



Qualidade do Solo de Diferentes Manejos: Ênfase no Estoque de Carbono e Nutrientes do Solo

Julia Cardoso Silva¹, Guilherme Kangussu Donagema², Edemar Moro³, Anderson Fagundes de Oliveira⁴, Victor Hugo Paes de Oliveira⁵, João Herbert Moreira Viana⁶; Marcelo Rodrigo Alves⁷.

¹Mestre em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional, Universidade do Oeste Paulista – UNOESTE, Campus de Presidente Prudente – SP, email julia.cardoso133@gmail.com; ²Pesquisador na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA Solos, email guilherme.donagema@embrapa.br; ³Professor Doutor, Universidade do Oeste Paulista – UNOESTE, Campus de Presidente Prudente – SP, email edemar@unoeste.br; ⁴Graduando em Agronomia, Universidade do Oeste Paulista – UNOESTE, Campus de Presidente Prudente – SP, email andersonfagundes9834@gmail.com; ⁵Graduando em Agronomia, Universidade do Oeste Paulista – UNOESTE, Campus de Presidente Prudente – SP, email victorhpaes@gmail.com; ⁶Pesquisador na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA Milho e Sorgo, email joao.herbert@embrapa.br <http://orcid.org/0000-0002-5872-4816>; ⁷Professor Doutor, Universidade do Oeste Paulista – UNOESTE, Campus de Presidente Prudente – SP, email marceloalves@unoeste.br;

Artigo recebido em 31/10/2024 e aceito em 29/12/2024

RESUMO

O solo é um recurso essencial para a produção de alimentos, suporte à biodiversidade e equilíbrio ambiental. No Brasil, especialmente na região de Rancheira (SP), predominam solos arenosos, como Argissolos e Latossolos, caracterizados por baixa fertilidade e reduzida retenção de água, o que representa um desafio para a agricultura sustentável. Este estudo teve como objetivo avaliar a qualidade do solo sob diferentes sistemas de uso, com ênfase no sequestro de carbono e no estoque de nutrientes. Para isso, foram coletadas amostras em cinco áreas com distintos manejos: três sob sistemas alternativos (ILP, pastagem ILP e pivô ILP), uma com pastagem convencional e outra com vegetação natural secundária. As análises incluíram o fracionamento físico da matéria orgânica e a quantificação dos estoques de carbono e nutrientes. Embora os sistemas alternativos não tenham promovido melhorias significativas nos indicadores clássicos de qualidade do solo, demonstraram potencial para incrementar o sequestro de carbono e favorecer a estruturação do solo. Dessa forma, tais manejos representam alternativas promissoras para a sustentabilidade agrícola em solos arenosos do Oeste Paulista. Palavras-chave: Solos arenosos; Integração lavoura-pecuária; Sequestro de carbono; Estoque de nutrientes; Oeste Paulista.

Soil Quality from Different Managements: Emphasis on Carbon Stock and Soil Nutrients)

ABSTRACT

Soil is a vital resource for food production, biodiversity support, and environmental stability. In Brazil, sandy soils are prevalent, particularly in the Rancheira region of São Paulo, where Argisols and Latosols dominate. These soils pose challenges such as low fertility and limited water retention, which hinder sustainable agricultural development. This study aimed to assess soil quality under different land use systems, with a focus on carbon sequestration and nutrient stocks. Soil samples were collected from five areas with contrasting management practices: three under integrated or alternative systems (ILP, pasture ILP, and irrigated ILP), one with conventional pasture, and one with secondary natural vegetation. The analyses included physical fractionation of soil organic matter and determination of carbon and nutrient stocks. Although no significant improvements in conventional soil quality indicators were observed, the alternative systems showed potential to enhance carbon sequestration and soil structural conditions. Therefore, these systems represent promising strategies for sustainable management of sandy soils in Western São Paulo.

Key-words: Sandy soils; Crop-livestock integration; Carbon sequestration; Nutrient stock; West Paulista.

Introdução

A agricultura é uma das bases da economia global e do bem-estar humano, fornecendo alimentos e matérias-primas para bilhões de pessoas. No entanto, o seu desenvolvimento nem sempre esteve alinhado com práticas ambientalmente sustentáveis. O avanço da agricultura intensiva, impulsionado pela crescente demanda por alimentos, gerou sérios desafios, como a degradação do solo, perda de biodiversidade e aumento da emissão de gases de efeito estufa. Garantir produtividade sem comprometer os atributos físicos, químicos e biológicos do solo tornou-se um dos maiores desafios do século XXI.

Esse desafio se acentua em regiões com solos mais frágeis, como os arenosos, que apresentam baixa capacidade de retenção de água e nutrientes, além de maior suscetibilidade à degradação. A intensificação agrícola nesses solos pode acelerar a perda de matéria orgânica, reduzindo sua fertilidade e aumentando a vulnerabilidade a processos erosivos (Bayer et al., 2006). Nesses contextos, estratégias de uso e conservação do solo se tornam indispensáveis para preservar sua funcionalidade e sustentabilidade a longo prazo.

O manejo conservacionista tem sido uma alternativa promissora, especialmente com a adoção de sistemas integrados como a Integração Lavoura-Pecuária (ILP), que combinam práticas agrícolas e pecuárias em uma mesma área, seja em rotação, consórcio ou sucessão (Balbino et al., 2011). Esses sistemas contribuem para o aumento da matéria orgânica do solo, controle da temperatura e umidade, melhoria da formação de agregados e, conseqüentemente, da retenção de água, aspectos fundamentais para a saúde do solo e das plantas (Moro et al., 2019; Carneiro et al., 2020).

Além disso, as raízes das plantas nesses sistemas auxiliam na formação de microagregados e na introdução de carbono no perfil do solo, favorecendo o sequestro de carbono e a fertilidade (Ferreira et al., 2021). O crescimento das culturas também estimula a liberação de exsudatos radiculares, o que intensifica a atividade biológica e a ciclagem de nutrientes.

O Carbono Orgânico Total (COT) do solo é um atributo-chave na avaliação de qualidade do solo, por refletir tanto a presença de matéria

orgânica estabilizada quanto a sua aptidão agrícola. A fração mais lábil dessa matéria orgânica, o Carbono Orgânico Particulado (COP), é altamente sensível às mudanças de uso e manejo e atua diretamente na fertilidade e sustentabilidade do solo (Braga et al., 2022).

A adoção de práticas agrícolas sustentáveis também contribui para metas globais estabelecidas pelos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU. Esta pesquisa se relaciona especialmente aos ODS 2 (Fome Zero e Agricultura Sustentável), 12 (Consumo e Produção Responsáveis), 13 (Ação Climática) e 15 (Vida Terrestre), ao promover estratégias de manejo que favorecem a conservação do solo, o sequestro de carbono e a resiliência dos ecossistemas agrícolas (Muller et al., 2023).

A observação da vegetação nativa também se mostra relevante como indicadora da qualidade do solo, pois ecossistemas naturais refletem equilíbrio entre cobertura vegetal, matéria orgânica e atributos físico-químicos (Freitas et al., 2017).

Dessa forma, práticas como rotação de culturas, uso de cobertura vegetal e sistemas integrados têm potencial para restaurar e preservar solos degradados. Tais abordagens são fundamentais para equilibrar produtividade e conservação ambiental, especialmente em áreas de solo arenoso.

Neste contexto, o objetivo desta pesquisa foi avaliar a relação entre qualidade do solo e diferentes sistemas de uso da terra em uma propriedade com 20 anos de adoção de ILP com plantio direto, comparando-a com áreas adjacentes sob pastagens, agricultura convencional e vegetação natural secundária. O estudo visa contribuir com dados aplicáveis ao aprimoramento do manejo de ILP em ambientes de solo arenoso no Oeste Paulista.

Material e métodos

O estudo foi conduzido na Fazenda Ybyete Porã, localizada no município de Rancharia, a aproximadamente 70 km de Presidente Prudente, na região oeste do estado de São Paulo (Figura 1), com coordenadas geográficas de 22°09'13"S e 50°48'59"W, e altitude média de 514 m. O clima local é classificado como Cwa (mesotérmico com verão chuvoso e inverno seco), segundo Köppen.

