



**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MEIO
AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO REGIONAL**

JULIA CARDOSO SILVA

**IMPLICAÇÕES TÉCNICAS E AMBIENTAIS EM DIFERENTES SISTEMAS DE
MANEJO**

Presidente Prudente – SP
2024



**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MEIO
AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO REGIONAL**

JULIA CARDOSO SILVA

**IMPLICAÇÕES TÉCNICAS E AMBIENTAIS EM DIFERENTES SISTEMAS DE
MANEJO**

Dissertação de mestrado apresentada à Pró-reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade do Oeste Paulista, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional. Área de concentração: Ciências Ambientais.
Linha II: Planejamento Ambiental e Desenvolvimento Regional.

Orientador: Dr. Marcelo Rodrigo Alves
Coorientador: Dr. Guilherme Kangussu Donagema

631.58
S586i

Silva, Julia Cardoso.

Implicações técnicas e ambientais em diferentes sistemas de manejo / Julia Cardoso Silva. –Presidente Prudente, 2024.

120 f.: il.

Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional) - Universidade do Oeste Paulista – Unoeste, Presidente Prudente, SP, 2024.

Bibliografia.

Orientador: Dr. Marcelo Rodrigo Alves

1. Qualidade do solo. 2. Sistema integração lavoura-pecuária (ILP). 3. Solos arenosos. 4. Oeste Paulista.
I. Título.

Catlogação na Fonte: Maria Leticia Silva Vila Real – CRB 8/10699

JULIA CARDOSO SILVA

**IMPLICAÇÕES TÉCNICAS E AMBIENTAIS EM DIFERENTES SISTEMAS DE
MANEJO**

Dissertação de mestrado apresentada à Pró-reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade do Oeste Paulista, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional. Área de concentração: Ciências Ambientais.
Linha II: Planejamento Ambiental e Desenvolvimento Regional.

Presidente Prudente, 11 de abr. de 2024.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marcelo Rodrigo Alves
Universidade do Oeste Paulista – Unoeste
Presidente Prudente - SP

Prof^a. Dra. Máira Rodrigues Uliana
Universidade do Oeste Paulista – Unoeste
Presidente Prudente - SP

Prof. Dr. Herly Carlos Teixeira Dias
Universidade Federal de Viçosa
Viçosa - MG

DEDICATÓRIA

Dedico à minha família e namorado, pelo apoio incondicional e constante incentivo para a realização dos meus sonhos, me encorajando a enfrentar todos os momentos difíceis da vida.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela graça da vida, por tudo que Ele colocou no meu caminho e por ter me dado o sustento necessário para persistir nessa caminhada e me ajudar a manter a fé nos momentos mais difíceis.

Aos meus Pais, que sempre me incentivaram para que meus sonhos se tornassem realidade e me apoiaram em todas as decisões. Sem dúvida nenhuma, a participação de vocês foi decisiva em cada etapa dessa caminhada. Sem o apoio, o sacrifício, a força e o exemplo de vocês jamais teriam chegado tão longe. Obrigada por toda a compreensão e amor. Não existem palavras que expressem minha gratidão. Amo vocês.

Ao meu noivo, pelo amor, companheirismo e apoio incondicional, agradeço a enorme compreensão, generosidade e alegria com que me dedicou constantemente, contribuindo para chegar ao fim deste percurso. Amo você.

Ao orientador, Dr. Marcelo Rodrigo Alves, pela confiança no meu trabalho, pela paciência, por me ensinar, pela compreensão e por prontamente me ajudar sempre que o procurei. Seus conhecimentos fizeram grande diferença no resultado final deste trabalho. À você, minha eterna gratidão.

Aos pesquisadores da Embrapa, Dr. Guilherme Kangussu Donagemma, Dr. Ademir Fontana e Dr. João Herbert Moreira Viana, por todo o apoio, colaboração e ensinamentos. A vocês, meu muito obrigada.

Aos alunos da agronomia, que disponibilizaram seu tempo e paciência para me ajudar nas coletas no campo e análises de laboratório. Obrigada pela dedicação.

Aos amigos do mestrado e doutorado, Ítalo Rafael de Freitas, Marcello Augusto Dias da Cunha e Janardelly Gomes de Souza, por todo companheirismo, empenho e colaboração. Obrigada por me ajudarem a concluir mais um ciclo do meu crescimento profissional.

Aos funcionários do laboratório da Unoeste, Élida, Lidyane, Luciana e Luma por todo ensinamento, paciência e dedicação para realização das análises laboratoriais. Muito obrigada.

Ao Programa de Suporte à Pós-Graduação de Instituições de Ensino Particulares (PROSUP / CAPES), aos funcionários e docentes do Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional da Unoeste, pela oportunidade e por todo aprendizado, possibilitando a realização desta pesquisa. Gratidão.

A todos que contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização deste trabalho, enriquecendo meu processo de aprendizado e que certamente tiveram impacto na minha formação. Muito obrigada.

*“Somente quando for cortada a última árvore,
pescado o último peixe,
poluído o último rio,
que as pessoas vão perceber que não podem comer dinheiro.”
(Provérbio Indígena)*

RESUMO

IMPLICAÇÕES TÉCNICAS E AMBIENTAIS EM DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO

A integração Lavoura-Pecuária é um sistema alternativo de uso agrícola, porém pouco se sabe sobre os efeitos desse sistema em solos arenosos. Assim, o objetivo do presente trabalho foi estudar as implicações técnicas e ambientais no uso de sistemas de Integração Lavoura-Pecuária em solos arenosos. Para tanto o trabalho foi dividido em dois capítulos, sendo o capítulo 1 voltado a analisar se os métodos de coleta interferem nos resultados dos atributos do solo. Já no capítulo 2 foi realizada uma análise mais minuciosa dos atributos do solo para cada parâmetro. Como resultado, observamos que de forma geral o sistema de amostragem não interfere nos resultados, mas estes podem variar quando comparados em relação ao uso do solo. Também se pode concluir que o sistema de Integração Lavoura-Pecuária não possui uma melhoria excepcional da qualidade do solo, mas auxilia na melhoria dos teores de estoque de carbono e possivelmente na produtividade destas áreas. Assim, concluímos que a adoção do sistema de Lavoura-Pecuária é uma boa alternativa para solos arenosos do Oeste Paulista.

Palavras-chave: Qualidade do solo; Sistema integração lavoura-pecuária (ILP); Solos arenosos; Oeste Paulista.

ABSTRACT

TECHNICAL AND ENVIRONMENTAL IMPLICATIONS IN DIFFERENT MANAGEMENT SYSTEMS

Crop-Livestock integration is an alternative system of agricultural use, but little is known about the effects of this system on sandy soils. Thus, the objective of the present work was to study the technical and environmental implications of using Crop-Livestock Integration systems in sandy soils. To this end, the work was divided into two chapters, with chapter 1 focused on analyzing whether collection methods interfere with the results of soil attributes. In chapter 2, a more detailed analysis of soil attributes was carried out for each parameter. As a result, we observed that in general the sampling system does not interfere with the results, but these may vary when compared in relation to land use. It can also be concluded that the Crop-Livestock Integration system does not have an exceptional improvement in soil quality, but it helps to improve carbon stock levels and possibly the productivity of these areas. Thus, we conclude that the adoption of the Crop-Livestock system is a good alternative for sandy soils in Western São Paulo.

Keywords: Soil quality; Integration crop-livestock system (ILP); Sandy soils; West Paulista.

LISTA DE SIGLAS

Δt	– Variação de temperatura
Al^{3+}	– Alumínio
BMS	– Biomassa microbiana do solo
$^{\circ}C$	– Graus célsius
C	– Carbono
Ca^{2+}	– Cálcio
$CaCl_2$	– Cloreto de cálcio
C_i	– Carbono extraído do solo irradiado
cm	– Centímetros
cm^3	– Centímetros cúbicos
C_{mic}	– Carbono da biomassa microbiana
C_{NI}	– Carbono extraído do solo não irradiado
CO	– Teor de C orgânico total na profundidade amostrada
CO_2	– Gás carbônico
C_p	– Capacidade da água de receber calor
CTC	– Capacidade de troca de cátions
C.V.	– Coeficiente de variação
D_p	– Densidade de partículas
D.P.	– Desvio padrão
D_s	– Densidade do solo
EC	– Estoque de carbono
FDA	– Diacetato de fluoresceína
g	– Gramas
$g\ cm^{-3}$	– Grama por centímetro cúbico
$g\ kg^{-1}$	– Grama por quilograma
h	– hora
H	– Espessura da camada considerada
H^+	– Hidrogênio
H_2SO_4	– Ácido sulfúrico
H_3PO_4	– Ácido fosfórico

ha	– Hectares
H+Al	– Acidez potencial
ILF	– Integração lavoura-floresta
ILP	– Integração lavoura-pecuária
ILPF	– Integração lavoura-pecuária-floresta
IPF	– Integração pecuária-floresta
J g ⁻¹	– Jaula por grama
K	– Fator de correção
K ⁺	– Potássio
K ₂ SO ₄	– Sulfato de potássio
K ₂ Cr ₂ O ₇	– Dicromato de potássio
K _{ec}	– Proporção total do carbono microbiano extraído após irradiação
Kg dm ⁻³	– Quilograma por decímetro cúbico
kPa	– Quilopascal
m	– Metros
M	– Massa da água
Mg ²⁺	– Magnésio
Mg ha ⁻¹	– Miligramas por hectare
ml	– Mililitro
mm	– Milímetros
mol l ⁻¹	– Mol por litro
MOS	– Matéria orgânica no solo
Ms	– Massa seca da amostra de solo seco
MSS	– Massa do solo seco
m _t	– Massa total das amostras a serem irradiadas
MUB	– Solução tampão universal modificado
N	– Normalidade exata do (NH ₄) ₂ Fe(SO ₄) ₂
NaOH	– Hidróxido de sódio
(NH ₄) ₂ Fe(SO ₄) ₂	– Sulfato ferroso amoniacal
nm	– Nanômetros
N _{mic}	– Nitrogênio da biomassa microbiana
ODS	– Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

P	– Fósforo
PD	– Plantio direto
pH	– Potencial Hidrogeniônico
pNP	– p-nitrofenol
Po	– Potência real do aparelho
q _{CO2}	– Quociente metabólico
R	– Energia necessária para exposição
rpm	– Rotação por minuto
S-SO ₄ ²⁻	– Sulfato
T	– Tempo real de exposição das amostras ao microondas
t	– Tempo de exposição da água ao microondas
TFSA	– Terra fina seca ao ar
THAM	– Tris-hidroximetilaminometano
T.T.C	– Cloreto de trifeniltetrazólio
TTF – formazan	– Trifeniltetrazólio formazan
V _a	– Volume (ml) do (NH ₄) ₂ Fe(SO ₄) ₂ gasto na titulação da amostra
V _b	– Volume do (NH ₄) ₂ Fe(SO ₄) ₂ gasto na titulação do branco
V _{extrato}	– Volume de K ₂ SO ₄ utilizado para análise
V _{extrator}	– Volume de K ₂ SO ₄ utilizado na extração
V _s	– Volume do solo
VT	– Volume total aferido do balão
VTP	– Volume total de poros
Vu	– Volume utilizado para completar o balão com a amostra
W	– Watts

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Croqui de localização da área de estudo no município de Rancharia..	32
Figura 2 – Resumo esquemático das fases de trabalho.	33
Figura 3 – Coleta das amostras deformadas de solo em perfil, na Fazenda Ybyeté Porã, em abril de 2022.	34
Figura 4 – Coleta das amostras de solo por tradagem, na Fazenda Ybyeté Porã, em abril de 2022.	35
Figura 5 – Análise física do solo, separação de silte e argila, realizada no laboratório de solos da UNOESTE, abril a setembro de 2022.	36
Figura 6 – Separação granulométrica das frações da areia, realizada no laboratório de solos da UNOESTE, abril a setembro de 2022.	36
Figura 7 – Filtração das amostras para análise de carbono e nitrogênio da biomassa microbiana, realizada no laboratório de microbiologia do solo da UNOESTE, entre abril e maio de 2022.	38
Figura 8 – Amostras após a adição do indicador, para determinação de carbono da biomassa microbiana, realizada no laboratório de microbiologia do solo da UNOESTE, entre abril e maio de 2022.	39
Figura 9 – Filtração das amostras para análise de FDA, realizada no laboratório de microbiologia do solo da UNOESTE, entre abril e maio de 2022.	42
Figura 10 – Croqui de localização da área de estudo no município de Rancharia..	69
Figura 11 – Resumo esquemático das fases de trabalho.	70
Figura 12 – Coleta das amostras de solo dos pontos complementares, por meio da tradagem, na Fazenda Ybyeté Porã, em abril de 2022.	72
Figura 13 – Coleta das amostras indeformadas de solo, na Fazenda Ybyeté Porã, em abril de 2022.	72
Figura 14 – Coleta das amostras deformadas de solo em perfil, na Fazenda Ybyeté Porã, em abril de 2022.	73
Figura 15 – Chave para atribuição das notas de qualidade estrutural de cada camada da amostra de solo (Q_{ec}) da Embrapa	74

Figura 16 – Separação granulométrica das frações da areia, realizada no laboratório de solos da UNOESTE, entre abril e setembro de 2022.	75
Figura 17 – Análise física da matéria orgânica por meio do Bloco digestor, realizada no laboratório de solos da UNOESTE, entre abril e setembro de 2022.	77
Figura 18 – Etapas da titulação para o fracionamento físico da matéria orgânica (iniciando com a solução laranjada, passando para azul e verde e finalizando a titulação com a solução de cor marrom), realizada no laboratório de solos da UNOESTE, entre abril e setembro de 2022.	77
Figura 19 – Filtração das amostras para análise de carbono e nitrogênio da biomassa microbiana, realizada no laboratório de solos da UNOESTE, entre abril e setembro de 2022.	79
Figura 20 – Amostras após a adição do indicador, para determinação de carbono da biomassa microbiana, realizada no laboratório de microbiologia do solo da UNOESTE, entre abril e maio de 2022.	80
Figura 21 – Filtração das amostras para análise de FDA, realizada no laboratório de microbiologia do solo da UNOESTE, entre abril e maio de 2022.	83
Figura 22 – Análise do Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo – DRES, realizada na Fazenda Ybyeté Porã, em abril de 2022.	86
Figura 23 – Gráfico de perfil do solo em relação à Matéria Orgânica.	106
Figura 24 – Gráfico de perfil do solo em relação à Capacidade de Troca de Cátions.	107
Figura 25 – Gráfico de perfil do solo em relação à Soma de Bases.	107
Figura 26 – Gráfico de perfil do solo em relação à Saturação por Bases - V%.	108
Figura 27 – Gráfico de perfil do solo em relação ao Carbono Orgânico Total.	109
Figura 28 – Gráfico de perfil do solo em relação ao Estoque de Carbono.	110

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Atributos físicos do solo em função de diferentes métodos de coleta. .43	43
Tabela 2 - Atributos físicos do solo em função de diferentes métodos de coleta, separado por área.44	44
Tabela 3 - Atributos químicos do solo em função de diferentes métodos de coleta de solo.....45	45
Tabela 4 - Atributos químicos do solo em função de diferentes métodos de coleta de solo, separados por área.....47	47
Tabela 5 – Atributos microbiológicos do solo, em função do método de análise. ..50	50
Tabela 6 – Atributos microbiológicos do solo, em função do método de análise, separado por área.51	51
Tabela 7 - Fracionamento de areia em função do método de coleta de solo.....52	52
Tabela 8 - Fracionamento de areia em função do método de coleta de solo, separado por área.54	54
Tabela 9 - Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo – DRES em função do sistema de cultivo.....86	86
Tabela 10 – Índice de Qualidade Estrutural do Solo – IQES de cada área.....87	87
Tabela 11 - Umidade do solo (%) em função do sistema de cultivo e da profundidade87	87
Tabela 12 - Densidade do solo (g/cm ³), densidade de partícula (g/cm ³) e densidade total (%) do solo em função do sistema de cultivo e da profundidade. 88	88
Tabela 13 - Atributos físicos do solo em função de diferentes sistemas de cultivo e da profundidade.89	89
Tabela 14 - Fracionamento de areia em função do sistema de cultivo e da profundidade.90	90
Tabela 15 - Atributos químicos do solo em função de diferentes sistemas de cultivo e profundidade.94	94
Tabela 16 – Atributos microbiológicos do solo, em função de diferentes sistemas de cultivo.97	97

