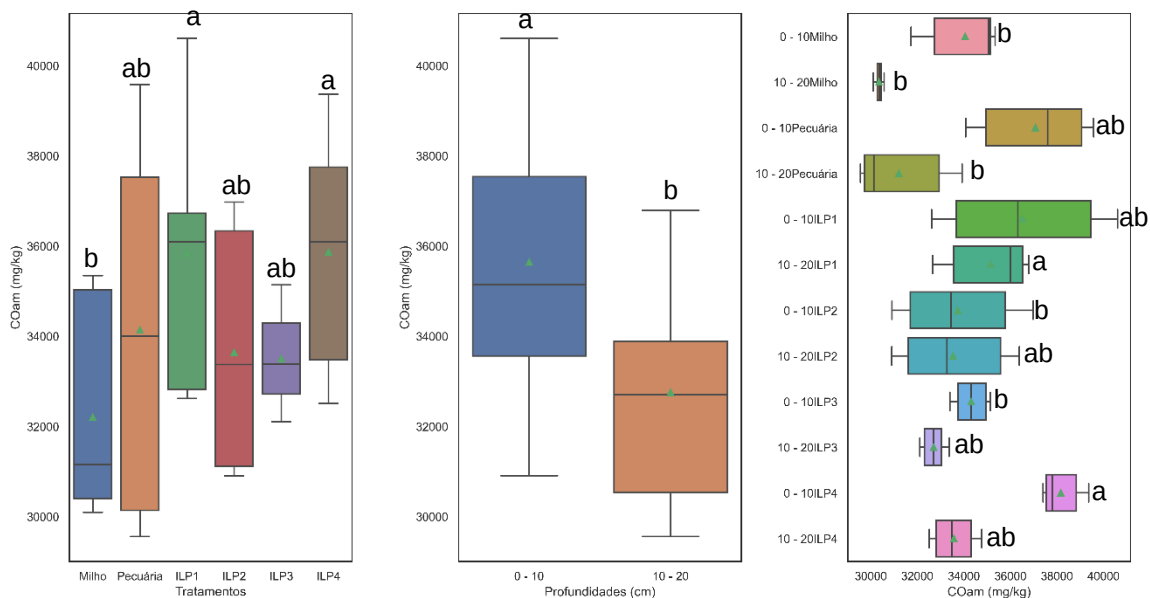


Figura 5. Gráfico Boxplot das interações significativas (p -valor < 0.05) para o Carbono orgânico associado a minerais. B1 = Bloco 1, B2 = Bloco 2, B3 = Bloco 3.

O N mineralizado em 28 dias variou ($P < 0,05$) com a profundidade de coleta das amostras e com a incubação, de acordo com o teste F (Tabela 2). Na comparação de médias pelo teste de Tukey observa-se que não houve efeito dos tratamentos monoculturas e ILP, e que os maiores teores estavam na profundidade de 0 a 10 cm (Tabela 3, Figura 6), devido à maior quantidade de material orgânico depositado sobre o solo (Gazolla et al., 2015). Este efeito ocorre por se tratar de sistema de semeadura direta, o que disponibiliza substrato para a microbiota do solo nos primeiros centímetros. Como a microbiota é a responsável pela conversão do N das formas orgânicas, presentes nos resíduos das plantas, para as formas de amônio e nitrato, no processo de mineralização, o N mineral aumenta nesta profundidade.

Tabela 5. Interações do Carbono Orgânico Associado aos Minerais (COam) em relação aos sistemas de monocultura e ILP e profundidades de coleta das amostras de solo.