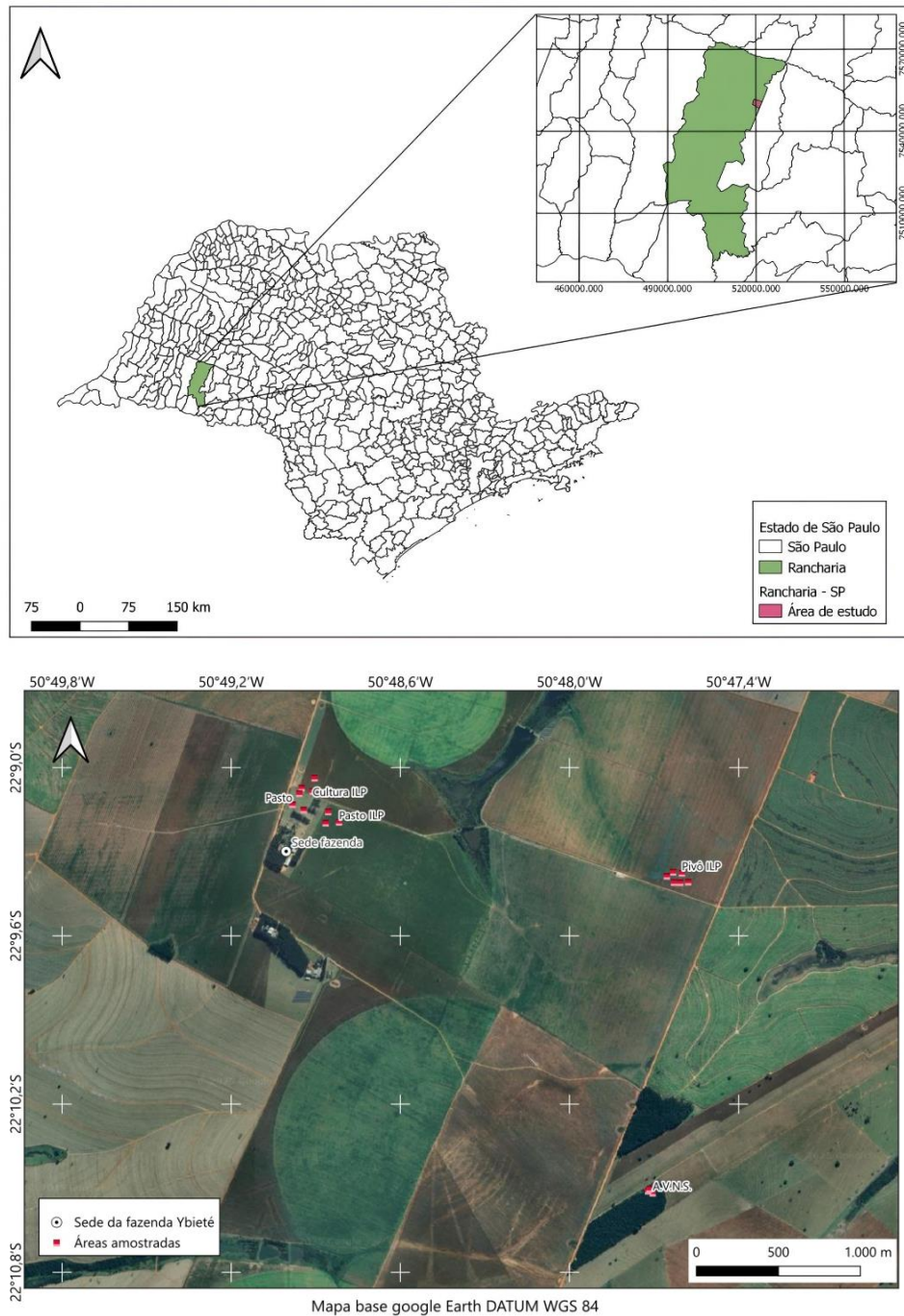


Figura 1 - Croqui de localização da área de estudo no município de Rancharia.

Os solos predominantes na área pertencem ao Grupo Bauru, formação Vale do Rio do Peixe, com textura arenosa, conforme descrito por Fernandes & Coimbra (2000). A fazenda é dividida em talhões de cerca de 70 hectares, manejados há cerca de 20 anos sob o sistema de Integração Lavoura-Pecuária (ILP) com plantio direto.

Foram selecionados cinco ambientes distintos: três talhões sob manejo alternativo (ILP com culturas, ILP com pastagem e ILP irrigado por pivô), um sob pastagem convencional e outro sob vegetação natural secundária adjacente à fazenda. Todos os locais compartilham condições

semelhantes de solo e clima, sendo o tipo de uso e manejo a principal variável entre eles.

Em cada área, foram abertas três trincheiras com dimensões de 1×1×1 m, nas quais se coletaram amostras deformadas nas profundidades de 0–10, 10–20, 20–30, 30–40, 40–60, 60–80 e 80–100 cm, seguindo a metodologia de Zanatta et al. (2015). Coletas complementares foram feitas em cinco pontos por área com auxílio de trado holandês, nas mesmas profundidades.

A densidade do solo foi determinada utilizando o método do anel volumétrico, conforme Embrapa (2011), sendo os valores empregados no cálculo dos estoques de carbono e nutrientes.

Foram analisados os atributos químicos: matéria orgânica (MO), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S-SO₄²⁻) e alumínio (Al³⁺). A MO foi extraída com dicromato de sódio (0,667 mol L⁻¹) e ácido sulfúrico (5 mol L⁻¹), com leitura colorimétrica em filtro de 650 nm. O P, K, Ca e Mg foram extraídas por resina trocadora de íons. A leitura do P foi realizada por espectrofotometria a 720 nm; K, Ca e Mg foram quantificadas por espectrometria de absorção atômica com chama, sendo o K por emissão e os demais por absorção. O S-SO₄²⁻ foi extraído com Ca(H₂PO₄)₂ 0,01 mol L⁻¹ e lido por turbidimetria em filtro de 420 nm. O Al³⁺ foi extraído com KCl e determinado por titulometria com NaOH 0,025 mol L⁻¹, conforme metodologia de Raji et al. (2001).

O fracionamento físico da matéria orgânica foi conduzido segundo Cambardella e Elliot (1992), e o carbono total determinado conforme Yeomans & Bremner (1988). O estoque de carbono (EC) foi calculado a partir dos teores de C orgânico total, da densidade do solo e da espessura da camada, utilizando a Equação (1), conforme Fernandes & Fernandes (2009):

$$EC = \frac{COP \times Ds \times h}{10} \quad (1)$$

Em que:

EC = estoque de carbono (Mg ha⁻¹);

COP = teor de carbono orgânico total (g kg⁻¹);

Ds = densidade do solo (kg dm⁻³);

h = espessura da camada (cm).

Para corrigir diferenças de densidade entre áreas, os estoques foram ajustados com base na massa equivalente, tomando-se como referência a densidade da área com vegetação natural, conforme Sisti et al. (2004). O mesmo procedimento foi aplicado ao cálculo dos estoques de nutrientes.

As variáveis foram inicialmente submetidas à análise descritiva (média, mínimo, máximo, desvio padrão, coeficiente de variação). Em seguida, foi realizada análise de variância (ANOVA) considerando os fatores “sistema de uso do solo” e “profundidade”, bem como suas

interações, com nível de significância de $p < 0,05$ pelo teste F.

Desdobramentos dos fatores foram feitos por teste t ($p < 0,05$), tanto para comparar sistemas dentro de cada profundidade quanto para comparar profundidades dentro de cada sistema. As análises estatísticas foram conduzidas no software R (R Core Team, 2024), com uso dos pacotes stats, dplyr e ggplot2.

Resultados e discussão

Os maiores valores de carbono (C) e nitrogênio (N) do solo foram encontrados na área de vegetação natural secundária (Tabela 1), em praticamente todas as profundidades, exceto nas camadas de 0–10 e 60–80 cm. No entanto, devido ao baixo teor de carbono orgânico total (COT) nessa área, há indícios de que esses elementos estejam concentrados majoritariamente na fração mais ativa e facilmente decomponível da matéria orgânica do solo. Isso representa níveis de matéria orgânica ainda não completamente estabilizada ou incorporada ao COT, sendo essa fração mais rica em C e N, porém mais suscetível à perda (Assad et al., 2019).

Na área sob cultivo ILP, também foram registrados os maiores valores de C e N nas camadas de 0–10 e 80–100 cm, bem como os maiores teores de COP nas profundidades de 20–30, 40–60 e 60–80 cm. Segundo Assad et al. (2019), isso indica que a matéria orgânica ainda não foi completamente incorporada ao COT, mantendo-se em forma ativa e prontamente decomposta, o que torna o carbono mais disponível no solo. Esses resultados sugerem que o solo dessa área encontra-se em boas condições quanto ao teor de matéria orgânica, disponibilidade de nutrientes e capacidade de armazenamento de carbono.

Nas áreas com pastagem, pastagem sob ILP e ILP irrigado por pivô, observaram-se os maiores valores de COT e teores intermediários de COP ao longo de todas as profundidades analisadas. Esses resultados indicam que tais áreas apresentam bons níveis de matéria orgânica e nutrientes, além de capacidade eficiente de armazenamento de carbono no solo (Ramos et al., 2023).

Tabela 1 - Fracionamento de carbono em função do sistema de cultivo.