Tabela 17 - Fracionamento de carbono em função do sistema de cultivo.	100
Tabela 18 – Estoque de nutrientes do solo (kg/ha) – Fósforo, Sulfato e Potássio.	103
Tabela 19 – Estoque de nutrientes do solo (kg/ha) – Cálcio, Magnésio e Carbono	104

SUMÁRIO

	PRÓLOGO	19
1	INTRODUÇÃO GERAL.....	20
1.1	Problemática e Objetivos da Pesquisa.....	23
1.2	Objetivo Geral.....	24
1.3	Objetivos Específicos	24
1.4	Contribuições	24
	CAPÍTULO 1 – AVALIAÇÃO DE ATRIBUTOS DO SOLO EM FUNÇÃO DO SISTEMA DE AMOSTRAGEM	26
1	INTRODUÇÃO	27
2	METODOLOGIA	32
2.1	Área de Estudo	32
2.2	Etapas de Trabalho	33
2.2.1	Trabalhos de campo.....	34
2.2.2	Trabalhos de laboratório.....	35
2.2.2.1	Análises físicas do solo	35
2.2.2.2	Análises do solo para fins de caracterização da fertilidade	36
2.2.2.3	Análises microbiológicas do solo.....	37
2.2.3	Análises dos dados	42
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
4	CONCLUSÃO	58
	REFERÊNCIAS.....	59
	CAPÍTULO 2 – DIAGNÓSTICO DA QUALIDADE DO SOLO EM FUNÇÃO DO MANEJO E USO: ÊNFASE NO ESTOQUE DE CARBONO E SEUS IMPACTOS	64
1	INTRODUÇÃO	66
2	METODOLOGIA	69

2.1	Área de Estudo	69
2.2	Etapas de trabalho	70
2.2.1	Reconhecimento prévio da área de estudo	71
2.2.2	Trabalhos de campo.....	71
2.2.3	Trabalhos de Laboratório	74
2.2.3.1	Análises físicas do solo	74
2.2.3.2	Análises do solo para fins de caracterização da fertilidade	76
2.2.2.3	Análises microbiológicas do solo.....	78
2.2.4	Análises dos dados	83
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	85
3.1	Atributos Físicos do Solo	85
3.2	Atributos Químicos do Solo	91
3.3	Atributos Microbiológicos do Solo	96
3.4	Carbono no Solo.....	99
3.5	Qualidade do Solo	101
4	CONCLUSÃO	111
	REFERÊNCIAS.....	112
2	CONSIDERAÇÕES FINAIS	118
	REFERÊNCIAS.....	119

PRÓLOGO

Graduada em Engenharia Ambiental e Sanitária pela Universidade do Oeste Paulista - UNOESTE (2016). Especialista em Gerenciamento Ambiental também pela Universidade do Oeste Paulista - UNOESTE (2018). No trabalho de conclusão de curso da graduação, desenvolvi a pesquisa sobre a caracterização pedológica e a susceptibilidade à erosão do solo de uma propriedade rural. Ingressei no mestrado em março de 2021, como bolsista da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES e tenho trabalhado com a análise das propriedades físicas, químicas e microbiológicas de solo com diferentes usos, sendo eles convencionais e conservacionistas, além do estudo das metodologias utilizadas para a coleta de solo e suas influências na obtenção dos resultados dos parâmetros do solo.

Dentro do PPGMADRE, me mantive na linha de pesquisa II: Planejamento Ambiental e Desenvolvimento Regional, envolvendo o projeto desenvolvido no programa “PROINTER Sustentabilidade e Segurança Alimentar”, além de relacionar com temas importantes, como o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável – ODS, da agenda 2030, objetivos 1 e 2, sendo eles a erradicação da pobreza e a fome zero, pois a melhoria do solo por meio do manejo adequado também influencia na produtividade de alimentos, e com maior foco nas ODS 12 e 13, consumo e produção responsáveis e combate às alterações climáticas, onde o manejo adequado, além de trazer a produção mais equilibrada, também auxilia no sequestro de carbono e conseqüentemente na diminuição do aquecimento global.

1 INTRODUÇÃO GERAL

“Solos arenosos” compreendem um grupo de solos com as classes texturais reconhecidas como de textura leve - areia, areia franca e franco-arenosa. De ocorrência significativa de sul ao norte do Brasil, sob expressiva variação de clima e, predominantemente desenvolvidos de rochas sedimentares como os arenitos ou sedimentos arenosos inconsolidados (Silva *et al.*, 2019).

Notadamente, devido à herança da composição granulométrica com predomínio da fração areia, apresenta limitada capacidade de interação e geração de cargas, formação de agregados estáveis, assim como, da limitada quantidade de outros minerais com potencial fonte e retenção de nutrientes.

Além disso, quando submetidos a sistemas de plantios intensos, como a exemplo do plantio convencional, onde utiliza-se grades pesadas, arados, escarificadores, subsoladores e grades niveladoras, que causam efeito nas características e atributos químicos e físicos do mesmo, pode-se ter como resultado camadas compactadas que prejudicam o desenvolvimento radicular, reduzem as taxas de infiltração de água, aeração e permeabilidade do solo, dificultando a produtividade (Fontana *et al.*, 2016).

Como forma de minimizar esses problemas encontrados para a produção, principalmente em solos arenosos, é necessário que exista uma sustentabilidade do cultivo, ou seja, um sistema conservacionista, em que aumente a eficiência do uso da água, diminua as erosões e salinização do solo, aumente a possibilidade da ciclagem de nutrientes, da adição de nitrogênio e do estoque de carbono armazenado no sistema, contribuindo assim para a melhoria da qualidade do solo, expresso em seus atributos biológicos, físicos e químicos (Giongo, 2015).

Assim como afirma o autor, as práticas de conservação do solo contribuem para o aumento da resistência do mesmo contra os processos erosivos e auxilia na menor dependência de insumos externos para o aumento da produção (Fortini; Braga; Freitas, 2020). Além dessa redução da perturbação no solo, a aplicação dessas práticas também mitiga as emissões de gases de efeito estufa e aumentam o sequestro de carbono por meio dos resíduos, ou seja, da matéria orgânica (Besen *et al.*, 2018).

Observa-se a importância da aplicação dessas práticas de cultivo sustentáveis quando, na sua ausência, os atributos físicos do solo, ou seja, a

resistência do solo à penetração, teor de umidade, densidade do solo, densidade de partícula, porosidade, areia, silte, argila, dentre outros, são modificados, como a exemplo do aumento da densidade, diminuição da macroporosidade e porosidade total, entre outros danos, desta forma, esses atributos servem como indicadores da qualidade física do solo (Soares *et al.*, 2020).

O mesmo ocorre com os atributos químicos do solo, como matéria orgânica, fósforo, cálcio, potássio, pH, magnésio, soma de bases, capacidade de troca de cations (CTC) e saturação por bases (Dalchiavon *et al.*, 2017), que quando aplicado o cultivo convencional, passam por alterações, subsidiando a adoção de práticas de manejo sustentáveis e a conservação dos ecossistemas (Oliveira; Bueno, 2015).

Esse manejo inadequado, sem a adoção de práticas sustentáveis, ou seja, conservacionistas, reduz as frações de matéria orgânica no solo (MOS), o que minimiza os estoques de carbono no mesmo, prejudicando também a sua qualidade, pois o carbono orgânico armazenado no solo ajuda a reduzir as emissões de gases de efeito estufa, como o dióxido de carbono, ao mesmo tempo em que contribui para a resiliência do solo contra eventos climáticos extremos, como secas e inundações. A MOS é um parâmetro de grande importância para a análise desta qualidade, pois contribui com a fertilidade, aumento da CTC, além de melhorar não só os atributos químicos, mas também os físicos e biológicos de modo a aumentar as taxas de produtividade (Batista, 2017).

Desta forma, a adoção de sistemas alternativos de cultivo como a integração lavoura-pecuária (ILP) e a integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) se apresentam como uma alternativa para a intensificação sustentável dessas áreas uma vez que proporcionam melhorias das características físicas e químicas do solo e se tornarem viáveis para a conservação da qualidade e a sustentabilidade do setor agropecuário (Sales *et al.*, 2018).

Na América do Sul, especialmente no Brasil, a formação sedimentar encontrada é dos arenitos do grupo Bauru, ou seja, são rochas sedimentares compostas por grãos de areia e outras partículas de tamanho variado, resultantes da compactação e cimentação de sedimentos ao longo do tempo. Também apresentam camadas estratificadas, onde diferentes texturas se alternam, refletindo variações nas condições de deposição ao longo do tempo (Sartori *et al.*, 2019).

Desta forma, a região oeste do estado de São Paulo é conhecida por suas vastas áreas de solos arenosos (Latosolos, Argissolos e Neossolos

Quartzarênicos), que na sua maioria estão ocupados com pastagens degradadas ou com o cultivo restrito de algumas culturas, como o amendoim e a cana-de-açúcar (esta última com médio-baixo potencial produtivo para a região). O estabelecimento de outras culturas como o milho, soja e mesmo pastagens de alta qualidade ainda são escassas devido, principalmente, às condições edafoclimáticas que associam os solos de baixa fertilidade natural e baixo estoque de matéria orgânica do solo (MOS) ao clima quente e a má distribuição das chuvas com constantes e prolongados veranicos.

O fato de os solos arenosos apresentarem baixa fertilidade natural não implica que eles não são produtivos e sim que para produzir em tais solos, sistemas de produção que visam o uso sustentável do solo, acúmulo de matéria orgânica, de nutrientes e melhores condições físicas do solo, devem ser adotados.

É importante ressaltar que os estudos em solos arenosos nem sempre são realizados de forma correta. Na maioria das vezes são utilizadas apenas análises laboratoriais de textura de amostras coletadas em superfície para classificar os solos como arenosos e ignora-se que os solos variam não apenas na horizontal e em superfície com o relevo, mas também na vertical em profundidade pela diferenciação dos seus horizontes. Além disso, podem estar na mesma classe e textura, mas apresentar, por exemplo, variações na relação entre areia grossa e areia fina (Donagemma *et al.*, 2016), o que pode determinar comportamentos diferentes como em relação a retenção de água.

Desta forma, parece claro que conhecer melhor as propriedades físicas, químicas e morfológicas dos solos e analisá-los em função dos sistemas de cultivo adotados é de suma importância para a compreensão do potencial de produção em solos arenosos e do uso de sistemas que permitam uma intensificação de uso sem acarretar degradação ao meio ambiente, ou seja, produzir sustentavelmente, e que possam ser replicados para outras áreas.

Assim, o objetivo deste trabalho é realizar a comparação entre métodos de amostragem de solo (trincheira vs. tradagem) e avaliar a relação entre a qualidade do solo e diferentes sistemas de uso em uma propriedade de Integração Lavoura-Pecuária (ILP) com Plantio Direto, visando melhorar as práticas de manejo de ILP em solos arenosos no oeste paulista.

Este trabalho está escrito na forma de capítulos, está dividido em Prólogo, uma apresentação pessoal, 1 Introdução Geral, com aspectos introdutórios do

trabalho, finalizando com os objetivos, Capítulo I, que trás a análise entre os sistemas de amostragem e os resultados obtidos de parâmetros do solo, Capítulo II, que aborda o diagnóstico de uso do solo, onde foram verificadas as características física, química e microbiológica dos solos e as suas relações com as diferentes formas de manejo, sendo eles conservacionistas ou convencionais, Considerações Finais e Referências.

1.1 Problemática e Objetivos da Pesquisa

Com o cenário de impactos e problemas ambientais, há a necessidade de um equilíbrio entre o meio ambiente e a produção agropecuária, ou seja, é preciso uma produção sustentável de alimentos e produtos necessários ao cotidiano da vida humana.

Para essa harmonização, é fundamental a aplicação de inovações na forma de produção, como a prática de métodos conservacionistas de manejo do solo, a exemplo da Integração Lavoura-Pecuária - ILP, abordada neste estudo.

Aliado a aplicação desses métodos, é indispensável o conhecimento e caracterização dos solos existentes na propriedade, pois como visto anteriormente, solos arenosos podem se tornar mais produtivos se manejados de forma adequada e conseqüentemente, gera benefícios ambientais como a não exploração de novas áreas e a mitigação de novas erosões.

Essa caracterização dos solos arenosos envolve análises químicas, físicas e microbiológicas de amostras de solo, podendo ser elas coletadas com auxílio do trado holandês ou por meio de trincheiras, sendo essa última, de maior movimentação de solo e exigente de grande energia.

Com isso, há necessidade de comparação entre os métodos de coleta de amostras, para recomendação da indispensabilidade de suas utilizações para os estudos de caracterização do solo e obtenção de resultados mais fiéis à realidade da área.

Além disso, a análise da caracterização de áreas com a aplicação de manejo conservacionista e convencional, além de uma área de vegetação natural secundária, fomenta a discussão da importância da aplicação destes métodos sustentáveis de produção, que agregam melhorias na qualidade e nas características do solo e, como resultado, melhoria na produtividade.

1.2 Objetivo Geral

Comparar os efeitos de amostragem de solo (trincheira vs. tradagem) nas propriedades físicas, químicas e microbiológicas. Avaliar a relação entre a qualidade do solo e diferentes sistemas de uso da terra em uma propriedade com 20 anos de Integração Lavoura-Pecuária (ILP) com Plantio Direto, bem como áreas adjacentes com pastagens, agricultura convencional e vegetação natural secundária. Isso visa fornecer insights para melhorar as práticas de manejo de ILP em solos arenosos no oeste paulista.

1.3 Objetivos Específicos

- A) Comparar a influência dos métodos de amostragem nos resultados de análise do solo;
- B) Avaliar e correlacionar a qualidade química, física e microbiológica dos solos sob diferentes manejos;
- D) Quantificar o estoque de carbono e de nutrientes em solos arenosos em função do sistema de uso;
- E) Analisar como o tamanho de partícula da fração areia e sua distribuição em profundidade se relaciona com outros atributos do solo.

1.4 Contribuições

As principais contribuições deste trabalho envolvem a comparação entre os métodos utilizados para a amostragem de solo, verificando a indispensabilidade da utilização de trincheira e tradagem para uma melhor avaliação das características do solo, já que a abertura de trincheiras exige um maior trabalho para sua execução em campo quando comparado com a tradagem. Desta forma, foi possível determinar se apenas com amostras coletadas com o trado podemos obter resultados significativos e necessários, quando comparado os resultados da mesma análise, com o método de amostragem diferente, para descrever a realidade do local.

Além disso, compreende os reflexos da adoção de sistemas conservacionistas, como a Integração Lavoura-Pecuária - ILP, para a melhoria das

características do solo e também da produtividade, aumentando as recomendações da implantação desses sistemas em solos arenosos e garantindo a sustentabilidade do setor agropecuário.