Tratamento x Prof (0 – 10 cm)	Coam (mg kg ⁻¹)
Lavoura	34.054,68 b
Pecuária	37.076,10 ab
ILP1	36.525,81 ab
ILP2	33.744,28 b
ILP3	34.311,93 b
ILP4	38.162,50 a
Tratamento x Prof (0,1 - 0,2 m)	
Lavoura	30.353,52 b
Pecuária	31.201,82 b
ILP1	35.151,17 a
ILP2	33.538,85 ab
ILP3	32.696,16 ab
ILP4	33.570,95 ab
Profundidade (Lavoura)	
0-10 cm	34.054,68 a
10-20 cm	30.353,52 b
Profundidade (Pecuária)	
0-10 cm	37.076,10 a
10-20 cm	31.201,82 b
Profundidade (ILP1)	
0-10 cm	36.525,81 a
10-20 cm	35.151,17 a
Profundidade (ILP2)	
0-10 cm	33.744,28 a
10-20 cm	33.538,85 a
Profundidade (ILP3)	
0-10 cm	34.311,93 a
10-20 cm	32.696,16 a
Profundidade (ILP4)	
0-10 cm	38.162,50 a
10-20 cm	33.570,95 b

Onde: ILP1 = milho mais capim-marandu com semeadura simultânea na adubação de plantio, ILP2 = milho mais capim-marandu com semeadura simultânea na adubação de plantio + aplicação de herbicida nicosulfuron, ILP3 = milho mais capim-marandu com semeadura do capim-marandu na adubação de cobertura do milho, ILP4 = milho mais capim-marandu com semeadura simultânea do capim-marandu na linha e na entrelinha do milho + aplicação do herbicida nicosulfuron.

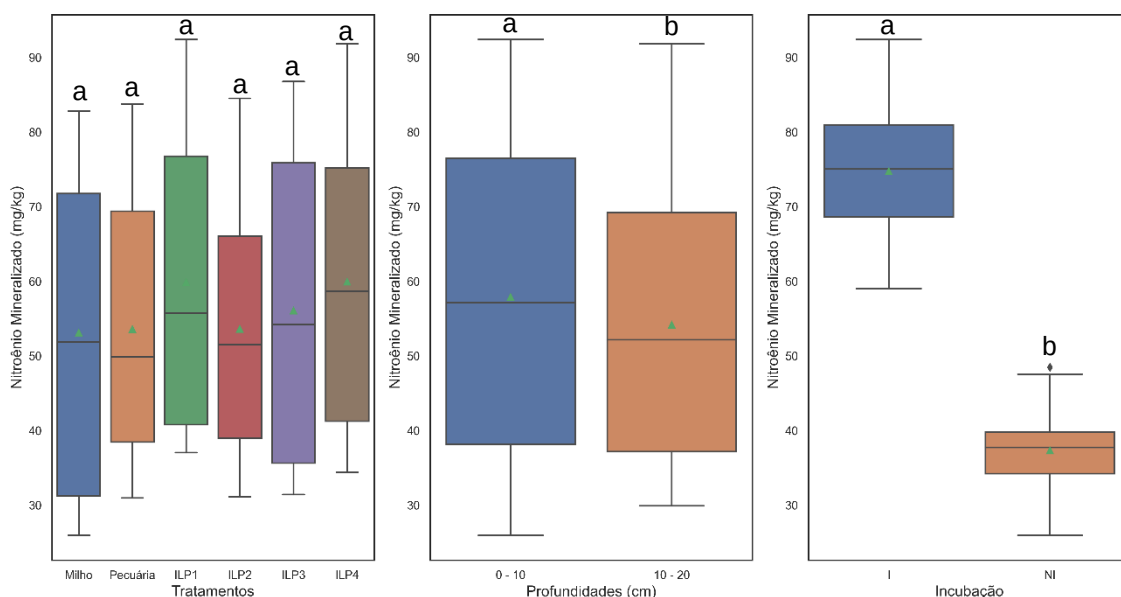


Figura 6. Gráfico Boxplot das interações significativas (p -valor < 0.05) para o Nitrogênio Mineralizado, em que: ILP = Interação Lavoura Pecuária, P1 = Profundidade 0 - 10 cm, P2 = Profundidade de 10 - 20 cm, I = Incubado, NI = Não Incubado, ILP1 = milho mais capim-marandu com semeadura simultânea na adubação de plantio, ILP2 = milho mais capim-marandu com semeadura simultânea na adubação de plantio + aplicação de herbicida nicosulfuron, ILP3 = milho mais capim-marandu com semeadura do capim-marandu na adubação de cobertura do milho, ILP4 = milho mais capim-marandu com semeadura simultânea do capim-marandu na linha e na entrelinha do milho + aplicação do herbicida nicosulfuron.