Tratamento	COP	COT	C	N	COP	COT	C	N
	(g/kg)	(g/kg)	(%)	(%)	(g/kg)	(g/kg)	(%)	(%)
	0-10 cm				40-60 cm			
Cultura ILP	2,41a	8,72ab	1,03a	0,09a	1,62a	7,85a	0,28a	0,02a
Pasto	4,05a	9,07a	0,74ab	0,07a	1,61a	8,35a	0,30a	0,03a
Pasto ILP	3,39a	9,03a	0,86a	0,07a	0,73a	8,08a	0,26a	0,02a
Pivô ILP	1,29a	8,91ab	0,32b	0,02b	1,09a	8,16a	0,26a	0,02a
A.V.N.S.	1,61a	8,53b	0,88a	0,07a	0,65a	7,51a	0,30a	0,03a
F	3,23ns	5,96*	7,84**	9,26**	1,67ns	0,93ns	0,26ns	1,00ns
C.V. (%)	43,98	1,85	21,78	20,18	54,13	7,24	25,11	17,67
D.P.	1,17	0,23	0,27	0,03	0,46	0,32	0,02	0,01
	10-20 cm				60-80 cm			
Cultura ILP	1,49a	8,50ab	0,49a	0,04a	1,80a	7,43a	0,30a	0,03a
Pasto	1,92a	9,04a	0,36a	0,03a	1,34ab	7,67a	0,27a	0,02a
Pasto ILP	1,55a	8,96a	0,39a	0,03a	1,22ab	7,76a	0,27a	0,02a
Pivô ILP	2,27a	9,02a	0,31a	0,03a	0,94ab	8,02a	0,23a	0,02a
A.V.N.S.	1,07a	8,20b	0,56a	0,04a	0,50b	7,28a	0,29a	0,02a
F	0,78ns	11,43**	2,28ns	0,60ns	4,39*	2,38ns	1,31ns	1,00ns
C.V. (%)	53,56	2,2	27,25	40,63	34,29	4,2	16,21	9,45
D.P.	0,46	0,38	0,1	0,01	0,48	0,29	0,03	0
	20-30 cm				80-100 cm			
Cultura ILP	2,43a	8,57a	0,36a	0,03a	1,24a	7,44a	0,34a	0,03a
Pasto	1,50ab	8,94a	0,27a	0,02a	1,61a	8,80a	0,23a	0,02a
Pasto ILP	1,40b	8,94a	0,28a	0,02a	0,90a	7,62a	0,27a	0,02a
Pivô ILP	1,46ab	8,67a	0,39a	0,03a	0,86a	7,78a	0,26a	0,02a
A.V.N.S.	0,70b	7,84b	0,48a	0,04a	0,57a	7,18a	0,27a	0,02a
F	9,04**	11,89**	3,86*	2,54ns	3,19ns	0,99ns	0,61ns	0,55ns
C.V. (%)	23,57	2,63	21,37	22,7	37,27	13,94	33,99	34,94
D.P.	0,62	0,45	0,09	0,01	0,4	0,62	0,04	0
	30-40 cm							
Cultura ILP	1,69a	8,44ab	0,26a	0,026ab				
Pasto	0,97a	8,87a	0,26a	0,026ab				
Pasto ILP	1,57a	8,58ab	0,28a	0,023b				
Pivô ILP	2,07a	8,79a	0,26a	0,030ab				
A.V.N.S.	0,88a	7,78b	0,45a	0,040a				
F	1,68ns	4,74*	3,80ns	5,28*				
C.V. (%)	46,56	4,08	23,89	16,47				
D.P.	0,5	0,43	0,08	0,01				

Fonte: Autores (2025)

Nota: ns – não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F. * Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F. **Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F. Médias seguidas de letras iguais, não diferem pelo teste de Tukey. Carbono orgânico particulado – COP (g/kg); carbono orgânico total – COT (g/kg); carbono – C (%); nitrogênio – N (%), Coeficiente de variação - C.V., Desvio Padrão - D.P., Área de vegetação natural secundária – A.V.N.S.

Tabela 2 – Estoque de nutrientes do solo (kg/ha) – Fósforo, Sulfato e Potássio

Tratamento	P	S-SO ₄ ²⁻	K	P	S-SO ₄ ²⁻	K
	(kg ha ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)
	0-10 cm			40-60 cm		
Cultura ILP	26,40a	7,43	149,1a	22,38ab	23,01a	331a
Pasto	35,90a	6,52	76,7b	17,88ab	19,03a	303ab
Pasto ILP	47,10a	8,95	145,8a	17,17ab	17,89a	207ac
Pivô ILP	48,90a	13,14	142,9a	25,17a	54,43a	196bc
A.V.N.S.	38,10a	7,25	84,7b	9,46b	8,20a	124c
F	9,02ns	1,35ns	6,88*	7,03*	3,92ns	10,6**
C.V. (%)	92,83	62,59	41,94	62,04	143,48	48,86
D.P.	36,68	5,49	50,5	11,52	36,22	112,98
	10-20 cm			60-80 cm		
Cultura ILP	27,12b	8,85a	173,2a	12,77ab	27,18b	225a
Pasto	18,73bc	6,91a	138,1ac	16,53a	18,66b	237a
Pasto ILP	41,93a	8,73a	109,3bc	12,46ab	23,29b	245a
Pivô ILP	46,06a	8,38a	121,8c	12,71ab	75,83a	179a
A.V.N.S.	6,42c	6,08a	69,2b	9,01b	6,13b	162a
F	60,5**	2,04ns	8,60**	4,75*	29,3**	1,30ns
C.V. (%)	64,93	57,37	39,09	38,66	112,21	46,79
D.P.	18,5	4,48	47,81	4,91	35,16	97,77
	20-30 cm			80-100 cm		
Cultura ILP	24,01b	8,01ab	164,0a	12,61ab	28,80c	176a
Pasto	8,97bc	8,52ab	143,9ab	15,37a	20,70c	218a
Pasto ILP	22,41bc	8,79ab	106,5bc	11,50ab	33,55c	227a
Pivô ILP	55,29a	10,25a	102,0bc	10,15ab	63,18a	175a
A.V.N.S.	5,10c	4,34b	63,5c	8,74b	6,52b	125a
F	21,8**	23,8**	8,28**	3,53*	59,6**	3,15ns
C.V. (%)	92,35	47,25	41,5	42,11	68,68	43,09
D.P.	22,11	3,8	47,99	4,9	21,53	79,33
	30-40 cm					
Cultura ILP	18,07ab	6,81ab	166,6a			
Pasto	10,37b	8,08ab	147,7b			
Pasto ILP	18,69ab	7,98ab	102,7bc			
Pivô ILP	32,44a	12,66a	91,9c			
A.V.N.S.	5,77b	5,33b	60,0c			
F	7,67*	2,11*	9,28**			
C.V. (%)	85,91	60,94	46,32			
D.P.	14,98	5,05	52,45			

Fonte: Autores (2025)

Nota: ns – não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F. * Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F. **Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F. Médias seguidas de letras iguais, não diferem pelo teste de Tukey. Coeficiente de variação - C.V., Desvio Padrão - D.P., Fósforo - P, Sulfato - S-SO₄²⁻, Potássio - K, Área de vegetação natural secundária – A.V.N.S.

Tabela 3 – Estoque de nutrientes do solo (kg/ha) – Cálcio, Magnésio e Carbono

Tratamento	Ca	Mg	C	Ca	Mg	C
	(kg ha ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)	(Mg ha ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)	(Mg ha ⁻¹)
	0-10 cm			40-60 cm		
Cultura ILP	678	255a	2,93ab	551bc	138b	5,19
Pasto	1219	149ab	5,53a	1036a	419a	5,05
Pasto ILP	825	106bc	4,67ab	818ab	167b	2,28
Pivô ILP	1205	280a	1,85b	762ac	170b	3,27
A.V.N.S.	1318	168ac	2,18ab	388c	101b	1,93
F	3,82ns	13,0**	3,95*	13,0**	14,5**	2,04ns
C.V. (%)	110,34	59,33	40,59	49,42	71,22	51,95
D.P.	1161,54	115,02	1,6	352,02	141,27	1,52
	10-20 cm			60-80 cm		
Cultura ILP	439b	134,5ab	2,23	585a	145,2bc	5,76a
Pasto	919a	195,4a	3,08	1055b	355,7a	4,22ab
Pasto ILP	537ab	66,5b	2,59	935b	226,9b	3,72ab
Pivô ILP	1033a	225,3a	3,26	446ac	97,8c	2,83ab
A.V.N.S.	164b	79,8b	1,64	326c	113,0bc	1,45b
F	31,9**	11,8**	0,68ns	26,4**	12,1**	5,65*
C.V. (%)	66,92	66,93	53,58	49,75	67,07	32,46
D.P.	420,6	95,3	0,66	330,34	124,45	1,6
	20-30 cm			80-100 cm		
Cultura ILP	329bc	98,0ab	3,89a	776ab	150,1bc	3,88
Pasto	606ab	167,4ab	2,36ab	1049a	188,6ab	4,92
Pasto ILP	462ab	55,6b	2,30ab	936a	259,1a	2,8
Pivô ILP	900ac	221,6a	2,24ab	474bc	96,4c	2,46
A.V.N.S.	150c	62,4b	1,00b	247c	122,0bc	1,69
F	41,4**	12,2**	8,75**	20,2**	21,9**	2,53ns
C.V. (%)	79,55	90,3	25,41	57,79	46,4	36,9
D.P.	397,31	111,49	1,03	399,29	74,99	1,26
	30-40 cm					
Cultura ILP	303bc	82,0ab	2,7			
Pasto	568ab	163,4ac	1,49			
Pasto ILP	389ac	56,8b	2,52			
Pivô ILP	644a	150,7ac	3,16			
A.V.N.S.	207c	71,0bc	1,25			
F	10,7**	6,72*	1,84ns			
C.V. (%)	62,43	71,99	46,99			
D.P.	266,92	76,24	0,82			

Fonte: Autores (2025)

Nota: ns – não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F. * Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F. **Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F. Médias seguidas de letras iguais, não diferem pelo teste de Tukey. Coeficiente de variação - C.V., Desvio Padrão - D.P., Cálcio - Ca, Magnésio - Mg, Carbono - C, Área de vegetação natural secundária - A.V.N.S.