CAPÍTULO 1 – AVALIAÇÃO DE ATRIBUTOS DO SOLO EM FUNÇÃO DO SISTEMA DE AMOSTRAGEM

RESUMO

O solo é fundamental para a sociedade, fornecendo suporte para atividades humanas, vida vegetal e animal, além de ser vital para a produção de alimentos e matérias-primas. No entanto, sua conservação e manejo adequados são essenciais para garantir sua qualidade e produtividade. No Brasil, os solos arenosos são comuns, especialmente na região de Rancheira, São Paulo, onde predominam Argissolos e Latossolos. Esses solos apresentam desafios como baixa fertilidade e capacidade de retenção de água, impactando a agricultura. O estudo realizado na Fazenda Ybyeté Porã em Rancheira teve como objetivo avaliar a influência de dois métodos de amostragem de solo (tradagem e trincheira) nas análises físicas, químicas e microbiológicas, considerando diferentes usos do solo. Dividido em trabalhos de campo, laboratório e análise de dados, o estudo revelou que, embora os métodos de amostragem não tenham afetado significativamente a maioria das análises, houve diferenças estatísticas em algumas variáveis, especialmente quando comparadas por tipo de uso do solo. Os resultados destacaram a importância de considerar o tipo de uso do solo ao interpretar os dados das análises. Por exemplo, a área de vegetação natural secundária apresentou diferenças significativas, indicando que o manejo do solo pode influenciar suas características. Essas descobertas ressaltam a complexidade do solo e a necessidade de abordagens diferenciadas para cada contexto. A conclusão do estudo enfatizou que os métodos de amostragem de solo têm suas vantagens e desvantagens, e a escolha entre eles depende do objetivo do estudo. Enquanto a coleta por trincheira é recomendada para estudos detalhados do perfil do solo e amostras indeformadas, a tradagem é mais eficiente para coletas em grande escala. Essas considerações são cruciais para promover práticas sustentáveis de manejo do solo e garantir a segurança alimentar, produção e consumo responsáveis, e mitigação das mudanças climáticas.

Palavras-chave: Solos arenosos; Trado holandês; Trincheira.

ABSTRACT

Soil is fundamental to society, providing support for human activities, plant and animal life, as well as being vital for the production of food and raw materials. However, its adequate conservation and management are essential to guarantee its quality and productivity. In Brazil, sandy soils are common, especially in the Rancheira region, São Paulo, where Argisols and Oxisols predominate. These soils present challenges such as low fertility and water retention capacity, impacting agriculture. The study carried out at Ybyete Porã Farm in Rancheira aimed to evaluate the influence of two soil sampling methods (drill and trench) on physical, chemical and microbiological analyses, considering different soil uses. Divided into fieldwork, laboratory and data analysis, the study revealed that although sampling methods did not significantly affect most analyses, there were statistical differences in some variables, especially when compared by land use type. The results

highlighted the importance of considering the type of land use when interpreting analysis data. For example, the area of secondary natural vegetation showed significant differences, indicating that soil management can influence its characteristics. These findings highlight the complexity of soil and the need for different approaches for each context. The conclusion of the study emphasized that soil sampling methods have their advantages and disadvantages, and the choice between them depends on the objective of the study. While trench collection is recommended for detailed studies of the soil profile and undisturbed samples, trawling is more efficient for large-scale collections. These considerations are crucial to promoting sustainable land management practices and ensuring food security, responsible production and consumption, and climate change mitigation.

Keywords: Sandy soils; Dutch auger; Trench.

1 INTRODUÇÃO

Os solos são importantes para a sociedade, sendo a base para as atividades sociais, vida de animais e vegetais, além da produção de alimentos e matérias primas, sendo necessário mantê-lo com boa qualidade e produtividade (Fushimi; Nunes; Castoldi, 2017).

Para que o solo seja manejado e conservado de forma adequada, é necessário conhecer o tipo e granulometria do solo, assim como sua variação em profundidade e características das diversas camadas do perfil, no local em que será aplicada a agricultura.

No Brasil, os solos arenosos estão presentes em 100 milhões de hectares (Moro; Alves; Tiritan, 2019). Na região de Rancharia, interior do estado de São Paulo, segundo o Mapa Pedológico do Estado de São Paulo, predomina Argissolos e, em menor proporção, Latossolos (Oliveira *et al.* 1999).

Os Argissolos são formados por material mineral, possuindo o horizonte B textural de argila de atividade baixa ou alta se conjugada com saturação por bases baixa ou caráter alumínico. Esse tipo de solo possui profundidade variável, sendo fortemente a imperfeitamente drenados, com textura variando de arenosa a argilosa no horizonte A e de média a muito argilosa no horizonte B textural (Santos *et al.*, 2018).

Já os Latossolos são constituídos por material mineral, possuindo horizonte B latossólico, variando de fortemente a bem drenados, muito profundos, com quantidade de argila no horizonte A para o B pouco expressivo ou inexistente, além

de baixa saturação por bases e serem solos com avançado estágio de intemperização e muito evoluídos (Santos *et al.*, 2018).

Segundo Donagemma *et al.* (2016), os solos arenosos possuem textura leve e granulometria de classe textural areia, areia franca ou franco-arenosa, abrangendo entre 50% e 100% de areia, 0% e 20% de argila e 0% e 40% de silte, predominando a areia. Esses solos possuem principalmente características físicas favoráveis à agricultura e ao preparo mecânico, com desvantagem nas propriedades químicas.

Desta forma, o oeste paulista é caracterizado, em sua maior parte, por solos de textura arenosa e profundos, com características químicas como baixa fertilidade natural e acidez moderada a alta (Muller, 2017), além de características físicas desfavoráveis, como baixa capacidade de retenção de água e fragilidade estrutural (Moro; Alves; Tiritan, 2019).

Solos de baixa fertilidade em locais com distribuição irregular de chuvas e baixa retenção de água devido às quantidades de matéria orgânica e argila dificultam o cultivo de qualquer tipo de agricultura, sendo necessário intervir no solo para aumentar sua produtividade (Guerra, 2017).

Um dos fatores que influenciam na fertilidade do solo é a matéria orgânica do solo (MOS) que age como agente cimentante entre as partículas, formando aglomerados ou agregados no solo (Brady; Weil, 2008). A MOS é um condicionador biofísico do solo que melhora sua porosidade. Além disso, ela reduz a densidade aparente do solo por possuir baixa densidade em comparação com os minerais (Ronquim, 2020). A MOS também armazena água no solo devido a sua menor superfície específica, aumentando a capacidade de retenção de água no solo, importante para o desenvolvimento das culturas (Moro, Alves, Tiritan, 2019).

Os solos arenosos possuem baixos valores de argila e também de MOS, que são os principais colóides incumbidos pelas cargas negativas. Como não é possível aumentar os teores de argila do solo, é necessário adicionar matéria orgânica. No entanto, em locais de altas temperaturas e umidade, a matéria orgânica é mineralizada rapidamente e oxidada a nutrientes, e locais com baixa CTC não conseguem estocar, pois há muita quantidade disponibilizada em pouco período de tempo (Moro; Alves; Tiritan, 2019).

Segundo o mesmo autor, solos ricos em matéria orgânica possuem altos valores de capacidade de troca de cátions (CTC), permitindo avaliar a capacidade

do solo de trocar cargas de íons H^+ pela mesma quantidade de cargas de outro cátion, como Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ .

Desta forma, a capacidade de troca iônica do solo indica sua habilidade de liberar nutrientes, mantendo a fertilidade por mais tempo e minimizando efeitos tóxicos dos fertilizantes (Ronquim, 2020).

Assim, como os solos arenosos contém pouca quantidade de argila, a CTC, que é a capacidade do solo de agregar nutrientes, fica dependente da MOS, necessitando de manejo adequado para aumentar essa variável, mas de forma que esta seja absorvida por um maior período de tempo, ou seja, com temperatura e umidade controlada para que esta não seja mineralizada rapidamente e, assim, ser possível aumentar a CTC do solo e conseqüentemente, sua fertilidade.

Portanto, um solo fértil é o que possui quantidades suficientes e balanceadas de todos os nutrientes essenciais e de forma assimilável, sem possuir materiais tóxicos e dispor de propriedades físicas e químicas adequadas para o desenvolvimento vegetal (Ronquim, 2020).

Como forma de buscar o aumento dessa fertilidade é necessário a aplicação de técnicas de manejo apropriadas no solo, pois estas influenciam nos atributos físicos, químicos e biológicos, e conseqüentemente na produtividade a curto, médio e longo prazo.

O sistema convencional de manejo do solo para a agricultura, que envolve aração e gradagem, e a baixa diversidade de plantas utilizadas contribuem para a redução da qualidade do solo (Bonetti *et al.*, 2018). Práticas como pastagem, plantio e adubação modificam a estrutura do solo, principalmente nos horizontes superficiais, pois seu objetivo é elevar, girar e inverter o solo ao mesmo tempo em que adiciona os resíduos de culturas e os dejetos animais nessa camada arável, causando impactos no solo (Brady; Weil, 2008).

Devido às características do solo arenoso, práticas agrícolas de conservação do solo devem ser aplicadas nestas áreas para evitar problemas como perda de solo devido à erosão, altas temperaturas que afetam a atividade microbiana e a perda de água do solo, manter e melhorar a eficiência de nutrientes, a ciclagem de nutrientes, entrada de carbono no solo e o aumento da produtividade do mesmo (Carneiro *et al.*, 2020).

Segundo Guerra (2017), uma das técnicas de manejo do solo para aumento da produtividade é o Sistema de Plantio Direto (SPD), onde se mantém o solo

coberto com palha, além de realizar a rotação de culturas e o menor revolvimento do solo, resultando em menores alterações da temperatura, da perda de água por evaporação e os resíduos vegetais incorporados ao solo servirem como fonte de carbono para aumentar os teores de MOS.

Esse manejo orgânico do solo, em que utiliza a biomassa das sobras de culturas e do material obtido das decomposições de restos orgânicos, como cobertura morta, se torna benéfico ao solo, pois realiza a reciclagem de nutrientes, (Feba, 2018), além de preservarem a agregação do solo, melhorando a sua fertilidade (Deimling *et al.*, 2019).

De acordo com Balbino *et al.* (2011) *apud* Cordeiro *et al.* (2020), uma outra técnica de manejo conservacionista é o sistema de produção de forma integrada, que incluem quatro modalidades: (I) Integração Lavoura-Pecuária (ILP) - agricultura e pecuária são integradas em rotação ou consórcio; (II) Integração Pecuária-Floresta (IPF) - pecuária e floresta são integradas em consórcio; (III) Integração Lavoura-Floresta (ILF) - agricultura e floresta são integradas através de consorciação de espécies arbóreas com cultivos agrícolas; e (IV) Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) - agricultura, pecuária e floresta são integradas em rotação, consórcio ou sucessão na mesma área.

O sistema ILP é um tipo de manejo que auxilia na manutenção das qualidades e características do solo, melhorando sua fertilidade e conseqüentemente sua produção, mas não se tornando prejudicial ao solo.

Uma das formas de melhoria do solo com a ILP é pelo aproveitamento de água, uma vez que o solo se encontra com vegetação e essas plantas utilizam a água para a produção da biomassa e também devolvem parte dessa água para a atmosfera por meio da transpiração. Esse sistema de manejo mantém o solo com palhada, então a água também não é perdida por meio de escoamento e evaporação (Moro; Alves; Tiritan, 2019).

Segundo Centeno *et al.* (2017), os maiores valores de MOS são encontrados em locais onde o manejo é voltado para a proteção do solo, deixando evidente que o tipo do manejo adotado influencia no poder tampão e na resiliência dos solos arenosos, sendo necessário a utilização de técnicas de manejo que mantenham a cobertura do solo.

Assim, é necessário, além da manutenção ou aumento dos teores de MOS, um mínimo revolvimento do solo, a ausência de excessos no uso de insumos

externos e um aumento da diversidade dos sistemas de produção (Donagemma *et al.*, 2016), influenciando na sua fertilidade (Centeno *et al.*, 2017).

Logo, de acordo com Centeno *et al.* (2017), os solos arenosos são adequados para o cultivo, mas para isso necessitam da implantação de sistemas de produção que consistam em arranjos de espécies cultivadas, além da gestão adequada do uso do solo que considere a textura de cada tipo de solo e as suas necessidades e da própria cultura, sendo necessário um maior conhecimento de seus atributos, resultando em coletas de solo para análises laboratoriais.

Para que esses resultados demonstrem a realidade do solo local, é importante escolher corretamente o método de amostragem, como o trado holandês e a trincheira. O trado holandês geralmente é utilizado para coletas de amostras superficiais a uma profundidade de 1 metro ou menos. Esse método é relativamente rápido e fácil, sendo possível coletar um maior número de amostras em um curto período de tempo (Porto, 2018).

A coleta de amostras por meio de trincheiras consiste em realizar uma abertura no solo para exposição e coleta de amostras de solo em profundidades maiores. Além disso, permite a observação das diferentes camadas do solo ao longo de sua profundidade, permitindo uma análise mais detalhada da estratigrafia do solo. Com isso, torna-se um método mais demorado e trabalhoso, especialmente para amostragem em áreas maiores (Altarugio, Guerini e Mello, 2017).

Ambos os métodos possuem vantagens e limitações, sendo a escolha do método de amostragem dependente da profundidade desejada, do propósito da coleta e da disponibilidade de recursos e tempo para a realização da coleta de amostras de solo, sendo assim, nem sempre possuem uma metodologia fácil e que causa dúvidas se a escolha de certo método interfere nos resultados (Pereira *et al.*, 2020).

Desta forma, o presente estudo teve como objetivo avaliar a influência de dois métodos de amostragem de solo (tradagem e trincheira) nos resultados das análises físicas, químicas e microbiológicas do solo.

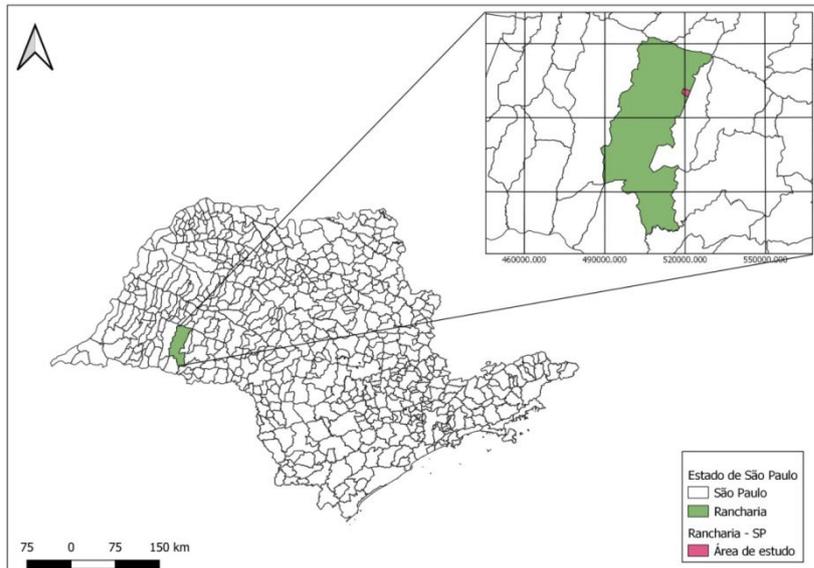
2 METODOLOGIA

2.1 Área de Estudo

A área de estudo concentra-se na Fazenda Ybyete Porã situada no Município de Rancharia a 70 km de Presidente Prudente, região Oeste do Estado de São Paulo (Figura 1), localizada a 22°09'13" S de latitude, 50°48'59" W de longitude e 514 m de altitude média. Segundo a classificação de Köppen, o clima predominante na região é do tipo Cwa, caracterizado como mesotérmico com verão chuvoso e inverno seco.

Predominam na área solos arenosos com argila variando de 50 a 95 g.kg⁻¹ nas camadas de 0 a 20 cm, de 60 a 170 g.kg⁻¹ nas camadas de 20 a 40 cm, e 70 a 195 g.kg⁻¹ nas camadas de 40 a 60 cm, derivados dos arenitos do Grupo Bauru, formação Vale do Rio do Peixe (Fernandes; Coimbra, 2000).

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



Fonte: A autora (2021).

A fazenda é atualmente subdividida em talhões de aproximadamente 70 hectares cada e desta forma foram selecionados para esse estudo três talhões, sendo um com uso atual com culturas, um com pastagem e outro com cultura possuindo um sistema de irrigação por pivô. Na fazenda, há aproximadamente 20

anos estão sendo manejados no sistema de Integração Lavoura-Pecuária com Plantio Direto.