A quantidade de nitrogênio mineral após o período de incubação foi maior, indicando que o processo de mineralização, no período avaliado, predominou sobre a imobilização, mesmo havendo, no sistema, predomínio de resíduos de gramíneas, com relação C/N alta, misturados ou não a fezes e urina dos animais, com relação C/N média/baixa. Nas áreas em plantio direto, sobretudo com predominância de resíduos de relação C/N alta, pode haver predomínio de imobilização nos primeiros anos e, no caso do experimento, passados 8 meses desde a colheita feita em maio de 2017, predominou a mineralização, demonstrando um estágio de decomposição avançado no sistema. Na Figura 7 observa-se que, apesar da incubação ter aumentado o teor de nitrogênio mineral do solo, os tratamentos não diferem estatisticamente entre si.

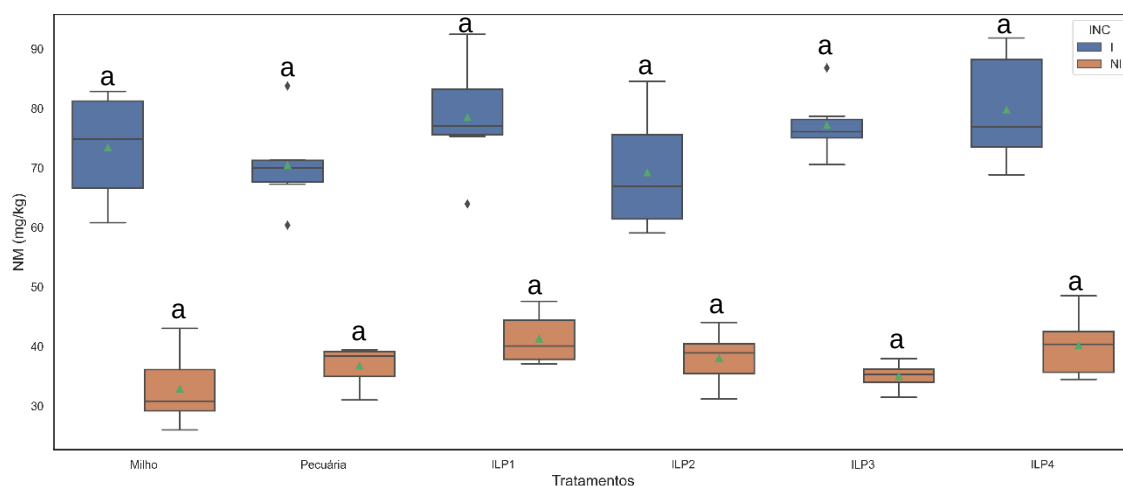


Figura 7. Gráfico dos tratamentos, em função da incubação para o Nitrogênio Mineralizado (NM). ILP = Integração Lavoura-Pecuária, I = Incubado, NI = Não Incubado, ILP1 = milho mais capim-marandu com semeadura simultânea na adubação de plantio, ILP2 = milho mais capim-marandu com semeadura simultânea na adubação de plantio + aplicação de herbicida nicosulfuron, ILP3 = milho mais capim-marandu com semeadura do capim-marandu na adubação de cobertura do milho, ILP4 = milho mais capim-marandu com semeadura simultânea do capim-marandu na linha e na entrelinha do milho + aplicação do herbicida nicosulfuron.

5. CONCLUSÕES

- O carbono orgânico particulado foi maior nos sistemas de integração lavoura-pecuária, particularmente na ILP1 (milho mais capim-marandu com semeadura simultânea na adubação de plantio) e ILP3 (milho mais capim-marandu com semeadura do capim-marandu na adubação de cobertura do milho).
- Os sistemas de semeadura e manejo não influenciaram no teor de nitrogênio mineralizado.
- Na profundidade de 0 a 10 cm houve maior teor de nitrogênio mineralizado, carbono orgânico particulado e carbono orgânico associado aos minerais.