Em relação ao estoque de fósforo (P), os maiores valores foram identificados na área de cultura ILP irrigada com pivô em praticamente todas as profundidades, exceto entre 60–80 e 80–100 cm. Além disso, a área de vegetação natural secundária apresentou semelhança estatística com as áreas de pastagem sob ILP e pastagem convencional. Os resultados observados na área irrigada podem estar relacionados à aplicação de fertilizantes para o desenvolvimento das culturas. No entanto, por se tratar de uma área com irrigação contínua, é necessário maior cuidado para evitar a lixiviação do excesso de fósforo, que pode contaminar o lençol freático e corpos d'água próximos.

Resultados semelhantes foram relatados por Macedo e Araújo (2012), que também identificaram maiores estoques de fósforo em áreas de cultivo, enquanto os sistemas de integração apresentaram bons níveis, porém de forma mais econômica.

Quanto ao estoque de sulfato ($S-SO_4^{2-}$), os valores foram estatisticamente semelhantes entre as áreas na maior parte das profundidades, com exceção da cultura ILP irrigada com pivô nas camadas de 20–30, 60–80 e 80–100 cm. A arilsulfatase é a principal enzima envolvida no ciclo do enxofre, sendo esse nutriente absorvido predominantemente na forma inorgânica de sulfato (SO_4^{2-}). A matéria orgânica do solo representa o maior reservatório de enxofre disponível às plantas (Magro et al., 2022).

O maior estoque de potássio (K) foi observado na área de cultura ILP em todas as profundidades, exceto entre 60–80 e 80–100 cm. A vegetação natural secundária manteve-se estatisticamente semelhante às áreas de pastagem ILP e ILP irrigado com pivô. O potássio é um macronutriente essencial ao crescimento vegetal, desempenhando papel importante na resistência a estresses bióticos e abióticos, contribuindo para o vigor e produtividade das culturas (Possamai, 2020).

De forma geral, nas camadas de 10–20 e 30–40 cm, os estoques de cálcio (Ca) foram semelhantes entre as áreas de pastagem ILP, cultura ILP e vegetação natural. Já nas maiores profundidades (20–30, 40–60, 60–80 e 80–100 cm), as áreas de vegetação natural apresentaram valores semelhantes aos da cultura ILP irrigada por pivô.

Quanto ao magnésio (Mg), os maiores estoques foram registrados na cultura ILP irrigada com pivô nas profundidades de 0–10, 10–20 e 20–30 cm. Em profundidades maiores (30–40, 40–60 e

60–80 cm), os valores mais altos foram observados nas áreas de pastagem. O acúmulo desses nutrientes em profundidade pode estar associado à lixiviação em solos arenosos, o que favorece seu transporte vertical no perfil (Nasser et al., 2021).

Os estoques de carbono (C) apresentaram resultados semelhantes entre os sistemas na maioria das profundidades, com diferenças significativas nas camadas de 0–10, 20–30 e 60–80 cm, em que os maiores valores foram observados na cultura ILP. Resultados semelhantes foram reportados por Silva (2022), indicando que os sistemas de integração lavoura-pecuária tendem a apresentar maiores estoques de carbono, contribuindo para a recuperação do C no solo.

Destaca-se que o estoque de carbono é um indicador chave da qualidade do solo e da mitigação das mudanças climáticas. Os sistemas de integração, conforme demonstrado por Vinholis et al. (2022), quando associados à correção da fertilidade e ao plantio direto, são capazes de reduzir a erosão, aumentar a retenção de água, melhorar os atributos físico-químicos e biológicos do solo, favorecer o sequestro de carbono e ainda reduzir a emissão de metano por quilograma de carne produzida.

Essas evidências reforçam a importância de avaliar e monitorar continuamente os estoques de nutrientes e carbono no solo, como estratégia fundamental para garantir a sustentabilidade dos sistemas agrícolas e a conservação ambiental.

Além do estoque de nutrientes, é fundamental avaliar o comportamento dos principais parâmetros de qualidade do solo ao longo do perfil, a fim de compreender com maior profundidade os resultados laboratoriais.

Por meio do gráfico de perfil do solo referente aos teores de matéria orgânica (M.O.) (Figura 2), observa-se que os valores se mantêm próximos entre as diferentes áreas analisadas, com exceção da cultura ILP irrigada, que apresentou os menores teores. Esse resultado pode indicar maior decomposição da matéria orgânica nesse sistema, o que leva ao aumento da liberação de cátions básicos no solo. Tal processo resulta em maior disponibilidade de nutrientes e, conseqüentemente, no incremento dos teores da soma de bases e da capacidade de troca catiônica (CTC), conforme também observado por Maia et al. (2022).

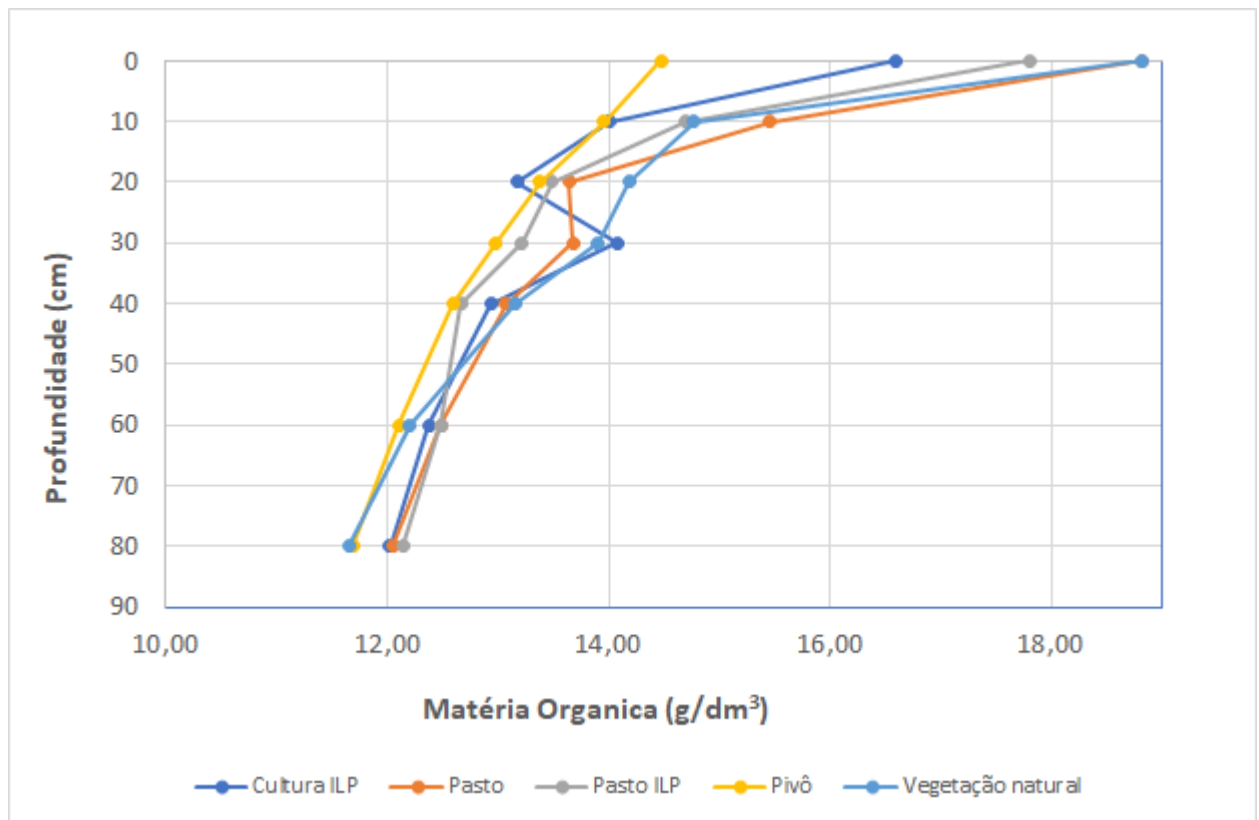


Figura 2 – Gráfico de perfil do solo em relação à Matéria Orgânica.

A análise dos resultados revela que a área de vegetação natural apresenta os maiores valores de capacidade de troca catiônica (CTC), seguida de perto pela área de cultura ILP irrigada com pivô, conforme ilustrado na Figura 3. Esses dados sugerem que a presença da matéria orgânica (M.O.) exerce papel fundamental não apenas na melhoria da estrutura física do solo, mas também na retenção e fornecimento eficiente de nutrientes essenciais às plantas.

Além disso, a matéria orgânica contribui significativamente para o aumento da retenção de

água, a estabilidade de agregados e a promoção de um ambiente mais favorável ao desenvolvimento radicular — aspectos fundamentais para a sustentabilidade da produção agrícola (Silva et al., 2021b).

Portanto, os resultados obtidos indicam que tanto a vegetação natural quanto o sistema de cultura ILP irrigada representam estratégias eficazes de manejo, capazes de conservar e melhorar a qualidade do solo, promovendo, ao mesmo tempo, maior produtividade e sustentabilidade das culturas.