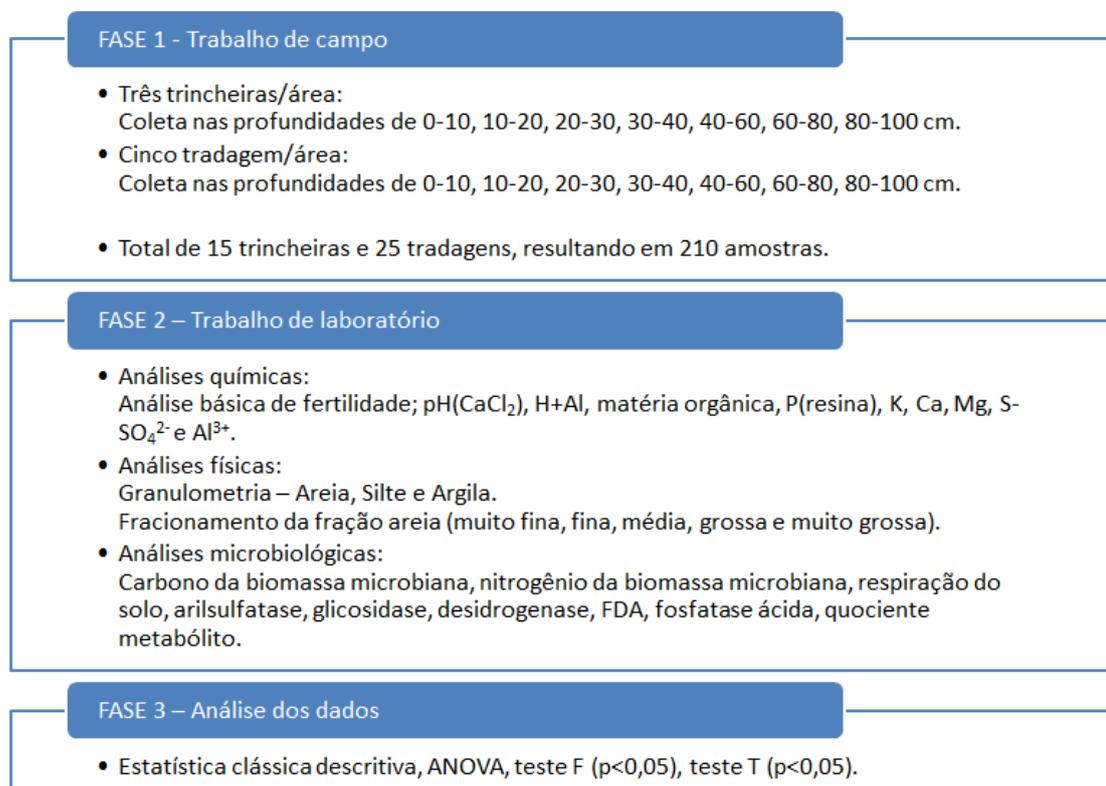
Além dessas áreas foram avaliadas duas outras áreas da fazenda, sendo uma ocupada com pastagem tradicional e uma área vizinha à fazenda, com área de vegetação natural secundária.

Assim, o estudo de caso é composto de cinco áreas com características de solo e clima semelhantes, tendo o sistema de cultivo como a principal diferença entre elas.

2.2 Etapas de Trabalho

Para uma melhor compreensão da proposta apresentada no presente projeto, os procedimentos metodológicos foram subdivididos em três fases (Figura 2): 1) trabalhos de campo; 2) trabalhos de laboratório; e 3) análises dos dados.

Figura 2 – Resumo esquemático das fases de trabalho.



Fonte: A autora (2021).

2.2.1 Trabalhos de campo

Foram abertas 03 trincheiras por área de estudo, sendo duas nas dimensões de 1x1x1,0 metros e uma de 1x1x2,0 metros (extensão, largura e profundidade) para coletas de amostras deformadas (Figura 3) nas profundidades de 0,0-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,30, 0,30-0,40, 0,40-0,60, 0,60-0,80 e 0,80-1,0 metro, seguindo metodologia descrita em Zanatta, Pulrolnik e Viana (2015).

Figura 3 – Coleta das amostras deformadas de solo em perfil, na Fazenda Ybyeté Porã, em abril de 2022.



Fonte: A autora (2022).

Para as coletas dos pontos por tradagem foram definidos 5 locais nas profundidades de 0-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30; 0,30-0,40, 0,40-0,60 0,60-0,80 e 0,80-1,0 metro.

Figura 4 – Coleta das amostras de solo por tradagem, na Fazenda Ybyeté Porã, em abril de 2022.



Fonte: A autora (2022).

2.2.2 Trabalhos de laboratório

2.2.2.1 Análises físicas do solo

As análises granulométricas foram realizadas para todas as amostras coletadas (Trincheiras e Tradagens – total de 324 amostras). Foi utilizado o método da pipeta (Figura 5) para quantificação do silte e da argila, com agitação lenta da TFSA por 16 h e 50 rpm em agitador tipo Wagner, a fração areia foi separada das frações finas (silte e argila) por peneira de 0,053mm, e a fração areia foi fracionada: areia muito grossa (AMG): 2 - 1,00 mm; areia grossa (AG): 1,00- 0,50 mm; areia média (AM): 0,50 - 0,210 mm; areia fina (AF): 0,210 - 0,125 mm e areia muito fina (AMF): 0,125 - 0,053 mm (Figura 6). O silte foi separado da fração argila por sedimentação, com a medição da temperatura da suspensão e respeitado o tempo de sedimentação do silte para a respectiva temperatura (Teixeira *et al.*, 2017).

Figura 5 – Análise física do solo, separação de silte e argila, realizada no laboratório de solos da UNOESTE, abril a setembro de 2022.



Fonte: A autora (2022).

Figura 6 – Separação granulométrica das frações da areia, realizada no laboratório de solos da UNOESTE, abril a setembro de 2022.



Fonte: A autora (2022).

2.2.2.2 Análises do solo para fins de caracterização da fertilidade

Todas as amostras deformadas coletadas foram encaminhadas para análise de fertilidade pH (CaCl_2), H + Al, Matéria Orgânica, P(resina), K, Ca, Mg, S-SO₄²⁻, e

Al³⁺). As análises de fertilidade do solo foram realizadas de acordo com os padrões do Estado de São Paulo (Rajj, 2001).

2.2.2.3 Análises microbiológicas do solo

Os parâmetros microbiológicos foram analisados para as amostras coletadas na camada de 0-10 cm via tradagens, e correspondem a respiração basal do solo, análise de carbono e nitrogênio da biomassa microbiana, quociente metabólico (q_{CO_2}), atividade enzimática da desidrogenase, atividade da fosfatase, β -glucosidase, atividade da arilsulfatase e FDA.

Análise de respiração do solo

A respiração do solo foi avaliada segundo Alef e Nanipieri (1995), sendo utilizadas amostras de 50g de solo homogeneizadas e mantidas dentro de frascos herméticos. Sobre a superfície do solo, em cada frasco foi colocado um becker de 50 ml, contendo 40 ml de solução de NaOH 0,5 mol l⁻¹. Os frascos foram incubados pelo período de 24 horas. Para avaliar a retenção de CO₂ na solução, utilizou o método condutimétrico (Rodella; Saboya, 1999) com leitura de condutividade na solução de NaOH após 24 horas, empregando-se um condutivímetro HI99301 (Hanna instruments). A quantidade de CO₂ produzida pela respiração foi calculada utilizando-se fórmula definida por Rodella e Saboya (1999) e os resultados, expressos em mg de C-CO₂ g⁻¹ h⁻¹.

Análise do carbono e nitrogênio da biomassa microbiana

A análise de biomassa microbiana do solo - BMS foi realizada em duplicata, utilizando a metodologia descrita por Ferreira, Camargo e Vidor (1999), onde o solo foi seco em estufa com ventilação a 30° C por 24 horas, e depois peneirado em malha de 2,0 mm. Na etapa seguinte, duas amostras de 50 g de cada tratamento serão pesadas em erlenmeyer de 250 ml e reumedecidas com 3 ml de água destilada para atingir aproximadamente 25% da capacidade de campo de um solo arenoso (Reichardt, 1988), agitadas para uniformizar a distribuição da umidade e

colocada 1 amostra de cada tratamento para irradiar no micro-ondas por um tempo que foi determinado pela eq. (1):

$$T = \frac{(r*mt)}{Po} \quad (1)$$

Onde, T = refere-se ao tempo real de exposição das amostras ao micro-ondas; R = 800J g⁻¹ de solo, quantidade de energia necessária para exposição; m_t = a massa total das amostras a serem irradiadas em gramas; e Po = potência real do aparelho em W.

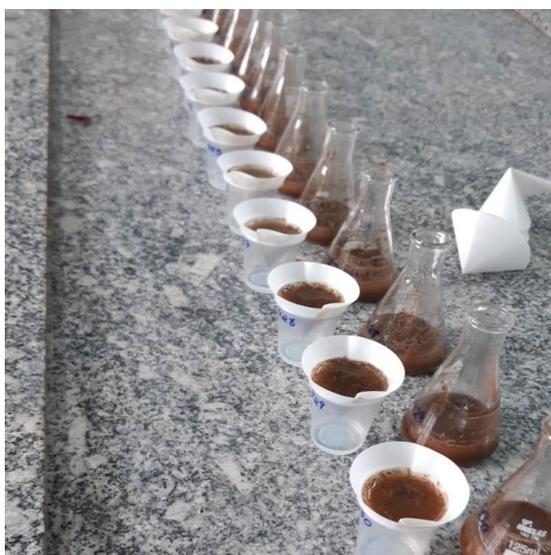
A potência real do aparelho foi calculada pela eq. (2):

$$Po = \frac{(Cp*K*\Delta t*M)}{T} \quad (2)$$

Onde, Po refere-se à potência real do aparelho em W; Cp = 1 J ml⁻¹ °K⁻¹, capacidade da água de receber calor; K = 4,184, fator de correção de cal m⁻¹ ° K⁻¹ para watts (J s⁻¹); Δt = variação de temperatura em °C de 1 l de água em 2 minutos de exposição; M = 1000 g, massa da água em gramas; e t = 120 s, tempo de exposição da água ao micro-ondas.

As amostras irradiadas e não irradiadas foram submetidas à extração com 50 ml de sulfato de potássio - K₂SO₄ (0,5 mol L⁻¹) por 30 minutos, em agitador rotatório circular, deixadas decantar e filtradas em papel tipo faixa azul de filtração lenta (Figura 7).

Figura 7 – Filtração das amostras para análise de carbono e nitrogênio da biomassa microbiana, realizada no laboratório de microbiologia do solo da UNOESTE, entre abril e maio de 2022.



Fonte: A autora (2022).

A determinação do carbono nos extratos irradiados e não irradiados foi realizada utilizando 10 ml do extrato, oriundo dos 50 ml após filtração, e adicionando em seguida 2 ml de $K_2Cr_2O_7$ ($0,066 \text{ mol l}^{-1}$), 10 ml de H_2SO_4 concentrado e 5 ml de H_3PO_4 concentrado. Após o resfriamento, adicionou-se 50 ml de água destilada. A titulação ocorreu com a utilização do sulfato ferroso amoniacal ($0,04 \text{ mol l}^{-1}$) com fenilalanina como indicador (Figura 8).

Figura 8 – Amostras após a adição do indicador, para determinação de carbono da biomassa microbiana, realizada no laboratório de microbiologia do solo da UNOESTE, entre abril e maio de 2022.



Fonte: A autora (2022).

O C extraído do solo foi calculado pela eq. (3):

$$C(\text{mgKg}^{-1}) = \frac{((V_b - V_a) * N * 1000 * V_{\text{extrator}})}{(volumedoextrato * MSS)} \quad (3)$$

Onde, C refere-se ao carbono extraído do solo; V_b é o volume (ml) do $(NH_4)_2Fe(SO_4)_2$ gasto na titulação do branco; V_a é o volume (ml) do $(NH_4)_2Fe(SO_4)_2$ gasto na titulação da amostra; N é a normalidade exata do $(NH_4)_2Fe(SO_4)_2$, $N = 0,677$; V_{extrator} é o volume de K_2SO_4 utilizado na extração = 50 ml; V_{extrato} é o Volume de K_2SO_4 utilizado para análise = 10 ml; e MSS é a massa do solo seco em gramas = 50 g.

O C_{mic} foi calculado pela eq. (4):

$$C_{mic}(\text{mgKg}^{-1}) = \frac{(C_I - C_{NI})}{K_{ec}} \quad (4)$$

Onde, C_i refere-se ao carbono extraído do solo irradiado; C_{NI} ao carbono extraído do solo não irradiado; K_{ec} é a proporção total do carbono microbiano extraído após irradiação = 0,21 (Frighetto, 2000).

O fator de correção K_{ec} citados na literatura é variável (0,21 a 0,45), não havendo um consenso a respeito do valor que foi utilizado. Neste trabalho, adotou-se o valor de 0,21 (Frighetto, 2000).

O nitrogênio da biomassa microbiana (N_{mic}) foi determinado de acordo com a metodologia descrita por Joergensen e Brookes (1990). Para proceder esta análise, utilizou-se o mesmo extrato do C_{mic} , a partir de 0,6 ml do extrato adicionado a um tubo de ensaio. Junto ao extrato foi adicionado 1,4 ml de ácido cítrico ($0,2 \text{ mol L}^{-1}$) a pH 5,0 e 1 ml do reagente ninidrina. Os tubos foram incubados á $100 \text{ }^\circ\text{C}$, em banho-maria, por 25 minutos. Após esfriamento, adicionou-se 4 ml da mistura etanol: água (1:1), para posterior leitura no espectrofotômetro a 570 nm.

Quociente metabólico ($q\text{CO}_2$)

O quociente metabólico é a razão entre o C- CO_2 liberado pela respiração do solo pelo C na biomassa microbiana, expresso em $\text{mg C-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ BMS} - \text{C h}^{-1}$ (Anderson; Domsch, 1993).

Atividade da enzima desidrogenase

A atividade da enzima desidrogenase, estimada segundo Van Os e Ginkel (2001), foi realizada em triplicatas, a partir de 5 g de solo de cada amostra acondicionadas em tubos de ensaio. Posteriormente, foram adicionados 2 ml da solução T.T.C a 1%, juntamente com 1 ml de glicose a 0,1%. Na amostra “branco” foi adicionada 1 ml de glicose a 0,1% e 2 ml da solução tampão tris a 0,1 M (pH = 7,6). As amostras foram misturadas em agitador tipo VORTEX e incubadas em tubo de ensaio a $30 \text{ }^\circ\text{C}$ por 18 h. Após a incubação, foram adicionados 9 ml de metanol em todas as amostras, e logo em seguida filtradas para a realização da leitura no espectrofotômetro em 530 nm. Os resultados foram ajustados em curva padrão e expressos na forma de concentração de TTF - formazan (ug.g^{-1}).

Atividade das enzimas fosfatases ácidas e alcalinas

A determinação da atividade das fosfatases ácida e alcalina foi efetuada de acordo com o método preconizado por Alef e Nannipieri (1995). O método fundamenta-se na análise da concentração de p-nitrofenol resultante da hidrólise enzimática de p-nitrofenil fosfato. Em 0,15 g de solo foram adicionados tampão pH 6,5 para análise da fosfatase ácida e tampão pH 11,0 para análise da fosfatase. Para ambas as enzimas, foram adicionados 0,12 ml de p-nitrofenil fosfato 0,05 M com vigorosa homogeneização e posterior incubação durante 1 hora a 37°C. Posteriormente, em cada amostra foram adicionados 0,5 ml da solução de reagentes para colorimetria e foram centrifugadas a 8.000 g por 5 minutos e as leituras foram realizadas em espectrofotômetro a 400 nm. A concentração de p-nitrofenol presente em cada amostra foi determinada com base na curva padrão (0;2;5;7,5;10 g de p-nitrofenol/ml).