6. LITERATURA CITADA

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, [s. l.], v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

ASSMANN, J. M.; ANGHINONI, I.; MARTINS, A. P.; COSTA, S. E. V. G. de A.; CECAGNO, D.; CARLOS, F. S.; CARVALHO, P. C. de F. Soil carbon and nitrogen stocks and fractions in a long-term integrated crop–livestock system under no-tillage in southern Brazil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, [s. l.], v. 190, p. 52–59, 2014.

BALBINO, L.; CORDEIRO, L.; OLIVEIRA, P.; JLUTCHCOUSKI, J.; GALERANI, P.; VILELA, L. Agricultura sustentável por meio da Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF). **Informações Agrônomicas**, Piracicaba - SP, v. 138, p. 1–18, 2012.

BÜNEMANN, E. K.; BONGIORNO, G.; BAI, Z.; CREAMER, R. E.; DE DEYN, G.; DE GOEDE, R.; FLESKENS, L.; GEISSEN, V.; KUYPER, T. W.; MÄDER, P.; PULLEMAN, M.; SUKEL, W.; VAN GROENIGEN, J. W.; BRUSSAARD, L. Soil quality – A critical review. **Soil Biology and Biochemistry**, [s. l.], v. 120, p. 105–125, 2018.

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

CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P. C. O. Determinação de nitrogênio inorgânico em solo pelo método da destilação a vapor. In: **Análise Química para Avaliação da Fertilidade de Solos Tropicais**. [s.l.]: Instituto Agrônomo, 2001. p. 285.

CARTER, M. R. Soil Quality for Sustainable Land Management. **Agronomy Journal**, [s. l.], v. 94, n. 1, p. 38–47, 2002.

CONCEIÇÃO, P. C.; AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s. l.], v. 29, n. 5, p. 777–788, 2005.

COSTA, N. R.; ANDREOTTI, M.; LOPES, K. S. M.; YOKOBATAKE, K. L.; FERREIRA, J. P.; PARIZ, C. M.; BONINI, C. dos S. B.; LONGHINI, V. Z. Atributos do Solo e Acúmulo de Carbono na Integração Lavoura-Pecuária em Sistema Plantio Direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s. l.], v. 39, n. 3, p. 852–863, 2015.

DO CARMO, F. F.; DE FIGUEIREDO, C. C.; RAMOS, M. L. G.; VIVALDI, L. J.; ARAÚJO, L. G. Granulometric fractions of organic matter of a latosol under no-till with grasses. **Bioscience Journal**, [s. l.], v. 28, n. 3, p. 420–431, 2012.

DUVAL, M. E.; GALANTINI, J. A.; IGLESIAS, J. O.; CANELO, S.; MARTINEZ, J. M.; WALL, L. Analysis of organic fractions as indicators of soil quality under natural and cultivated systems. **Soil and Tillage Research**, [s. l.], v. 131, p. 11–19, 2013.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Brasília, DF: rev. e. ampl., 2017. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1085209/manual-de-metodos-de-analise-de-solo>>. Acesso em: 7 dez. 2021.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. [s.l.]: Embrapa Solos, 2018. v. 5.

FRANZLUEBBERS, A. J.; STUEDEMANN, J. A. Particulate and non-particulate fractions of soil organic carbon under pastures in the Southern Piedmont USA. **Environmental Pollution**, [s. l.], v. 116, p. S53–S62, 2002.

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

HART, S.; STARK, J.; DAVIDSON, E.; FIRESTONE, M. **Methods of Soil Analysis**. [s.l.]: Soil Science Society of America, 1994. v. 5.