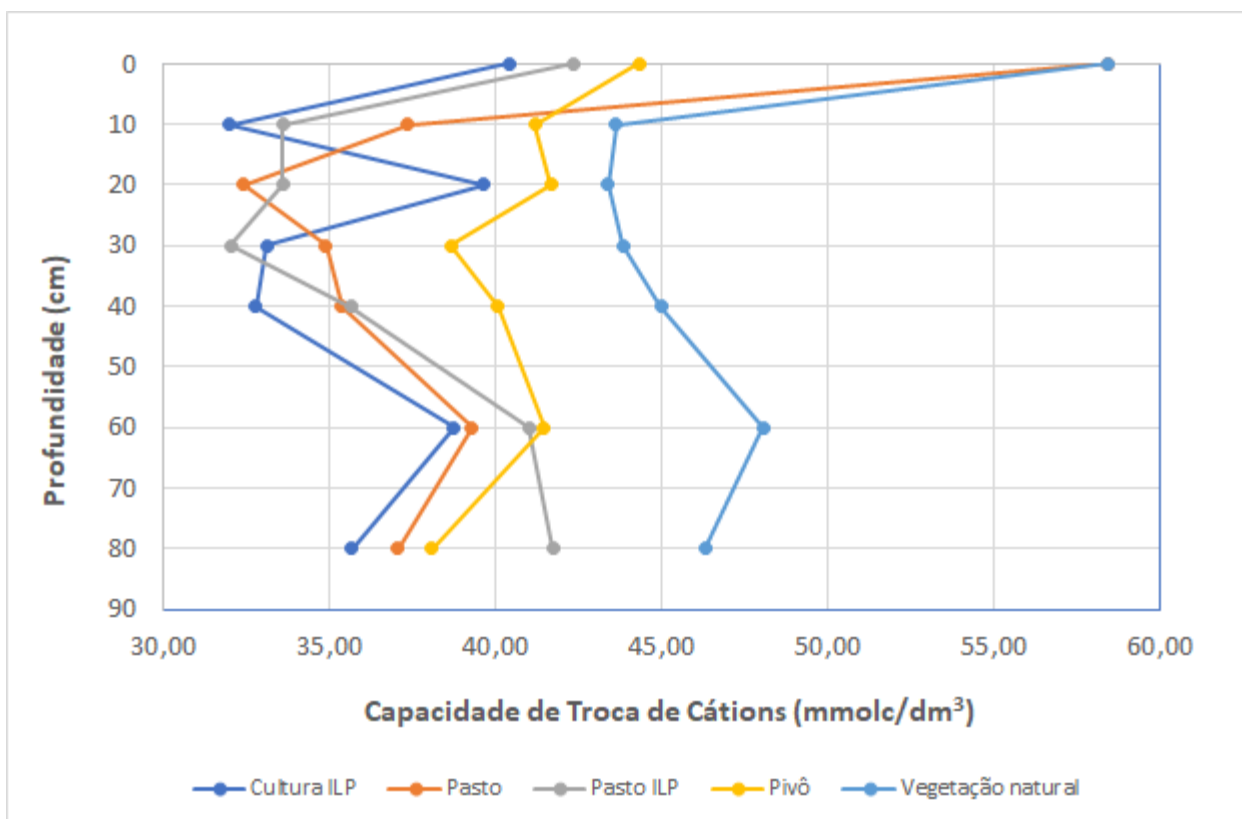


Figura 3 – Gráfico de perfil do solo em relação à Capacidade de Troca de Cátions.

Apesar dos elevados valores de matéria orgânica (M.O.) e capacidade de troca catiônica (CTC) observados na área de vegetação natural, um comportamento aparentemente contraditório é evidenciado na Figura 4, na qual a soma de bases (SB) apresenta os menores valores nesse mesmo sistema. Esse fenômeno sugere que, embora haja uma quantidade expressiva de nutrientes no solo, eles podem não estar plenamente disponíveis para absorção pelas plantas, como destacado por Sousa et al. (2020). Isso reforça a ideia de que altos teores de M.O. e CTC não garantem, por si só, a efetiva disponibilidade de nutrientes.

Essa constatação é coerente com os resultados dos atributos químicos analisados e com os achados de Sousa et al. (2020) e Assad et al.

(2019), os quais indicam que valores reduzidos de soma de bases podem estar associados à elevada estabilidade de agregados do solo. Em outras palavras, a estrutura física consolidada pode restringir a liberação de nutrientes para a solução do solo, limitando sua absorção pelas plantas.

Esse tipo de resposta tem implicações relevantes para a gestão da fertilidade, pois evidencia que a presença de matéria orgânica e capacidade de troca elevadas deve ser acompanhada da avaliação da real disponibilidade de nutrientes. Torna-se necessário, portanto, adotar uma abordagem integrada e dinâmica para interpretar a qualidade do solo, considerando não apenas seus estoques, mas também sua funcionalidade no suporte ao crescimento vegetal.

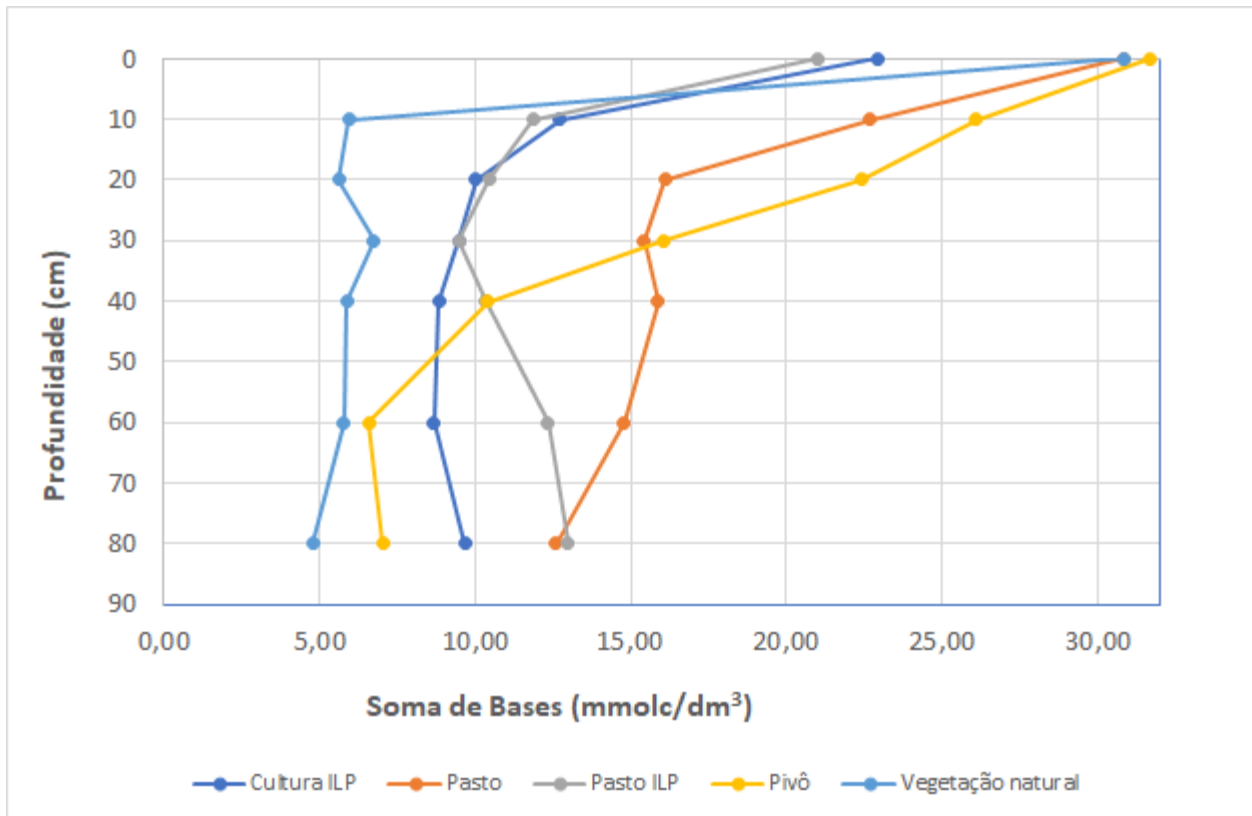


Figura 4 – Gráfico de perfil do solo em relação à Soma de Bases.

O perfil dos solos analisados revela uma distribuição distinta dos teores de soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC) e matéria orgânica (M.O.), a qual se reflete diretamente nos valores de saturação por bases (V%). Conforme ilustrado na Figura 5, a V% é significativamente maior nas camadas superficiais das áreas de pastagem, seguida pelas áreas de pasto sob ILP e cultura ILP irrigada.

Essa variação na saturação por bases indica uma melhoria substancial na qualidade do solo nas camadas mais rasas, especialmente nas áreas de pastagem. Tal resultado pode ser atribuído ao acúmulo de M.O., que funciona como reserva de nutrientes e contribui para a melhoria da estrutura do solo. A aplicação de fertilizantes, associada ao manejo com plantio direto, também exerce papel importante na manutenção da fertilidade.

A atividade microbiana, intensificada pelo manejo conservacionista, atua diretamente na ciclagem de nutrientes e na liberação de elementos essenciais ao desenvolvimento vegetal. Além disso, fatores como o tipo de vegetação e o regime de irrigação influenciam significativamente a qualidade química e biológica do solo.