Análise da β -glucosidase

A atividade de β -glucosidase foi descrita segundo a metodologia proposta por Tabatabai (1994). Em erlenmeyers foram misturados, por agitação, 1 g de solo, 4 ml do tampão MUB pH 6 e 1 ml da solução PNG. Os tubos foram tampados e colocados em banho-maria a 37° C por 1 hora. Depois, foram adicionados 1 ml de CaCl_2 0,5 M e 4 ml de THAM 0,1M pH 12, seguido de agitação. O meio foi filtrado em papel filtro com auxílio de um funil de vidro, e a quantidade p-Nitrofenol (pNP) presente no filtrado determinada a intensidade da cor amarela no espectrofotômetro a 420 nm.

Análise da arilsulfatase

A atividade da arilsulfatase foi determinada segundo a metodologia proposta por Tabatabai e Bremner (1970). Em Erlenmeyer de 50 ml foram adicionados 1 g de solo, 4 ml de tampão acetato de sódio pH 5,8 e 1 ml de solução de PNS 50 mM preparada no tampão. Os frascos foram fechados, agitados manualmente e incubados na incubadora por 1 h a 37°C. Após este período, foram imediatamente adicionados 1 ml de CaCl_2 0,5 M e 4 ml de NaOH 0,5 M seguido de agitação. O meio

reacional foi filtrado em papel de filtro qualitativo e a quantidade de p-nitrofenol presente no filtrado, determinada colorimetricamente a 410 nm, após o preparo da curva padrão de p-nitrofenol.

Método de hidrólise do diacetato de fluoresceína – FDA

A atividade hidrolítica do FDA foi estimada segundo Swisher e Carroll (1980). Amostras de 5 g de solo foram transferidas para erlenmeyer (125 ml) juntamente com 20 ml de tampão fosfato de potássio pH 7,6 e 0,2 ml de solução estoque de FDA (2 mg mL^{-1} acetona). A reação é interrompida pela adição de 20 ml de acetona após incubação a 25°C por 20 minutos sob agitação (150 rpm). As suspensões de solo foram filtradas e a leitura realizada em espectrofotômetro a 490 nm (Figura 9).

Figura 9 – Filtração das amostras para análise de FDA, realizada no laboratório de microbiologia do solo da UNOESTE, entre abril e maio de 2022.



Fonte: A autora (2022).

2.2.3 Análises dos dados

Para cada atributo foi realizada descritiva auxiliada pela estatística clássica (média, desvio padrão e coeficiente de variação).

Os efeitos gerais do sistema de amostragem do solo, sendo elas a trincheira e a gradagem, nas propriedades químicas, físicas e microbiológicas do solo foram submetidos à análise de variância (ANOVA), considerando significativo os sistemas de amostragem e profundidade, e suas interações à $p < 0,05$ pelo teste de F.

Os efeitos de cada um dos métodos de amostragem de solo foram desdobrados, assim como da profundidade pelo teste t a $p < 0,05$. Sendo assim, as

médias de cada uma das variáveis foram agrupadas considerando os efeitos dos níveis do sistema de coleta das amostras dentro de cada profundidade e em um segundo momento, relacionou esses resultados de profundidade e amostragem de solo com os tipos de uso do mesmo.

Igualmente, as médias foram comparadas em cada nível do fator profundidade para cada tipo de amostragem e depois separadamente por tipo de uso do solo. Todos os procedimentos estatísticos foram realizados com auxílio do software R.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por meio dos resultados obtidos das análises similares tanto para a coleta com a trincheira, quanto para a coleta com o trado holandês, foi possível realizar a análise do comportamento desses dados por meio da comparação entre os dados resultantes das análises laboratoriais.

Pode-se verificar na tabela 1 que, em relação às características físicas do solo, o coeficiente de variação manteve valores abaixo de 35%, demonstrando dados mais homogêneos, sendo afirmado no teste de médias, onde os dados não possuem uma diferença estatística, na maior parte dos resultados.

Tabela 1 - Atributos físicos do solo em função de diferentes métodos de coleta.

Amostragem	Areia Total	Silte	Argila	Amostragem	Areia Total	Silte	Argila
	(g/kg)				(g/kg)		
0-10 cm				40-60 cm			
Trincheira	814,23	97,36	89,46	Trincheira	737,00	125,65	137,33
Trado H.	813,15	102,42	83,34	Trado H.	735,84	139,13	125,02
F	0,01ns	0,37ns	1,66ns	F	0,01ns	2,47ns	2,55ns
C.V. (%)	3,46	25,49	17,1	C.V. (%)	5,62	19,7	18,34
D.P.	34,7	29,7	19,7	D.P.	48,3	27,8	29,9
10-20 cm				60-80 cm			
Trincheira	820,77	84,62b	94,60	Trincheira	684,49	141,70	173,81a
Trado H.	809,51	100,69a	89,78	Trado H.	688,64	152,64	158,71b
F	2,38ns	6,68*	0,87ns	F	0,05ns	0,46ns	4,35*
C.V. (%)	2,76	20,23	17,12	C.V. (%)	7,81	33,24	13,58
D.P.	38,5	23,1	25,8	D.P.	65,8	53,4	27,9

Amostragem	Areia Total	Silte	Argila	Amostragem	Areia Total	Silte	Argila
	(g/kg)				(g/kg)		
20-30 cm				80-100 cm			
Trincheira	806,88a	98,58b	94,53	Trincheira	691,72	131,94	176,33a
Trado H.	779,86b	117,04a	103,09	Trado H.	694,57	144,94	160,49b
F	11,05**	8,17**	1,79ns	F	0,09ns	1,92ns	11,79**
C.V. (%)	3,17	18,06	19,71	C.V. (%)	4,21	20,66	8,56
D.P.	45,9	26,7	29,2	D.P.	36,8	29,3	22,2
30-40 cm							
Trincheira	789,47a	108,79	101,73				
Trado H.	766,88b	121,94	11,17				
F	5,97*	3,04ns	3,17ns				
C.V. (%)	3,68	19,91	15,18				
D.P.	46,5	27,1	28,8				

Fonte: A autora (2023)

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., Trado H. – Trado Holandês.

Também foi realizado a comparação dos mesmos, separando-os por área, ou seja, por tipo de uso do solo, nas duas profundidades que melhor podem expressar resultados diversos em relação aos elementos analisados, para verificação deste comportamento em relação ao manejo realizado (Tabela 2).

Tabela 2 - Atributos físicos do solo em função de diferentes métodos de coleta, separado por área.

Tratamento	Trincheira	Trado H.	F	C.V. (%)	D.P.	Tratamento	Trincheira	Trado H.	F	C.V. (%)	D.P.
Areia total, profundidade 0-10 cm						Silte, profundidade 80-100					
Pasto	777	796	0,88ns	2,75	21,67	Pasto	121	146	0,31ns	32,3	44,21
Pasto ILP	832	826	0,07ns	2,72	22,53	Pasto ILP	126	152	0,90ns	26,47	37,73
Cultura ILP	798	832	0,87ns	4,68	38,3	Cultura ILP	140	141	0,01ns	8,7	12,26
Pivô ILP	856	831	1,08ns	3,96	33,32	Pivô ILP	130	127	0,02ns	21,24	27,25
A.V.N.S.	803	777	5,03ns	2,42	19,04	A.V.N.S.	142b	163a	86,36*	4,42	11,52
Areia total, profundidade 80-100						Argila, profundidade 0-10					
Pasto	703	686	0,13ns	6,39	44,22	Pasto	84,3	77,8	1,40ns	9,02	7,23
Pasto ILP	694	693	3,2E ⁻⁴ ns	5,14	35,65	Pasto ILP	75,2	76	0,01ns	22,03	16,67

Tratamento	Trincheira	Trado H.	F	C.V. (%)	D.P.	Tratamento	Trincheira	Trado H.	F	C.V. (%)	D.P.
Areia total, profundidade 80-100 cm						Argila, profundidade 0-10					
Cultura ILP	695	707	0,75ns	2,3	16,16	Cultura ILP	83,5	79,6	0,28ns	9,16	7,43
Pivô ILP	717	727	0,23ns	3,4	24,62	Pivô ILP	86,2	75,3	0,29ns	31,2	24,76
A.V.N.S.	650	651	0,02ns	1,87	12,2	A.V.N.S.	118,2	110,1	1,45ns	9,57	10,83
Silte, profundidade 0-10						Argila, profundidade 80-100					
Pasto	139	126,5	0,52ns	14,29	18,74	Pasto	176	168	0,75ns	8,47	14,47
Pasto ILP	92,9	97,5	0,07ns	19,88	19,04	Pasto ILP	181	154	6,43ns	11,94	11,94
Cultura ILP	118,4	88,7	0,80ns	34,93	34,86	Cultura ILP	165	152	1,88ns	8,67	8,67
Pivô ILP	57,5	93,6	5,89ns	35,56	28,46	Pivô ILP	208a	146b	27,59*	21,24	21,24
A.V.N.S.	79,1b	112,8a	9,87**	23,64	23,68	A.V.N.S.	118b	186a	87,61**	22,82	22,82

Fonte: A autora (2023)

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 na coluna, não diferem pelo teste de Tukey. Coeficiente de variação - C.V., Desvio Padrão - D.P., Trado H. – Trado Holandês, Área de Vegetação Natural Secundária - A.V.N.S.

De acordo com esta análise, a área de vegetação natural secundária possui diferença estatística em seus resultados, quando coletados com trado e com trincheira, podendo estar relacionado ao seu uso.

Tabela 3 - Atributos químicos do solo em função de diferentes métodos de coleta de solo.

Análises	Trincheira	Trado H.	F	C.V. (%)	D.P.	Análises	Trincheira	Trado H.	F	C.V. (%)	D.P.
0-10 cm						40-60 cm					
pH	5,24	4,90	2,49ns	13,15	0,8	pH	4,17	4,15	0,03ns	8,69	0,4
M.O.	19,32a	16,23b	15,55**	13,91	3,3	M.O.	12,42b	13,14a	8,91**	5,77	0,8
P	35,06	22,86	2,87ns	81,16	22,6	P	6,52	5,73	0,47ns	58,71	3,7
S-SO ₄ ²⁻	6,48	6,37	0,01ns	54,97	3,7	S-SO ₄ ²⁻	6,16	9,45	0,78ns	138,63	12,1
Al ³⁺	0,88	2,07	4,10ns	110,98	2,2	Al ³⁺	6,40	4,73	2,51ns	60,53	3,3
H+Al	18,55	20,22	0,45ns	39,1	8,8	H+Al	27,44	27,62	0,00ns	31,99	8,7
K	2,80a	2,16b	7,84**	29,63	0,9	K	2,22	1,72	3,50ns	42,99	0,9
Ca	25,10	15,25	3,10ns	91,54	17,4	Ca	5,33	5,98	0,56ns	47,06	2,8
Mg	8,02a	5,56b	8,84**	39,55	3,3	Mg	2,38	2,76	0,46ns	66,55	1,8

Análises	Trincheira	Trado H.	F	C.V. (%)	D.P.	Análises	Trincheira	Trado H.	F	C.V. (%)	D.P.
0-10 cm						40-60 cm					
SB	35,92a	22,98b	4,43*	68,4	19,4	SB	9,93	10,47	0,12ns	45,94	4,7
CTC	54,47a	43,19b	6,46*	28,92	15,5	CTC	37,36	38,07	0,10ns	18,11	7,1
m	4,24b	14,35a	6,44*	115,25	16,2	m	39,54	32,80	0,93ns	61,04	21,6
V	62,62	51,04	3,34ns	35,94	22,2	V	27,88	28,14	0,00ns	47,41	12,8
10-20 cm						60-80 cm					
pH	4,72	4,72	0,00ns	13,67	0,7	pH	4,09	3,96	3,95ns	5,09	0,2
M.O.	14,10	14,82	3,62ns	7,97	1,3	M.O.	11,77b	12,64a	25,66**	4,29	0,7
P	14,22b	20,92a	8,74**	37,8	12,2	P	5,18a	3,51b	16,97**	30,21	1,5
S-SO ₄ ²⁻	5,26	4,87	0,18ns	56,42	2,7	S-SO ₄ ²⁻	8,10	11,56	1,49ns	84,84	11,8
Al ³⁺	2,27	2,51	0,08ns	104,03	2,7	Al ³⁺	8,08	5,81	3,91ns	53,29	3,8
H+Al	21,88	21,31	0,04ns	39,37	9,1	H+Al	31,82	32,32	0,03ns	27,15	8,5
K	2,10	1,95	0,45ns	32,62	0,8	K	2,12a	1,52b	5,40*	45,49	0,8
Ca	9,38	10,79	0,49ns	60,12	7,2	Ca	5,54	5,22	0,17ns	43,13	2,5
Mg	3,05	4,28	2,94ns	57,77	2,7	Mg	2,74	2,30	0,83ns	61,21	1,6
SB	14,54	17,01	0,85ns	51,47	9,8	SB	10,42	9,06	1,27ns	38,82	4,1
CTC	36,40	38,32	1,08ns	15,06	6,7	CTC	42,24	41,38	0,13ns	17,79	7,2
m	16,22	18,97	0,20ns	104,9	20,5	m	44,17	38,18	0,96ns	46,6	20,3
V	41,18	43,05	0,10ns	43,25	20,3	V	25,70	22,22	1,18ns	41,94	10,5
20-30 cm						80-100 cm					
pH	4,42	4,48	0,09ns	13,7	0,6	pH	4,04	3,95	2,42ns	4,61	0,12
M.O.	13,08b	13,85a	6,36*	6,94	1	M.O.	11,41b	12,18a	34,69**	3,41	0,6
P	17,36	14,26	1,29ns	54,66	14,5	P	5,14a	3,19b	34,92**	26,11	1,5
S-SO ₄ ²⁻	4,82	5,46	0,54ns	43,88	2,3	S-SO ₄ ²⁻	9,77	10,90	0,91ns	34,98	7,6
Al ³⁺	3,52	3,08	0,19ns	94,93	3,1	Al ³⁺	7,23	5,79	2,01ns	49,54	3,5
H+Al	23,14	26,19	0,46ns	55,49	13,7	H+Al	30,95	30,03	0,13ns	25,73	7,9
K	2,08	1,77	1,98ns	35,86	0,7	K	1,98a	1,30b	12,54**	37,68	0,7
Ca	6,33	8,95	2,26ns	67,4	6,4	Ca	5,84	5,50	0,12ns	52,76	3,1
Mg	2,45	3,73	2,40ns	78,25	3	Mg	2,24	2,15	0,12ns	34,36	1
SB	10,86	14,46	2,00ns	59,65	9,1	SB	10,05	8,95	1,00ns	36,19	3,8
CTC	34,00	40,64	2,82ns	31,89	12,2	CTC	41,00	38,96	1,13ns	14,88	6,2
m	25,51	24,07	0,04ns	89,67	22,4	m	42,43	38,67	0,38ns	46,89	21,1
V	33,56	36,08	0,18ns	51,81	19,4	V	25,79	23,43	0,51ns	42,02	10,7
30-40 cm											
pH	4,37	4,38	0,00ns	12,69	0,5						
M.O.	13,21	13,75	0,84ns	13,3	1,8						
P	11,26	11,21	0,00ns	65,05	9,6						

Análises	Trincheira	Trado H.	F	C.V. (%)	D.P.
0-10 cm					
S-SO ₄ ²⁻	4,36	5,94	3,28ns	50,02	3,3
Al ³⁺	3,60	4,06	0,18ns	83,55	3,1
H+Al	24,00	25,56	0,26ns	37,99	9,5
K	2,13	1,70	3,44ns	38,75	0,8
Ca	5,63	7,59	2,67ns	53,7	4,3
Mg	2,14	3,20	3,27ns	63,83	2
SB	9,91	12,48	1,89ns	49,95	6,3
CTC	33,91b	38,05a	4,37*	16,74	6,9
m	27,74	28,53	0,01ns	80,61	22,3
V	31,12	33,46	0,18ns	51,67	16,9

Fonte: A autora (2023)

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. pH (CaCl₂); Matéria Orgânica - M.O. (g/dm³); Fósforo - P (mg/dm³); Sulfato - S-SO₄²⁻ (mg/dm³); Alumínio - Al³⁺ (mmolc/dm³); Acidez Potencial - H+Al (mmolc/dm³); Potássio - K (mmolc/dm³); Cálcio - Ca (mmolc/dm³); Magnésio - Mg (mmolc/dm³); Soma de Bases - SB (mmolc/dm³); Capacidade de Troca de Cátions - CTC (mmolc/dm³); Saturação por alumínio - m (%); Saturação por bases - V (%), Coeficiente de variação - C.V., Desvio Padrão - D.P., Trado H. – Trado Holandês.