IAC. **Boletim Técnico Análise Granulométrica**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 2021. v. 2 Disponível em: <http://lab.iac.sp.gov.br/Publicacao/boletim_tecnico_analise_granulometrica_v12Mai2021.pdf>. Acesso em: 25 out. 2021.

KLEBER, M.; LEHMANN, J. Humic Substances Extracted by Alkali Are Invalid Proxies for the Dynamics and Functions of Organic Matter in Terrestrial and Aquatic Ecosystems. **Journal of Environmental Quality**, [s. l.], v. 48, n. 2, p. 207–216, 2019.

LEHMANN, J.; KLEBER, M. The contentious nature of soil organic matter. **Nature**, [s. l.], v. 528, n. 7580, p. 60–68, 2015.

MACEDO, R. L. G. **Princípios básicos para o manejo sustentável de sistemas agroflorestais**. Lavras: FAEPE, 2000. v. 25 Disponível em: <https://books.google.com.br/books/about/Princ%C3%ADpios_b%C3%A1sicos_para_o_manejo_suste.html?id=RMPKXwAACAAJ>.

MAIA, N. J. C.; CRUZ, M. C. P. Da; DUBEUX JUNIOR, J. C. B.; MENEGATTO, L. S.; AUGUSTO, J. G.; MENDONÇA, G. G.; TERÇARIOL, M. C.; OLIVEIRA, J. G.; SIMILI, F. F. Integrated crop-livestock versus conventional systems: use of soil indicators to detect short-term changes during seasonal variation. **Bragantia**, [s. l.], v. 80, 2021.

PORTILHO, I. I. R.; SAVIN, M. C.; BORGES, C. D.; TSAI, S. M.; MERCANTE, F. M.; ROSCOE, R.; DE CARVALHO, L. A. Maintenance of N cycling gene communities with crop-livestock integration management in tropical agriculture systems. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, [s. l.], v. 267, p. 52–62, 2018.

RAIJ, B. Van; ANDRADE, J. C. De; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. **Campinas: Instituto Agronômico**, Campinas, n. 19, p. 285, 2001.

ROSSI, C. Q.; PEREIRA, M. G.; GUIMARÃES GIÁCOMO, S.; BETTA, M.; POLIDORO, J. C. Labile fractions of organic matter in cropping system with straw of brachiaria and sorghum. **Revista Ciência Agronômica**, [s. l.], v. 43, n. 1, p. 38–46, 2012.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; FABRÍCIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L. Teor e dinâmica do carbono no solo em sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 10, p. 1349–1356, 2011.

SILVA, F. D. Da; AMADO, T. J. C.; FERREIRA, A. O.; ASSMANN, J. M.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. de F. Soil carbon indices as affected by 10 years of integrated crop–livestock production with different pasture grazing intensities in Southern Brazil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, [s. l.], v. 190, p. 60–69, 2014.

SOUZA, E. D. De; COSTA, S. E. V. G. de A.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. de F.; ANDRIGUETI, M.; CAO, E. Estoques de carbono orgânico e de nitrogênio no solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s. l.], v. 33, n. 6, p. 1829–1836, 2009.

STEVENSON, F. Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reactions, Second Edition (Stevenson, F. J.). **Journal of Chemical Education**, [s. l.], v. 72, n. 4, p. A93, 1995.

STROSSER, E. Methods for determination of labile soil organic matter: An overview. **Journal of Agrobiology**, [s. l.], v. 27, n. 2, p. 49–60, 2010.

TORRES, J. L. R.; SILVA, V. R. e; COSTA, D. D. de A.; PEREIRA, M. G.; ASSUNÇÃO, S. A.; GONZALEZ, A. P.; PINTO, L. A. da S. R.; LOSS, A. Aggregation and dynamics of soil organic matter under different management

systems in the Brazilian Cerrado. **Soil Research**, Seropédica, v. 59, n. 7, p. 715, 2021.

WANDER, M. Soil Organic Matter Fractions and Their Relevance to Soil Function. In: **Soil Organic Matter in Sustainable Agriculture**. [s.l: s.n.]. v. 2p. 68–102.