Essa constatação é respaldada por estudos recentes, como o de Brito Neto et al. (2023), que ressaltam a importância do manejo adequado e da adoção de práticas agrícolas sustentáveis para a melhoria da fertilidade e da produtividade do solo.

Portanto, os resultados obtidos reforçam que o manejo conservacionista, aliado a estratégias sustentáveis de adubação e cobertura, pode promover avanços significativos na qualidade do solo — especialmente nas camadas superficiais, onde a densidade radicular é mais intensa e a dinâmica de nutrientes mais ativa.

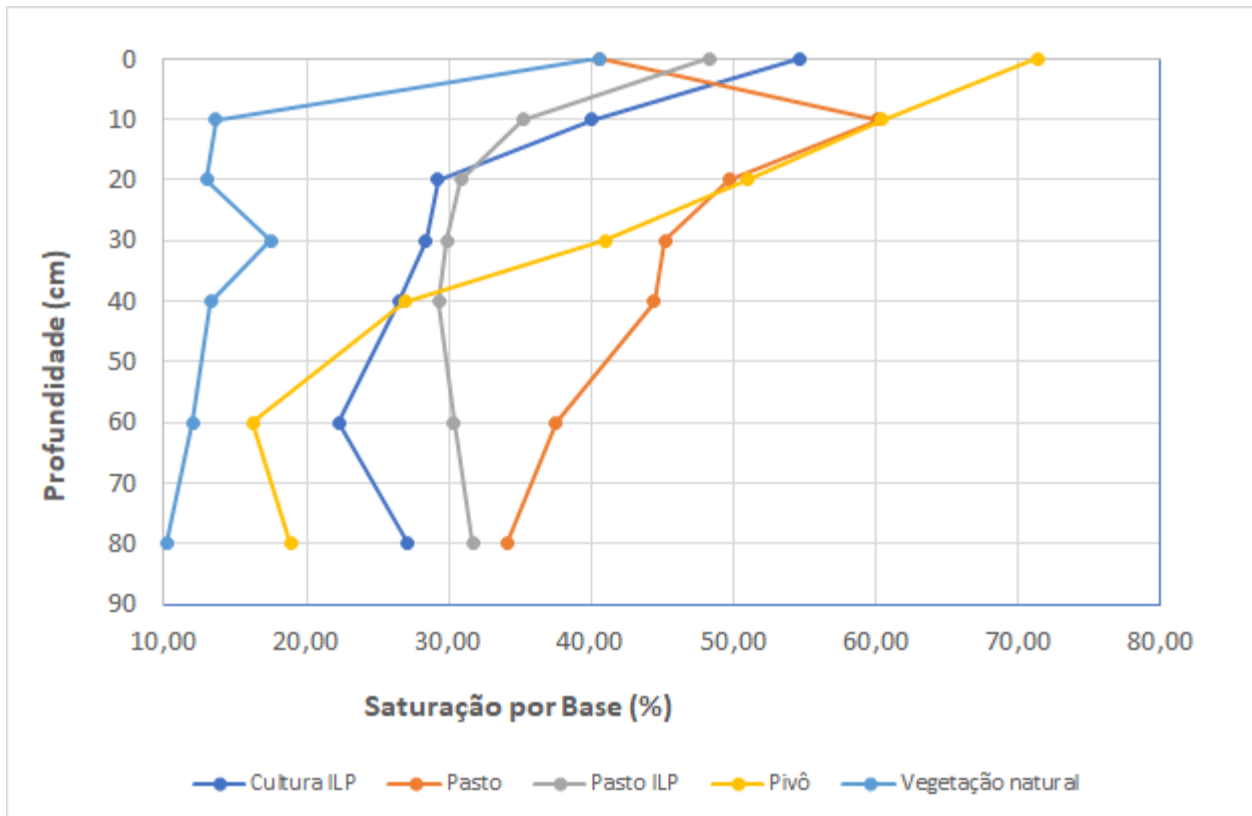


Figura 5 – Gráfico de perfil do solo em relação à Saturação por Bases - V%.

Além da qualidade do solo, que é fundamental para a produtividade agrícola, é essencial considerar os benefícios ambientais associados às práticas de manejo adotadas. Nesse contexto, destaca-se a contribuição dessas práticas para o aumento da capacidade de retenção de carbono pelo solo, fator diretamente relacionado à mitigação das mudanças climáticas.

Conforme apontado por Assad et al. (2019), solos arenosos, como os avaliados neste estudo, apresentam limitações naturais quanto ao sequestro de carbono, devido à baixa capacidade de retenção de água e à menor quantidade de matéria orgânica estável, quando comparados a solos argilosos. No entanto, essas limitações podem ser atenuadas por meio de sistemas de manejo que minimizem o revolvimento do solo e favoreçam a adição constante de resíduos orgânicos.

Nesse sentido, os resultados obtidos no presente trabalho ganham relevância. Como demonstrado na Figura 6, as áreas de pastagem e

pasto ILP apresentaram os maiores teores de carbono orgânico total, o que evidencia a eficácia desses manejos na melhoria da capacidade de retenção de carbono. Resultados semelhantes foram observados por Silva et al. (2023), que identificaram os maiores estoques de carbono e COT em sistemas de ILP, quando comparados a outros tipos de uso.

Além disso, Silva e Silva (2024) também relataram melhorias nos atributos de fertilidade em áreas sob ILP, reforçando a importância da adoção de sistemas de manejo sustentáveis para o sequestro de carbono, aumento da produtividade e mitigação dos impactos ambientais

Portanto, os dados obtidos neste estudo sugerem que práticas como o plantio direto e a incorporação de matéria orgânica têm potencial significativo para elevar a capacidade de retenção de carbono em solos arenosos, contribuindo para a resiliência dos sistemas agrícolas e a sustentabilidade a longo prazo.

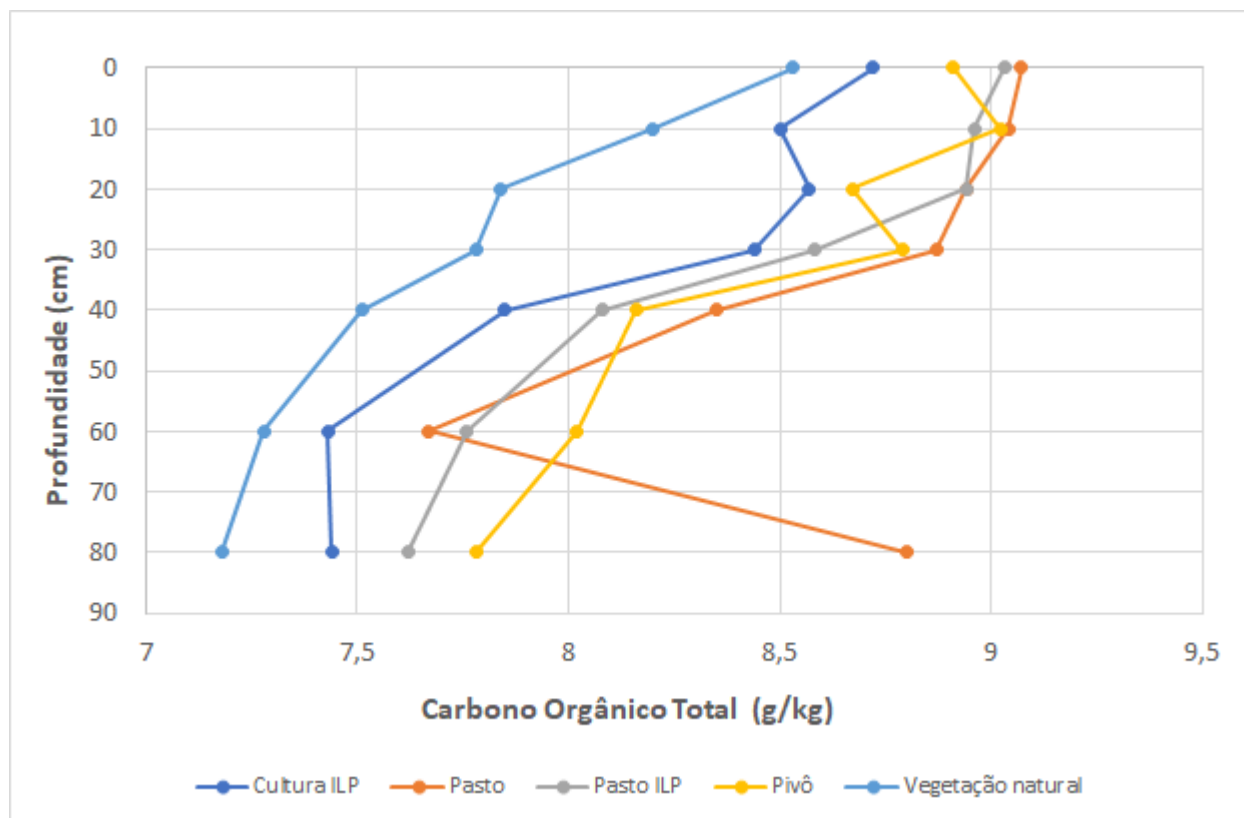


Figura 6 – Gráfico de perfil do solo em relação ao Carbono Orgânico Total.