Estes resultados, quando comparados em relação à forma de uso do solo (Tabela 4), possuem diferença estatística, principalmente nos dados da área de vegetação natural secundária e de pasto.

Tabela 4 - Atributos químicos do solo em função de diferentes métodos de coleta de solo, separados por área.

Tratamento	Trincheira	Trado H.	F	C.V. (%)	D.P.	Tratamento	Trincheira	Trado H.	F	C.V. (%)	D.P.
pH, profundidade 0-10 cm						P, profundidade 0-10 cm					
Pasto	6,03a	3,92b	1778,56**	23,3	1,1	Pasto	68,60a	3,94b	5,96*	147,2	41,5
Pasto ILP	4,73	4,46	2,51ns	5,5	0,2	Pasto ILP	44,73	28,46	0,41ns	74,5	25,7
Cultura ILP	5,47a	4,60b	5,09*	12,7	0,6	Cultura ILP	19,97	18,94	0,05ns	35,6	6,9
Pivô ILP	5,77	5,86	0,14ns	4,9	0,3	Pivô ILP	35,9	34,7	0,54ns	5,9	2,1
A.V.N.S.	4,23b	5,64a	137,62**	14,6	0,7	A.V.N.S.	6,10b	27,36a	13,20*	76,2	14,8

Tratamento	Trincheira	Trado H.	F	C.V. (%)	D.P.	Tratamento	Trincheira	Trado H.	F	C.V. (%)	D.P.
pH, profundidade 80-100 cm						P, profundidade 80-100 cm					
Pasto	4,33a	3,88b	7,04*	7,1	0,3	Pasto	7,90a	2,72b	69,56*	59,8	2,8
Pasto ILP	4,17	3,98	2,30ns	4,8	0,2	Pasto ILP	4,47a	3,34b	23,34*	18,0	0,7
Cultura ILP	4,1	3,92	3,12ns	3,4	0,1	Cultura ILP	5,03a	3,46b	28,01*	21,8	0,9
Pivô ILP	3,77b	3,90a	8,42*	2,4	0,1	Pivô ILP	5,07a	3,28b	10,23*	27,4	1,1
A.V.N.S.	3,87b	4,12a	9,86*	4,5	0,2	A.V.N.S.	3,23	3,12	0,25ns	11,8	0,4
M.O., profundidade 0-10 cm						S-SO ₄ ²⁻ , profundidade 0-10 cm					
Pasto	23,7a	15,9b	69,39*	22,1	4,2	Pasto	8,80a	3,20b	99,77*	55,9	3,0
Pasto ILP	21,6a	15,5b	7,56*	21,8	3,9	Pasto ILP	7,2	6,08	0,61ns	24,4	1,6
Cultura ILP	18,7a	15,4b	22,98*	11,8	2,0	Cultura ILP	5,5	5,32	0,02ns	35,6	1,9
Pivô ILP	13,2b	15,0a	8,05*	8,7	1,2	Pivô ILP	5,7	9,76	1,41ns	72,8	6,0
A.V.N.S.	19,4	19,5	0,01ns	10,3	2,0	A.V.N.S.	5,23	5,34	0,02ns	20,9	1,1
M.O., profundidade 80-100 cm						S-SO ₄ ²⁻ , profundidade 80-100 cm					
Pasto	11,5	11,8	2,52ns	2,3	0,3	Pasto	7,47a	2,30b	17,15*	73,8	3,1
Pasto ILP	11,6b	12,4a	13,45*	4,2	0,5	Pasto ILP	7,17	13,26	5,76ns	45,8	5,0
Cultura ILP	11,2b	12,5a	29,33*	6,2	0,7	Cultura ILP	8,47	9,72	1,24ns	19,9	1,8
Pivô ILP	11,3	12	4,04ns	5,5	0,6	Pivô ILP	23,8	21,54	0,45ns	18,6	4,1
A.V.N.S.	11,5b	12,4a	15,99*	4,7	0,6	A.V.N.S.	1,97	6,08	6,48ns	76,2	3,5
H+Al, profundidade 0-10 cm						K, profundidade 0-10 cm					
Pasto	12,2b	36,9a	NaN	47,1	13,0	Pasto	2,63a	0,96b	152,36**	55,9	1,0
Pasto ILP	21,6	21,2	0,03ns	13,2	2,8	Pasto ILP	3,4	2,32	3,61ns	31,7	0,9
Cultura ILP	14,5	19,3	2,56ns	24,7	4,3	Cultura ILP	2,67	2,84	2,09ns	6,6	0,2
Pivô ILP	13,3	11,7	0,80ns	18,0	2,2	Pivô ILP	3,17	2,42	2,07ns	27,3	0,7
A.V.N.S.	31,2a	13,0b	37,75*	49,3	9,8	A.V.N.S.	2,17	2,4	0,15ns	38,6	0,9
H+Al, profundidade 80-100 cm						K, profundidade 80-100 cm					
Pasto	23,5b	41,0a	16,21**	29,7	10,2	Pasto	2,70a	0,84b	7,38*	76,4	1,2
Pasto ILP	24,7	31,1	3,35ns	21,9	6,3	Pasto ILP	2,1	1,78	1,11ns	27,4	0,5
Cultura ILP	25,8	26,1	0,01ns	11,5	3,0	Cultura ILP	1,47	1,44	0,02ns	22,7	0,3
Pivô ILP	38,4a	28,9b	5,34**	21,2	6,9	Pivô ILP	2,20a	1,22b	48,67**	34,9	0,5
A.V.N.S.	42,4a	25,1b	165,08*	29,1	9,2	A.V.N.S.	1,43	1,26	0,27ns	37,8	0,5

Tratamento	Trincheira	Trado H.	F	C.V. (%)	D.P.	Tratamento	Trincheira	Trado H.	F	C.V. (%)	D.P.
Ca, profundidade 0-10 cm						Mg, profundidade 0-10 cm					
Pasto	59,63a	2,92b	6,88*	146,9	35,5	Pasto	9,30a	2,46b	16,76*	77,0	3,9
Pasto ILP	20,47	11,84	4,84ns	44,2	6,7	Pasto ILP	4,77a	2,26b	13,77*	46,0	15
Cultura ILP	18,57a	8,72b	9,34*	50,6	6,3	Cultura ILP	11,07	5,76	4,66ns	52,2	4,0
Pivô ILP	19,67	22,58	1,27ns	16,9	3,6	Pivô ILP	8,6	8,42	0,04ns	11,1	0,9
A.V.N.S.	7,20b	29,76a	11,66*	75,7	16,1	A.V.N.S.	6,37	9	4,90ns	27,6	2,2
Ca, profundidade 80-100 cm						Mg, profundidade 80-100 cm					
Pasto	8,47	1,72	3,59ns	113,5	4,8	Pasto	2,93	1,84	1,26ns	53,0	1,2
Pasto ILP	7,57	7,68	0,01ns	30,4	2,3	Pasto ILP	3,57	3,44	0,11ns	15,7	0,5
Cultura ILP	6,7	5,94	0,26ns	27,3	1,7	Cultura ILP	2,13	1,9	0,11ns	38,6	0,8
Pivô ILP	3,83	4,46	0,92ns	26,6	1,1	Pivô ILP	1,17	1,54	3,51ns	27,5	0,4
A.V.N.S.	2,63b	8,18a	25,97*	55,0	3,3	A.V.N.S.	1,40b	2,24a	6,66*	31,4	0,6
SB, profundidade 0-10 cm						CTC, profundidade 0-10 cm					
Pasto	71,6a	6,38b	8,90*	127,6	39,3	Pasto	83,8a	43,3b	3,44*	49,9	29,2
Pasto ILP	28,6a	16,44b	13,67*	36,3	7,6	Pasto ILP	50,3a	37,6b	13,51*	18,6	7,9
Cultura ILP	32,2a	17,32b	7,57*	44,0	10,1	Cultura ILP	46,7a	36,6b	13,80*	15,5	6,3
Pivô ILP	31,5	33,38	0,52ns	10,9	3,6	Pivô ILP	44,7	45,1	0,01ns	8,6	3,9
A.V.N.S.	15,7b	41,20a	14,90*	54,2	17,2	A.V.N.S.	46,9	54,2	1,10ns	22,7	11,7
SB, profundidade 80-100 cm						CTC, profundidade 80-100 cm					
Pasto	14,10a	4,38b	16,14*	69,1	5,5	Pasto	37,6	45,4	6,10ns	13,9	5,9
Pasto ILP	13,17	12,88	0,02ns	19,7	2,6	Pasto ILP	37,9	44	4,04ns	11,9	5,0
Cultura ILP	10,33	9,28	0,25ns	22,7	2,2	Cultura ILP	36,1	35,4	0,14ns	7,1	2,5
Pivô ILP	7,2	7,2	0,00ns	20,7	1,5	Pivô ILP	45,6	36,1	4,85ns	18,1	7,2
A.V.N.S.	5,47b	11,68a	21,73*	40,4	3,8	A.V.N.S.	47,8a	36,7b	50,36*	14,6	6,0
m, profundidade 0-10 cm						V, profundidade 0-10 cm					
Pasto	0,00b	47,9a	NaN	85,8	25,5	Pasto	83,6a	14,8b	309,56*	88,3	35,8
Pasto ILP	3,53	12,2	7,28ns	73,6	6,6	Pasto ILP	57,0a	43,2b	7,07*	20,4	9,9
Cultura ILP	1,37	14,5	5,88ns	117,3	11,2	Cultura ILP	68,5	46,5	6,01ns	29,6	16,2
Pivô ILP	0	0	NaN	0	0	Pivô ILP	70,4	74	1,26ns	6,0	4,4
A.V.N.S.	16,33a	0,00b	NaN	139,4	8,5	A.V.N.S.	33,7b	74,8a	118,28**	36,8	21,8

Tratamento	Trincheira	Trado H.	F	C.V. (%)	D.P.	Tratamento	Trincheira	Trado H.	F	C.V. (%)	D.P.
m, profundidade 80-100 cm						V, profundidade 80-100 cm					
Pasto	29,5b	72,4a	18,91*	42,8	24,1	Pasto	38,1a	9,50b	15,39*	80,6	16,3
Pasto ILP	21,4	26,9	0,64ns	46,1	11,46	Pasto ILP	34,8	29,92	0,96ns	25,5	8,1
Cultura ILP	37,4	26,8	1,39ns	43,5	13,37	Cultura ILP	28,8	26,18	0,18ns	22,8	6,2
Pivô ILP	57,8	41,2	3,62ns	34,7	16,44	Pivô ILP	16	19,98	2,67ns	23,7	4,4
A.V.N.S.	66,2a	21,6b	62,50**	63,8	24,43	A.V.N.S.	11,4b	31,74a	39,56*	48,7	11,7
Al ³⁺ , profundidade 0-10 cm						Al ³⁺ , profundidade 80-100 cm					
Pasto	0,00b	5,82a	NaN	84,8	3,1	Pasto	5,87b	11,26a	6,16*	38,6	3,6
Pasto ILP	1	2,32	2,70ns	72,4	1,3	Pasto ILP	3,53	4,9	0,96ns	54,8	2,4
Cultura ILP	0,33	2,64	4,53ns	120,3	2,1	Cultura ILP	6,1	3,58	2,83ns	51,9	2,3
Pivô ILP	0	0	NaN	0	0	Pivô ILP	10,03	5,52	6,73ns	46,6	3,4
A.V.N.S.	3,06a	0,00b	NaN	140,6	1,6	A.V.N.S.	10,63a	3,08b	130,80**	68,1	4,0

Fonte: A autora (2023)

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. pH (CaCl₂); Matéria Orgânica - M.O. (g/dm³); Fósforo - P (mg/dm³); Sulfato - S-SO₄²⁻ (mg/dm³); Alumínio - Al³⁺ (mmolc/dm³); Acidez Potencial - H+Al (mmolc/dm³); Potássio - K (mmolc/dm³); Cálcio - Ca (mmolc/dm³); Magnésio - Mg (mmolc/dm³); Soma de Bases - SB (mmolc/dm³); Capacidade de Troca de Cátions - CTC (mmolc/dm³); Saturação por alumínio - m (%); Saturação por bases - V (%), Coeficiente de variação - C.V., Desvio Padrão - D.P., Trado H. – Trado Holandês, Área de Vegetação Natural Secundária - A.V.N.S.

As análises microbiológicas (Tabela 5), realizadas na profundidade de 0-10 cm, camada em que os microrganismos estão presentes, possuem valores de coeficiente de variação entre 22% e 92%, e valores menos homogêneos em cada grupo analisado. Segundo as análises estatísticas realizadas, também não houve uma diferença estatística entre os métodos de amostragem.

Tabela 5 – Atributos microbiológicos do solo, em função do método de análise.

Tratamento	CBM	NBM	Desi	RS	Aril	FDA	Glico	FA	qCO ₂
Trincheira	133,39a	10,73a	8,61a	0,08a	133,37a	80,13a	155,43a	175,76a	13,03a
Trado H.	127,60a	9,49a	6,99b	0,07a	117,37a	95,16a	134,75a	119,87b	10,55a
F	0,09ns	0,72ns	4,88*	0,26ns	0,89ns	1,95ns	3,39ns	9,34**	0,47ns
C.V. (%)	41,6	42,3	27,91	57,68	39,52	36,35	22,76	38,11	91,47
D.P.	61,89	4,47	2,86	0,05	74,69	33,86	59,31	66,00	10,71

Fonte: A autora (2023)

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 da biomassa microbiana – CBN (mg/kg); nitrogênio da biomassa microbiana – NBM ($\mu\text{g/kg}$); Desidrogenase – Desi (μg de TTF/g de solo); Respiração do solo – RS (mg de CO_2/h); Arilsulfatase – Aril (mg p-nitrofenol/kg solo * hora); FDA (μg FDA/g solo); Glicosidase – Glico (p-nitrofenol (mg/g solo * hora)); Fosfatase ácida – FA (p-nitrofenol (mg/g solo * hora)), Quociente metabólico – qCO_2 (mg/kg/h), Coeficiente de variação - C.V., Desvio Padrão - D.P., Trado H. – Trado Holandês.

Em função deste resultado, também foi elaborado a análise estatística entre os resultados obtidos pelas coletas com trado holandês e trincheira, diferenciando por área de estudo (Tabela 6).

Tabela 6 – Atributos microbiológicos do solo, em função do método de análise, separado por área.