O processo de sequestro de carbono é um mecanismo fundamental para a mitigação das mudanças climáticas, consistindo na captura e armazenamento de dióxido de carbono (CO₂) da atmosfera no solo, por meio da incorporação e decomposição da matéria orgânica. No entanto, é importante ressaltar que as diferentes formas de uso e manejo do solo interferem diretamente nesse processo. Sistemas com maior intervenção antrópica tendem a liberar mais CO₂ para a atmosfera, enquanto áreas com vegetação natural atuam como sumidouros de carbono, absorvendo e armazenando esse gás (Brasileiro et al., 2024).

Dessa forma, o carbono sequestrado no solo deixa de contribuir para o aquecimento global ao ser removido da atmosfera. Além disso, o sequestro de carbono traz benefícios adicionais, como o aumento da resiliência do solo frente a eventos climáticos extremos — incluindo secas e inundações — tornando os agroecossistemas mais resistentes às mudanças climáticas (Assad et al., 2019).

Embora o teor de carbono presente no solo seja um fator essencial, é igualmente importante considerar a capacidade de armazenamento em diferentes profundidades e áreas. A Figura 7 ilustra essa capacidade de forma integrada, destacando a importância de avaliar a distribuição vertical do carbono no solo para entender o real potencial de sequestro de cada sistema.

Essa análise é estratégica para a definição de políticas e práticas de manejo que maximizem o acúmulo de carbono no solo. Além dos benefícios climáticos, o sequestro de carbono também contribui para o aumento da fertilidade, a promoção da biodiversidade, a redução da erosão e o fortalecimento da sustentabilidade agrícola.

Portanto, é essencial priorizar práticas de manejo conservacionistas e sustentáveis, que favoreçam a adição e a estabilidade do carbono no solo, contribuindo simultaneamente para a mitigação das mudanças climáticas e para a resiliência ambiental dos sistemas produtivos.

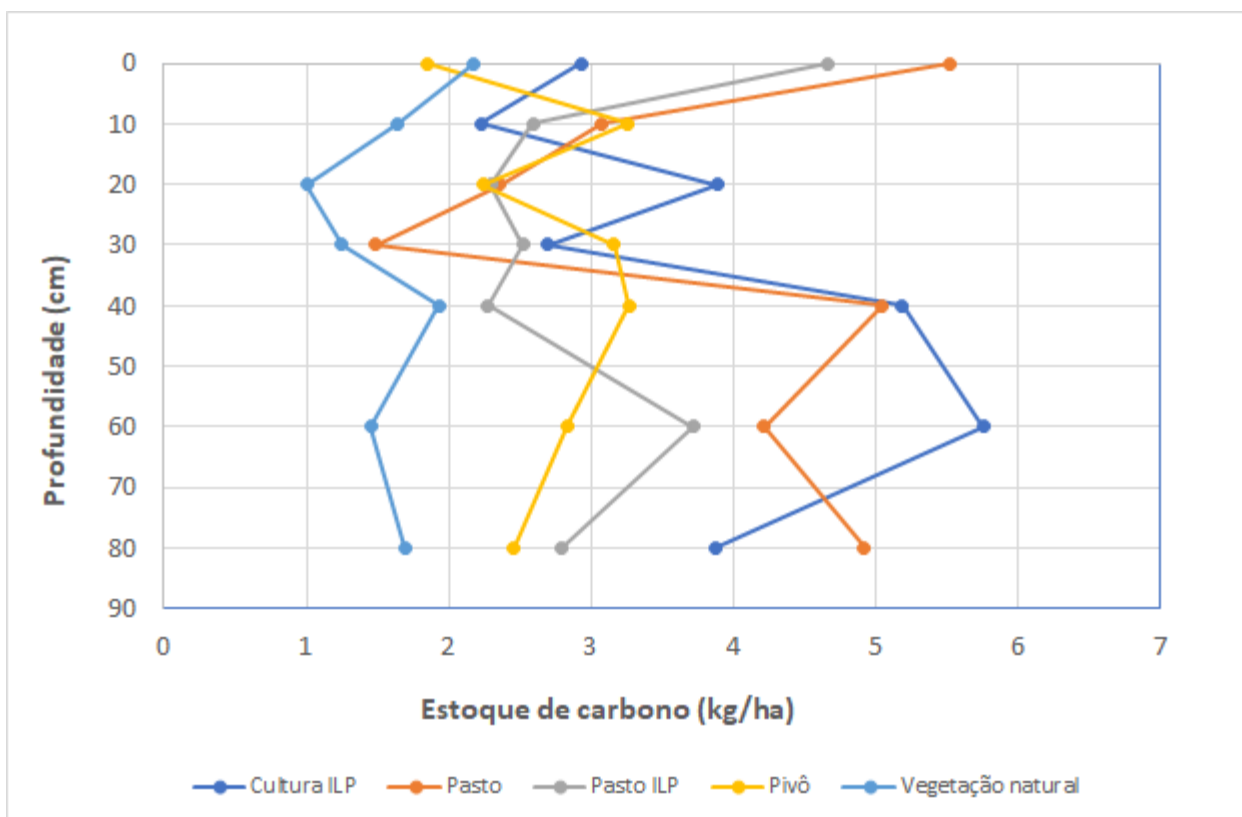


Figura 7 – Gráfico de perfil do solo em relação ao Estoque de carbono.

Nas áreas manejadas sob sistemas de Integração Lavoura-Pecuária (ILP) e pastagens bem conduzidas, as gramíneas exercem papel fundamental no aumento do aporte de carbono ao solo. Isso se deve à sua capacidade de promover melhorias na estrutura física do solo e, conseqüentemente, favorecer o acúmulo de matéria orgânica estável, contribuindo para o incremento dos estoques de carbono. Estudos recentes, como o de Rachwal et al. (2022), confirmam essa tendência, evidenciando maiores estoques de carbono em solos de textura média sob sistemas com pastagem e ILP.

No entanto, vale destacar que sistemas irrigados desprovidos de gramíneas também podem apresentar acúmulo de carbono no solo. Entretanto, a maior umidade presente nesses sistemas pode acelerar a decomposição da matéria orgânica, o que exige um manejo criterioso para evitar perdas e maximizar os benefícios do sequestro de carbono.

A implementação de práticas agrícolas sustentáveis — como o uso de gramíneas, o plantio direto e o controle da umidade — não apenas contribui para o desenvolvimento sustentável, mas também ajuda a mitigar os efeitos das mudanças climáticas. Tais ações promovem um futuro agrícola mais resiliente e ambientalmente equilibrado para as gerações atuais e futuras.

Conclusão

A comparação entre os diferentes sistemas de uso do solo indicou que, embora os métodos conservacionistas aplicados não tenham promovido melhorias estatisticamente significativas em todos os atributos de qualidade do solo, os sistemas com pastagem e Integração Lavoura-Pecuária (ILP) demonstraram melhor desempenho em termos de serviço ambiental, especialmente no sequestro de carbono. Esses sistemas destacaram-se como estratégias promissoras para a mitigação dos efeitos das mudanças climáticas, ao favorecerem o acúmulo de carbono orgânico no solo.

Além disso, os sistemas ILP apresentaram potencial para contribuir com a produtividade agrícola, mantendo bons níveis de fertilidade e estrutura do solo, o que os torna particularmente vantajosos em solos arenosos. Nessas condições, a menor extração de carbono promovida pelas gramíneas e o manejo conservacionista resultaram em maiores estoques de carbono, sugerindo maior sustentabilidade a longo prazo.

Considerando conjuntamente os aspectos de fertilidade, estrutura e retenção de carbono, conclui-se que a adoção de sistemas como o pasto e o pasto sob ILP é recomendada para ambientes com solos arenosos. Tais sistemas conciliam a conservação dos recursos naturais com a produtividade agrícola, oferecendo uma alternativa

eficiente e ambientalmente responsável para o uso da terra na região oeste paulista.

Agradecimentos

Agradecemos à Fundação AGRISUS pelo apoio e financiamento para execução dessa pesquisa.

Aos pesquisadores da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa, por todo suporte e orientação durante a pesquisa.

Aos alunos do curso de Agronomia da Universidade do Oeste Paulista – UNOESTE, pelo auxílio durante as coletas e análises de solo.