Tratamento	Trincheira	Trado H.	F	C.V. (%)	D.P.	Tratamento	Trincheira	Trado H.	F	C.V. (%)	D.P.
CBM, profundidade 0-10 cm						Desidrogenase, profundidade 0-10 cm					
Pasto ILP	212,2	174,7	0,45ns	38,11	71,95	Pasto ILP	9,23	9,79	0,26ns	15,59	1,49
Cultura ILP	140,5	124,3	0,17ns	38	49,55	Cultura ILP	10,22	7,32	6,57ns	26,23	2,2
Pivô ILP	34,2b	91,9a	13,74*	56,6	39,77	Pivô ILP	9,42	9,35	0,01ns	15,39	1,44
A.V.N.S.	146,7	138,9	0,06ns	31,26	44,33	A.V.N.S.	5,58a	3,13b	5,83*	41,99	1,7
NBM, profundidade 0-10 cm						Respiração do solo, profundidade 0-10 cm					
Pasto	10,26	11,24	0,13ns	36,04	3,92	Pasto	0,0967	0,1199	0,45ns	31,56	0,03
Pasto ILP	13,36	13,2	0,00ns	27,85	3,69	Pasto ILP	0,0916	0,0791	0,12ns	60,42	0,05
Cultura ILP	8,48	7,35	0,06ns	58,59	4,55	Cultura ILP	0,0786	0,0629	0,24ns	59,5	0,04
Pivô ILP	10,81	9,47	0,09ns	48,89	4,88	Pivô ILP	0,1001	0,0644	1,04ns	62,99	0,05
A.V.N.S.	10,26	11,24	0,13ns	36,04	3,92	A.V.N.S.	0,0967	0,1199	0,45ns	31,56	0,03
Arilsulfatase, profundidade 0-10 cm						FDA, profundidade 0-10 cm					
Pasto	190	228,6	1,62ns	16,66	35,67	Pasto	87,2	90,3	0,01ns	28,88	25,73
Pasto ILP	129,5	97	1,38ns	31,69	34,6	Pasto ILP	116,1	81,5	4,56ns	28,04	26,49
Cultura ILP	30,4	37	0,47ns	30,63	10,57	Cultura ILP	54,1	42,1	0,62ns	46,08	21,47
Pivô ILP	183,7	170,6	0,22ns	24,03	42,18	Pivô ILP	123,3	115,3	0,23ns	18,66	22,07
A.V.N.S.	190	228,6	1,62ns	16,66	35,67	A.V.N.S.	87,2	90,3	0,01ns	28,88	25,73
Glicosidase, profundidade 0-10 cm						Fosfatase ácida, profundidade 0-10 cm					
Pasto	208,6	182,3	3,61ns	14,07	27,04	Pasto	204,5	153,3	0,65ns	39,79	68,63
Pasto ILP	157,9	127,9	1,88ns	23,57	32,8	Pasto ILP	192,8a	101,5b	20,01*	38,5	52,26
Cultura	159,1	144,2	0,23ns	23,73	35,54	Cultura	62,7	80,3	2,45ns	27,08	19,95

ILP						ILP					
Tratamento	Trincheira	Trado H.	F	C.V. (%)	D.P.	Tratamento	Trincheira	Trado H.	F	C.V. (%)	D.P.
Glicosidase, profundidade 0-10 cm						Fosfatase ácida, profundidade 0-10 cm					
Pivô ILP	96,1a	33,5b	27,46*	61,99	35,31	Pivô ILP	243,1a	181,0b	13,68*	17,91	36,56
A.V.N.S.	208,6	182,3	3,61ns	14,07	27,04	A.V.N.S.	204,5	153,3	0,65ns	39,79	68,63
Quociente metabólico, profundidade 0-10 cm											
Pasto	7,27	13,25	3,41ns	49,3	5,42						
Pasto ILP	10,97	12,01	0,06ns	58,03	6,74						
Cultura ILP	38,92a	12,22b	4,53*	83,53	18,57						
Pivô ILP	11,22	8,46	0,54ns	56,27	5,34						
A.V.N.S.	7,27	13,25	3,41ns	49,3	5,42						

Fonte: A autora (2023)

Nota: ns – não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F. *Significativo a 5% 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., Trado H. – Trado Holandês, Área de Vegetação Natural Secundária - A.V.N.S., Carbono da Biomassa Microbiana – CBM, Nitrogênio da Biomassa Microbiana – NBM.

De acordo com a análise estatística acima, a maioria dos resultados de microbiologia não possuíram diferença estatística em relação ao uso do solo.

Assim como os demais resultados, o fracionamento da areia (Tabela 7) manteve o mesmo comportamento, possuindo grupos com valores menos homogêneos, mas não chegando a diferenciar estatisticamente.

Tabela 7 - Fracionamento de areia em função do método de coleta de solo.

Tratamento	Trincheira	Trado H.	F	C.V. (%)	D.P.	Tratamento	Trincheira	Trado H.	F	C.V. (%)	D.P.
0-10 cm						40-60 cm					
Pasto ILP	12,44a	6,70b	12,22**	57,52	6,5	Pasto ILP	3,89	2,1	3,95ns	100,42	2,8
Cultura ILP	8,64a	5,88b	18,81**	28,49	2,7	Cultura ILP	6,11	4,74	2,74ns	48,86	2,7
Pivô ILP	191,73	187,77	0,19ns	14,84	32,4	Pivô ILP	173,4	170,77	0,08ns	16,45	35,9
A.V.N.S.	88,16b	102,15a	6,65*	17,24	21	A.V.N.S.	80,80b	91,25a	5,15*	16,24	18,1
10-20 cm						60-80 cm					
Pasto	6,74	4,5	1,91ns	94,48	4,9	Pasto	3,07a	1,75b	5,08*	80,39	1,8

Tratamento	Trincheira	Trado H.	F	C.V. (%)	D.P.	Tratamento	Trincheira	Trado H.	F	C.V. (%)	D.P.
10-20 cm						60-80 cm					
Pasto ILP	7,31a	5,32b	9,39**	33,04	2,5	Pasto ILP	5,13	4,29	2,28ns	37,01	1,9
Cultura ILP	188,25	196,45	1,64ns	10,2	30,1	Cultura ILP	152,79	161,14	1,00ns	16,23	32,6
Pivô ILP	92,21	100,21	2,63ns	15,63	21	Pivô ILP	78,67	82,1	0,76ns	15,02	15,5
A.V.N.S.	317,34	311,17	0,87ns	6,48	35,3	A.V.N.S.	262,39	270,04	0,88ns	9,4	36,9
20-30 cm						80-100 cm					
Pasto	4,18	2,66	2,66ns	89,17	2,9	Pasto	4,81a	2,13b	4,27*	128,48	4,1
Pasto ILP	5,6	4,68	2,31ns	37,32	2,1	Pasto ILP	4,79	3,88	3,23ns	36,74	1,9
Cultura ILP	180,93	187,06	1,16ns	9,5	26,4	Cultura ILP	151,83	158,87	0,98ns	14,02	27,3
Pivô ILP	92,69	92,17	0,02ns	12	14,6	Pivô ILP	76,48	81,78	2,28ns	13,57	13,9
A.V.N.S.	315,70a	301,33b	6,14*	5,83	38,2	A.V.N.S.	264,88	266,36	0,06ns	6,98	30,8
30-40 cm											
Pasto	1,91	2,34	0,54ns	84,11	1,9						
Pasto ILP	5,08	4,88	0,17ns	30,53	1,8						
Cultura ILP	183,69	181,93	0,07ns	10,87	32,7						
Pivô ILP	92,26	93,33	0,04ns	18,4	19,7						
A.V.N.S.	303,31a	293,47b	4,64*	4,75	32,9						

Fonte: A autora (2023)

Nota: ns – não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F. *Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F. Médias seguidas de letras iguais, não diferem pelo teste de Tukey. Peneira 1 – P. 1 (g/kg); peneira 0,5 – P. 0,5 (g/kg); peneira 0,250 – P. 0,250 (g/kg); peneira 0,212 – P. 0,212 (g/kg); peneira 0,125 – P. 0,125 (g/kg); peneira 0,053 – P. 0,053 (g/kg); restante (g/kg), Coeficiente de variação - C.V., Desvio Padrão - D.P., Área de Vegetação Natural Secundária – A.V.N.S.

De forma geral, o fracionamento da areia também não possui diferença estatística nos resultados das amostras coletadas com trado holandês e trincheira, quando comparados em relação ao uso do solo (Tabela 8).

Tabela 8 - Fracionamento de areia em função do método de coleta de solo, separado por área.

Tratamento	Trincheira	Trado H.	F	C.V. (%)	D.P.	Tratamento	Trincheira	Trado H.	F	C.V. (%)	D.P.
Peneira 1, profundidade 0-10 cm						Peneira 0.212, profundidade 0-10 cm					
Pasto ILP	13,19	11,56	0,86ns	24,46	2,98	Pasto ILP	71,6	84,8	1,99ns	15,24	12,17
Cultura ILP	19,48a	8,37b	6,74*	64,8	8,12	Cultura ILP	97,4	103,6	0,43ns	11,35	11,49
Pivô ILP	15,14a	3,99b	6,47*	88,95	7,27	Pivô ILP	92	118,6	1,93ns	26,38	28,65
A.V.N.S.	4,32	2,3	1,04ns	83,72	2,56	A.V.N.S.	91,6	120,3	7,29ns	20,74	22,71
Peneira 1, profundidade 80-100 cm						Peneira 0.212, profundidade 80-100 cm					
Pasto ILP	8,35	1,714	0,82ns	181,17	7,61	Pasto ILP	71,5	72,9	0,02ns	14,27	10,33
Pasto ILP	4,917a	0,920b	3,73*	118,22	2,86	Pasto ILP	78,7	84,7	0,42ns	13,55	11,17
Cultura ILP	4,357	1,806	5,18ns	70,63	1,95	Cultura ILP	79,4	90,5	1,07ns	19,02	16,43
Pivô ILP	0,757	1,854	3,89ns	65,58	0,95	Pivô ILP	88,1	93,5	0,69ns	10,53	9,64
A.V.N.S.	5,687	3,584	0,32ns	92,1	4,03	A.V.N.S.	64,7	67	0,40ns	7,08	4,68
Peneira 0.5, profundidade 0-10 cm						Peneira 0.125, profundidade 0-10 cm					
Pasto ILP	7,99	5,8	1,58ns	31,51	2,09	Pasto ILP	296b	316a	5,43*	4,43	13,67
Pasto ILP	7,33	6,28	0,37ns	39,11	2,61	Pasto ILP	324	324	3,9E ⁻⁵ ns	4,94	15,99
Cultura ILP	8,53a	3,96b	10,08*	48,89	2,77	Cultura ILP	324	326	0,01ns	6,63	21,54
Pivô ILP	7,03	5,09	1,78ns	33,18	1,93	Pivô ILP	328	329	0,00ns	9,38	30,86
A.V.N.S.	12,33a	8,21b	9,32*	27,14	2,65	A.V.N.S.	273	268	0,78ns	3,32	8,98
Peneira 0.5, profundidade 80-100 cm						Peneira 0.125, profundidade 80-100 cm					
Pasto ILP	3,3	2,85	0,26ns	29,17	0,88	Pasto ILP	283	267	0,54ns	8,94	24,4
Pasto ILP	4,66a	2,77b	6,15*	37,35	1,3	Pasto ILP	273	281	0,28ns	9,44	26,28
Cultura ILP	4,80a	2,79b	4,57*	39,62	1,4	Cultura ILP	283	280	0,12ns	4,67	13,14
Pivô ILP	4,03	4,13	0,01ns	36,35	1,49	Pivô ILP	270	285	2,97ns	4,97	13,88
A.V.N.S.	7,17	5,81	1,09ns	27,57	1,74	A.V.N.S.	215	215	0,012ns	3,78	8,14
Peneira 0.250, profundidade 0-10 cm						Peneira 0.053, profundidade 0-10 cm					
Pasto ILP	156	154	0,00ns	15,63	24,24	Pasto ILP	202	216	0,43ns	10,19	21,47
Pasto ILP	201	178	1,35ns	13,64	25,43	Pasto ILP	175	177	0,01ns	18,35	32,36
Cultura ILP	165	206	3,70ns	15,98	30,47	Cultura ILP	184	166	0,53ns	15,4	26,62

Tratamento	Trincheira	Trado H.	F	C.V. (%)	D.P.	Tratamento	Trincheira	Trado H.	F	C.V. (%)	D.P.
Peneira 0.250, profundidade 0-10 cm						Peneira 0.053, profundidade 0-10 cm					
Pivô ILP	225	203	0,85ns	17,23	36,41	Pivô ILP	182	141	3,64ns	25,18	39,37
A.V.N.S.	212	197	0,72ns	10,11	20,48	A.V.N.S.	195	203	0,41ns	8,36	16,73
Peneira 0.250, profundidade 80-100 cm						Peneira 0.053, profundidade 80-100 cm					
Pasto	124	130	0,13ns	14,76	18,81	Pasto	184	184	4,8E ⁻⁴ ns	21,54	39,64
Pasto ILP	136	159	2,26ns	16,5	24,81	Pasto ILP	179	157	2,23ns	13,55	22,38
Cultura ILP	159	171	0,87ns	11,66	19,41	Cultura ILP	151	144	0,45ns	9,97	14,62
Pivô ILP	187	177	0,14ns	16,67	30,2	Pivô ILP	147	156	0,16ns	16,18	24,68
A.V.N.S.	153	156	0,09ns	8,55	13,25	A.V.N.S.	194	192	0,05ns	7,16	13,8
Peneira restante, profundidade 0-10 cm						Peneira restante, profundidade 80-100 cm					
Pasto	3,93	2,22	1,77ns	57,01	1,63	Pasto	5,12	3,51	2,48ns	40,7	1,67
Pasto ILP	2,95	4,69	0,69ns	69,04	2,79	Pasto ILP	3,403a	0,798b	9,84*	89,35	1,58
Cultura ILP	4,19	1,3	6,02ns	88,52	2,11	Cultura ILP	0,997	1,056	0,01ns	82,99	0,86
Pivô ILP	3,78	3,49	0,08ns	43,77	1,57	Pivô ILP	2,733	2,056	0,27ns	65,1	1,5
A.V.N.S.	4,25	5,26	0,20ns	61,78	3,01	A.V.N.S.					

Fonte: A autora (2023)

Nota: ns – não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F. *Significativo a 5% 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., Trado H. – Trado Holandês, Área de Vegetação Natural Secundária – A.V.N.S.

Para os resultados de física do solo, houve diferença estatística nos resultados de areia, nas profundidades de 20-30 e 30-40 cm, de silte, nas profundidades de 10-20 e 20-30 cm e nos resultados de argila, de 60-80 e 80-100 cm, quando comparado os resultados das amostras coletadas com trado holandês e nas trincheiras. Já para os resultados de microbiologia, houve variação apenas para os resultados da enzima desidrogenase e fosfatase ácida.

Nas análises de química do solo, houve diferença estatística nos resultados de matéria orgânica, nas profundidades de 0-10, 20-30, 40-60, 60-80 e 80-100 cm, para o potássio, nas profundidades de 0-10, 60-80 e 80-100 cm, para o fósforo, em 10-20, 60-80 e 80-100 cm, para CTC, nas camadas de 0-10 e 30-40 cm e para o magnésio e soma de bases, apenas na profundidade de 0-10 cm. Esses resultados

são relevantes para o ODS 2 (Fome Zero e Agricultura Sustentável), pois promovem a compreensão da fertilidade do solo e sua relação com a segurança alimentar.

O fracionamento da areia obteve diferença estatística para diferentes profundidades. Analisando as tabelas em relação à totalidade de amostras, quando comparado os resultados de trado e trincheira por profundidade, não houve diferença estatística, mas estes quando separados por tipo de uso de solo, os resultados de física e química do solo possuíram diferença estatística em apenas algumas áreas de estudo. Essa análise é relevante para o ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis), ao promover práticas agrícolas sustentáveis.

Além dos resultados obtidos, é importante observar algumas outras variáveis em relação à coleta em si e suas vantagens e desvantagens, como o impacto ambiental gerado, valor econômico, facilidade na coleta e o objetivo do estudo. Para a coleta por meio de trincheiras é necessária uma maior movimentação do solo da área para a abertura das mesmas, podendo causar desvantagem ambiental devido a esse deslocamento de solo. Já a coleta com o trado não há movimentação de grandes quantidades de solo, mitigando os problemas ambientais que podem ser causados. Essa análise está relacionada ao ODS 1 (Erradicação da Pobreza), ao considerar a importância da conservação dos recursos naturais para a sustentabilidade econômica das comunidades rurais.

Assim como sustentado por Porto (2018), a coleta de amostras por meio do trado holandês é mais simples, rápida e econômica, já a coleta por meio da abertura de trincheiras necessita de maquinários específicos, como a retroescavadeira, para sua confecção, tornando o procedimento mais caro. Essa análise está relacionada ao ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis), ao promover práticas de manejo do solo que contribuam para a sustentabilidade econômica.