Referências

- Assad, E. D., Freitas, M. A. S., Espindola, C. R., Sano, E. E., Farias, T. R. V., Azevedo, J. C. R., Sá, M. E. M., Faleiro, F. G., & Tardin, F. D. (2019). *Sequestro de carbono e mitigação de emissões de gases de efeito estufa pela adoção de sistemas integrados*. Embrapa. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/202491/1/PL-SequestroCarbono-Assad.pdf>
- Balbino, L. C., Cordeiro, L. A. M., Martins, A. L. M., Gianluppi, V., Moraes, A., Kluthcouski, J., & Fontaneli, R. S. (2011). Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 46(10), i–xii.
- Bayer, C., Mielniczuk, J., Amado, T. J. C., Martin-Neto, L., & Fernandes, S. V. (2006). Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. *Soil and Tillage Research*, 86(2), 237–245. <https://doi.org/10.1016/j.still.2005.02.023>
- Bonetti, J. A., Pauletto, E. A., & Fernandes, F. F. (2018). Soil physical and biological properties in an integrated crop-livestock system in the Brazilian Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 53(11), 1239–1247. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2018001100006>
- Braga, R. M., Braga, F. A., & Venturin, N. (2022). Carbono orgânico no solo sob mata nativa e florestas plantadas em longo prazo. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 42, e202002121. <https://doi.org/10.4336/2022.pfb.42e202002121>
- Brasileiro, A. R. S., Silva, L. A. C., Matos, C. A. C., Santos, R. T. R., Pereira, J. M. A., & Almeida, V. F. (2023). Cinética da decomposição da matéria orgânica vegetal e liberação do CO₂ edáfico em sistemas de cultivo e em áreas de floresta. *Revista JRG de Estudos Acadêmicos*, 7(14). <https://doi.org/10.55892/jrg.v7i14.944>
- Brito Neto, J. F., Sousa, J. S., Moura, L. S., & Lima, R. B. (2023). Soil sustainability in an integrated production system in a Brazilian semi-arid region. *Preprints*. <https://doi.org/10.20944/preprints202306.0669.v1>
- Cambardella, C. A., & Elliott, E. T. (1992). Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Science Society of America Journal*, 56(3), 777–783. <https://doi.org/10.2136/sssaj1992.03615995005600030017x>
- Carneiro, L. F., Silva, M. A. C., Machado, R. A., & Oliveira, A. C. (2020). Alternativa conservacionista de produção da cana-de-açúcar em solos arenosos: palhico, consórcio e nitrogênio. *Revista de Agricultura Neotropical*, 44, e9920. <https://doi.org/10.1590/1413-7054202044009920>
- Fernandes, F. A., & Fernandes, A. H. B. M. (2009). *Cálculo dos estoques de carbono do solo sob diferentes condições de manejo* (Comunicado Técnico 69). Embrapa Pantanal.
- Fernandes, L. A., & Coimbra, A. M. (2000). Revisão estratigráfica da parte oriental da Bacia Bauru (Neocretáceo). *Revista Brasileira de Geociências*, 30, 723–734. <https://doi.org/10.25249/0375-7536.2000304717728>
- Ferreira, N. K. F., Rodrigues, R. C. A., da Silva, E. B., & Silva, R. G. A. (2021). Disponibilidade de metais pesados e sua correlação com a matéria orgânica do solo em áreas produtoras de hortaliças na Região Metropolitana de Belém/PA. *Brazilian Journal of Development*, 7(11), 109022–109032. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n11-500>
- Freitas, L. de, Oliveira, M. S., & Lima, A. R. (2017). Indicadores da qualidade química e física do solo sob diferentes sistemas de manejo. *Revista Unimar Ciências*, 26(1–2), 8–25.
- Guimarães, T. P., Gomes, A. C., Barbosa, R. G., & Souza, E. R. (2021). Sequestro de carbono em sistemas silvipastoris de regeneração natural da agricultura familiar, São Domingos do Araguaia – PA. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 4(3), 4721–4728. <https://doi.org/10.34188/bjaerv4n3-148>
- Macedo, M. C. M., & Araújo, A. R. de. (2012). *Sistemas de produção em integração: alternativa para recuperação de pastagens degradadas*. Embrapa. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstre>

- am/item/202698/1/Sistemas-de-producao-em-integracao.pdf
- Magro, L. A. C., Mazzuchelli, R. C. L., & Alves, M. R. (2022). Atividade enzimática em solos arenosos manejados com SAF no Pontal do Paranapanema. *Colloquium Exactarum*, 14, 193–200.
<https://doi.org/10.5747/ce.2022.v14.e398>
- Maia, J. C. S., Silva, G. A., & Oliveira, C. R. (2022). Efeitos de diferentes plantas de cobertura e extrato orgânico sobre atributos químicos de um solo franco argilo arenoso. *Research, Society and Development*, 11(14).
<https://doi.org/10.33448/rsd-v11i14.35994>
- Moro, E., Alves, M. R., & Tiritan, C. S. (2019). Integração lavoura-pecuária: desafios, estratégias e resultados da integração lavoura-pecuária em ambientes de produção com solos arenosos. *Boletim de Pesquisa*. Embrapa.
- Muller, M. D., Valente, M. S. F., Carvalho, A. C. S., & Almeida, R. G. (2023). Adotabilidade de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Mato Grosso do Sul. *Embrapa Gado de Leite. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento*, 47.
- Nasser, M. D., Oliveira, A. S., & Silva, R. C. (2021). Propriedades químicas e fertilidade dos solos agrícolas de Adamantina – SP. *Nucleus*, 18(1).
<https://doi.org/10.3738/1982.2278.3889>
- Possamai, E. J., Flores, C. A., & Tomazi, M. (2020). Chemical attributes of soils in long-term crop-livestock integration. *Research, Society and Development*, 9(11).
<https://doi.org/10.33448/rsd-v9i11.9632>
- Rachwal, M. F. G., Padilha, F. S., Carneiro, J. S., Teixeira, R. S., Munhoz, M. B., & Dominghetti, A. W. (2022). Impacto de sistemas produtivos nos estoques de carbono e nitrogênio do solo na Região Noroeste do Paraná. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 42, e202002172.
<https://doi.org/10.4336/2022.pfb.42e202002172>
- Raij, B. van, Andrade, J. C., Cantarella, H., & Quaggio, J. A. (2001). *Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais*. Instituto Agronômico de Campinas.
- Ramos, H. M. M., Lima, M. C., Fonseca, E. C., Pereira, M. R. B., Carvalho, L. V. A., Silva, J. V. M., Rocha, T. R. S., Santos, V. M. C., Lima, G. C., Oliveira, D. J. C., Costa, B. M., Andrade, E. G., Nascimento, F. S., Almeida, M. A. G., Araújo, D. C. S., Souza, A. C., Martins, M. J. A., Fernandes, C. T. C., Costa, J. R., & Castro, R. T. (2023). Estoque de carbono de um neossolo quartzarênico sob diferentes usos: Carbon stock in a quartzarenic neosol under different land uses. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 6(1), 910–922.
<https://doi.org/10.34188/bjaerv6n1-080>
- Silva, C. F. da, & Silva, S. de D. da. (2024). Revolucionando a fertilidade do solo: o impacto da integração lavoura-pecuária (ILP) em Araguatins – TO. *Observatório de la Economía Latinoamericana*, 22(11).
<https://doi.org/10.55905/oelv22n11-110>
- Silva, L. L., Ribon, A. A., & Backes, C. (2023). Carbono e matéria orgânica do solo em sistema de manejo de produção de pastagem: uma revisão sistemática com meta-análise. *Agrarian*, 16(56).
<https://doi.org/10.30612/agrarian.v16i56.17176>
- Silva, P. L. F. da, Santos, C. G., Oliveira, R. F., & Pereira, J. B. (2021). Qualidade física de solo arenoso em ambiente semiárido sob sistema de integração lavoura-pecuária. *Bioeng*, 15(4), 598–616.
<https://doi.org/10.18011/bioeng2021v15n4p598-616>
- Silva, M. O., Costa, L. A., Rodrigues, R. C., & Ribeiro, A. C. (2021). Qualidade do solo: indicadores biológicos para um manejo sustentável. *Brazilian Journal of Development*, 7(1), 6853–6875.
<https://doi.org/10.34117/bjdv7n1-463>
- Silva, T. R., Vieira, L. M., Lima, D. S., & Santos, M. A. (2022). Avaliação da qualidade do solo em sistema agroflorestal de café. In *14ª Jornada Científica e Tecnológica (Anais eletrônicos)*. IFSULDEMINAS.
<https://josif.ifsuldeminas.edu.br/ojs/index.php/anais/article/view/424/145>
- Silva, K. R., Silva, R. F., & Barbosa, G. A. (2017). Indicadores químicos do solo sob diferentes usos e manejo no lote 31 do projeto de assentamento Veneza no sudeste do Pará. *Agroecossistemas*, 9(1), 227–235.
<https://periodicos.ufpa.br/index.php/agroecosistemas/article/view/4778/4402>
- Sisti, C. P. J., Santos, H. P., Kohhann, R., Alves, B. J. R., & Urquiaga, S. (2004). Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. *Soil and Tillage Research*, 76, 39–58.
<https://doi.org/10.1016/j.still.2003.08.007>
- Sousa, H. M., Silva, C. R., & Oliveira, M. C. (2020). Dynamics of soil microbiological attributes in integrated crop-livestock systems in the Cerrado-Amazon ecotone. *Revista Caatinga*, 33(1), 9–20.

<https://doi.org/10.1590/1983-21252020v33n102rc>

Vinholis, M. M. B., Souza Filho, H. M., Gomes, A. M., & Lourenzani, A. E. B. (2022). Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Estado de São Paulo: estudo multicasos com adotantes pioneiros. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 60(1), e234057. <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2021.234057>

Yeomans, J. C., & Bremner, J. M. (1988). A rapid and precise method for routine determination

of organic carbon in soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 19(13), 1467–1476.

<https://doi.org/10.1080/00103628809368027>
Zanatta, J. A., Pulrolnik, K., & Viana, J. H. M. (2015). Protocolo para avaliação do estoque de carbono e de nitrogênio do solo em sistemas florestais – Projeto Saltus. *Embrapa Florestas. Documentos*. <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/129380/1/Doc.-277-Projeto-Saltus-2.pdf>