Um dos pontos positivos das trincheiras é a visualização do perfil do solo e a coleta de amostras indeformadas em todas as profundidades. Já na coleta das amostras por tradagem é possível coletar um maior número de pontos, tendo assim um maior rendimento da amostragem. Essa consideração está alinhada ao ODS 15 (Vida Terrestre), ao promover a compreensão da estrutura e biodiversidade do solo.

Desta forma, a escolha entre os métodos de amostragem de solo depende do objetivo deste estudo, sendo a trincheira recomendada em casos em que seja necessário o estudo do perfil do solo e de coleta de amostras indeformadas e não apenas de suas características físicas, químicas e biológicas. Essas considerações

estão alinhadas aos ODS 1, 2, 12 e 13, ao promover práticas sustentáveis de manejo do solo e garantir a segurança alimentar, a produção e consumo responsáveis, além de contribuir para a mitigação das mudanças climáticas.

4 CONCLUSÃO

A utilização de trincheiras é mais indicada para estudos em que há necessidade de análise e visualização do perfil do solo, além da coleta de amostras indeformadas e em maiores profundidades. Quando se trata de coleta de amostras deformadas e superficiais, estas podem ser realizadas tanto com o trado holandês, quanto com a trincheira.

De forma geral, os atributos físicos, químicos e biológicos do solo não são afetados pelo tipo de amostragem, mas podem variar, em sua minoria, quando comparados em relação ao uso de solo.

É necessário uma maior atenção na amostragem para análises dos teores de argila, silte e areia, da enzima desidrogenase e fosfatase, da matéria orgânica, potássio, fósforo, magnésio, CTC e SB e para o fracionamento da areia, nas peneiras de 1 - 0,5 - 0,212 e 0,125 mm, pois podem sofrer alteração em função do método escolhido.

Para os demais atributos, é válido verificar que as duas formas de amostragem possuem suas vantagens e desvantagens em relação a valor econômico, facilidade de execução e questões ambientais, sendo necessária a avaliação de todos esses aspectos na escolha do método de coleta de solo, mas considerando principalmente o objetivo do pesquisador e dos recursos disponíveis no momento da coleta.

REFERÊNCIAS

- ALEF, K.; NANNIPIERI, P. **Methods in applied soil microbiology and biochemistry**. London: Academic Press, 1995. p.576.
- ALTARUGIO, L. M., GUERINI, F., MELLO, A. C. **Amostradores de solo garantem eficiência na coleta**. Uberlândia: Campo e Negócios, 2017. Disponível em: <https://revistacampoenegocios.com.br/amostradores-de-solo-garantem-eficiencia-na-coleta-2/> Acesso em: 04 jun. 2023.
- ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient for CO₂ (qCO₂) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v.25, 1993.
- BATISTA, M. C. **Estoque de Carbono e Frações da Matéria Orgânica em Áreas Sob Sistemas Agroflorestais e Agricultura no Agreste Paraibano**. 2017. 46 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal da Paraíba, PB, 2017.
- BESEN, M. R.; RIBEIRO, R. H.; MONTEIRO, A. N. T. R.; IWASAKI, G. S.; PIVA, J. T. Práticas conservacionistas do solo e emissão de gases do efeito estufa no Brasil. **Scientia Agropecuaria**, Perú, v.9, n.3, jul./set., 2018. Disponível em: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2077-99172018000300015. Acesso em: 15 nov. 2020.
- BONETTI, J DE A.; PAULINO, H. B.; SOUZA, E. D. DE; CARNEIRO, M. A. C.; CAETANO, J. O. Soil physical and biological properties in an integrated crop-livestock system in the Brazilian Cerrado. **Pesq. agropec. bras.** Brasília, v. 53, n. 11, p. 1239-1247, Nov. 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/pab/v53n11/1678-3921-pab-53-11-1239.pdf> Acesso em: 28 mar. 2021.
- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **The nature and properties of soils**. 14. ed. Pearson Prentice Hall, NJ: Upper Saddle River, 2008. 965 f.
- CARNEIRO, L. F.; OLIVEIRA, R. A. DE.; WEBER, H.; DAROS, E.; BERTON, G. S.; RODRIGUES, F. V. Alternativa conservacionista de produção da cana-de-açúcar em solos arenosos: palhiço, consórcio e nitrogênio. **Agricultural Science**. Lavras, v. 44, jul., 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cagro/a/vk5ffnjxXQqTPgTY5HG54YP/?lang=en> Acesso em: 5 mai. 2021.
- CENTENO, L. N.; GUEVARA, M. D. F.; CECCONELLO, S. T.; SOUSA, R. O. DE; TIMM, L. C. Textura do solo: conceitos e aplicações em solos arenosos. **Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade**. Pelotas, v. 4, n. 1, 2017. Disponível em: <https://periodicos.ufpel.edu.br/ojs2/index.php/RBES/article/view/11576> Acesso em: 18 abr. 2021
- CORDEIRO, L. A. M.; KLUTHCOUSKI, J.; SILVA, J. R.; ROJAS, D. C.; OMOTE, H. de S. G.; MORO, E.; SILVA, P. C. G.; TIRITAN, C. S.; LONGEN, A. **Integração**

Lavoura-Pecuária em Solos Arenosos: estudo de caso da Fazenda Campina no Oeste Paulista. 1. ed. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2020.

DALCHIAVON, F. C.; RODRIGUES, A. R.; LIMA, E. S. DE; LOVERA, L. H.; MONTANARI, R. Variabilidade especial de atributos químicos do solo cultivado com soja sob plantio direto. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v.16, n.2, 2017. Disponível em: <https://www.revistas.udesc.br/index.php/agroveterinaria/article/view/223811711622017144/pdf> Acesso em: 15 nov. 2020.

DEIMLING; K. A. A.; SEIDEL, E. P.; ROSSET, J. S.; MOTTIN, M. C.; HERRMANN, D. DA R.; FAVORITO, A. C. Soil physical properties and soybean productivity in succession to cover crops. *Soil Science and Plant Nutrition*. **Rev. Ceres**. Viçosa. v. 66, n. 4, jul./ago. 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rceres/a/5TWSTZ6v3YQcHrcLstvZVKc/?lang=en> Acesso em: 25 abr. 2021.

DONAGEMMA, G. K.; FREITAS, P. L. DE; BALIEIRO, F. de C.; FONTANA, A.; SPERA, S. T.; LUMBRERAS, J. F.; VIANA, J. H. M.; ARAÚJO FILHO, J. C. de; SANTOS, F. C. dos; ALBUQUERQUE, M. R. de; MACEDO, M. C. M.; TEIXEIRA, P. C.; AMARAL, A. J.; BORTOLON, E.; BORTOLON, L. Caracterização, potencial agrícola e perspectivas de manejo de solos leves no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p.1003-1020, 2016.

FEBA, L. G. T. **Produção de biomassa, compostos fenólicos e atividade antioxidante em *Passiflora incarnata* L. mediante adubação orgânica e diferentes períodos de corte em solo arenoso.** Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade do Oeste Paulista, Presidente Prudente, 2018.

FERNANDES, L. A.; COIMBRA, A. M. Revisão estratigráfica da parte oriental da Bacia Bauru (Neocretáceo). **Rev. Bras. Geoc.**,v. 30, p. 723-734, 2000.

FERREIRA, A. S.; CAMARGO, F. A. O.; VIDOR, C. Utilização de microondas na avaliação da biomassa microbiana do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, n.4, 1999.

FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G.; BALIEIRO, F. DE C.; MOURA, T. P. A. DE ; MENEZES, A. R. DE; SANTANA, C. I. Características e atributos de Latossolos sob diferentes usos na região Oeste do Estado da Bahia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.51, n.9, set., 2016. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-204X2016000901457&script=sci_arttext&tlng=pt Acesso em: 18 nov. 2020.

FORTINI, R. M.; BRAGA, M. J.; FREITAS, C. O. Impacto das práticas agrícolas conservacionistas na produtividade da terra e no lucro dos estabelecimentos agropecuários brasileiros. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v.58, n.2, Jun., 2020. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-20032020000200214&script=sci_arttext Acesso em: 18 nov. 2020.

FRIGHETTO, R. T. S. Análise da biomassa microbiana em carbono: método de

fumigação-extração. *In*: FRIGHETTO, R. T. S.; VALARINI, P. J. (coord.). **Indicadores biológicos e bioquímicos da qualidade do solo**. Jaguariúna: EMBRAPA, 2000.

FUSHIMI, M.; NUNES, J. O. R.; CASTOLDI, R. C. Caracterização dos solos de parte dos municípios de Marabá Paulista – SP e Presidente Epitácio – SP. **Revista Formação** (Online), v. 1, n. 24, p. 114–135, jan./abr. 2017. Disponível em: <https://revista.fct.unesp.br/index.php/formacao/article/view/4666/3794> Acesso em: 05 abr. 2021.

GIONGO, V. **Sistema conservacionista de cultivo de melão utilizando coquetéis vegetais no Submédio São Francisco**. 2015. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1075716/1/producaod emelaopag231253.pdf> Acesso em: 15 mar. 2021.

GUERRA, W. E. X. **Manejo de solo sob pastagem antecedendo o cultivo da soja em sistema semeadura direta e integração lavoura-pecuária**. 2017. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade do Oeste Paulista, Presidente Prudente, 2017.

JOERGENSEN, R. G.; BROOKES, P. C. C. Ninhydrin-reactive nitrogen measurements of microbial biomass in 0.5 M K₂SO₄ soil extracts. **Soil Biol. Biochem.**, v. 22, p. 1031-1038, 1990.

MORO, E.; ALVES, M. R.; TIRITAN, C. S. **Integração lavoura-pecuária: Desafios, estratégias e resultados da integração lavoura-pecuária em ambientes de produção com solos arenosos**. Brasília: EMBRAPA, 2019. (Boletim de pesquisa)

MULLER, R. do V. **Manejo do solo e das culturas em áreas de renovação de canavial no oeste paulista**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Presidente Prudente, 2017.

OLIVEIRA, D. T. C.; BUENO, G. T. Avaliação da qualidade química do solo de um sistema agroecológico por indicadores de sustentabilidade: Estudo de caso no Assentamento Pastorinhas, Brumadinho, Minas Gerais. *In*: Congresso Brasileiro de Agroecologia, 9, 2015, Belém, **Anais Eletrônicos** [...], Belém: CBA, 2015. Disponível em: <http://revistas.aba-agroecologia.org.br/index.php/cad/article/view/19478/13239> Acesso em: 27 abr. 2021.

OLIVEIRA, J. B. DE; CAMARGO, M. N.; ROSSI, M.; CALDERANO FILHO, B. **Mapa Pedológico do Estado de São Paulo**. Campinas : Instituto Agrônômico ; Rio de Janeiro : EmbrapaSolos, 1999.

PEREIRA, G. B.; VARANDA, H. L.; OLIVEIRA, A. L. G.; AMARAL, L. R. DO. Quais as vantagens dos diferentes tipos de amostragens de solo. **Revista Cultivar**, 2020. Disponível em: <https://revistacultivar.com.br/noticias/quais-as-vantagens-dos-diferentes-tipos-de-amostragens-de-solo> Acesso em: 03 jun. 2023.

PORTO, M. **Fundações, estudos geotécnicos, investigação, instrumentação e monitoramento geotécnico**. 2018. Disponível em: <https://marcosporto.eng.br/wp-content/uploads/2018/02/Nota-de-Aula-de-Investiga%C3%A7%C3%A3o-do-Subsolo-1.pdf> Acesso em: 03 jun. 2023

RAIJ, B. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônômico de Campinas, 2001.

REICHARDT, K. Capacidade de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.12, 1988.

RODELLA, A. A.; SABOYA, L. V. Calibrations for conductimetric determination of carbon dioxide. **Soil biology and Biochemistry**, Oxford, v. 31, n. 14, p.2059-2060, 1999.

RONQUIM, C. C. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. 2. ed. Campinas: **Embrapa Territorial**, 2020.

SALES, A; SILVA, A. R.; VELOSO, C. A. C.; CARVALHO, E. J. M.; MIRANDA, B. M. Carbono orgânico e atributos físicos do solo sob manejo agropecuário sustentável na Amazônia Legal. **Colloquium Agrariae**, Presidente Prudente, SP, v.14, n.1, jan./mar., 2018. Disponível em: <https://revistas.unoeste.br/index.php/ca/article/view/1989/2101> Acesso em: 17 nov. 2020.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. DOS; OLIVEIRA, V. A. DE; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. DE; ARAÚJO FILHO, J. C. DE; OLIVEIRA, J. B. DE; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. revista e ampliada. Brasília: Embrapa, 2018.

SARTORI, J. E.; ARAI, M.; MORALES, N.; QUADROS, L. S. de. Caracterização dos Depósitos Sedimentares de Cássia e sua Relação com a Zona de Falha de Cássia, Sudoeste de Minas Gerais. **Geociências**: São Paulo, v. 38, n. 3, p. 719 – 734, 2019.

SILVA, W. T. de M.; ALVES, F. J. B.; LEONARDO, F. de A. P.; SANTOS, R. V. dos; FARIAS JÚNIOR, J. A. de. Levantamento da Textura do Solo e da Relação Silte/Argila em Regiões Semiáridas do Nordeste. **Agropecuária Científica do Nordeste**, v.14, n. 4, 2019.

SOARES, M. D. R.; CAMPOS, M. C. C.; OLIVEIRA, I. A.; CUNHA, J. M.; SANTOS, L. A. C.; FONSECA, J. S.; SOUZA, Z. M. de. Atributos físicos do solo em áreas sob diferentes sistemas de usos na região de Manicoré, AM. **Amazonian Journal**, Amazonas, v.59, n.1, jan./mar., 2020. Disponível em: <http://btcc.ufra.edu.br/index.php/ajaes/article/view/2020/797>. Acesso em: 17 nov. 2020.

SWISHER, R.; CARROLL, C. G. Fluorescein diacetate hydrolysis as an estimator of microbial biomass on coniferous needle surface. **Microbial Ecology**, v.6, p. 217-226, 1980.

TABATABAI, M.A. Soil Enzymes. *In: Methods of soil analysis: part 2- microbiological and biochemical properties*. Madison: SSSA, 1994. (SSSA Book Series: 5).

TABATABAI, M.A. ;BREMNER, J.M. Arylsulfatase activity of soils. **Soil Science Society of American Proceedings**, v. 34, p. 225-229,1970.

TEIXEIRA, P.C; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. Ed. Brasília: Embrapa Solos, 2017.

VAN OS, G. J.; GINKEL, J. H. Suppression of Pythium root rot in bulbous Iris in relation to biomass and activity of the soil microflora. **Soil Biology & Biochemistry**, London, v. 33, n. 11, 2001.

ZANATTA, J. A.; PULROLNIK, K.; VIANA, J. H. M. **Protocolo para avaliação do estoque de carbono e de nitrogênio do solo em sistemas florestais–Projeto Saltus**. Colombo, PR: Embrapa Florestas-Documents (INFOTECA-E), 2015. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/129380/1/Doc.-277-Projeto-Saltus-2.pdf> Acesso em: 20 jun. 2020.

CAPÍTULO 2 – DIAGNÓSTICO DA QUALIDADE DO SOLO EM FUNÇÃO DO MANEJO E USO: ÊNFASE NO ESTOQUE DE CARBONO E SEUS IMPACTOS

RESUMO

Considerando que os atributos do solo podem ser alterados de acordo com o manejo aplicado e que os solos arenosos necessitam de manejo adequado para que se tornem produtivos, objetivou-se a avaliação da qualidade do solo de cinco áreas com diferentes manejos, como forma de evidenciar os benefícios de sistemas integrados aplicados em solos arenosos. Para tanto, procedeu-se à coleta de amostras de solo, em cinco áreas de solos arenosos com diferentes sistemas de cultivo, sendo uma área ocupada com cultura em sistema integração lavoura-pecuária (ILP), outra com pastagem em sistema ILP, uma com agricultura em sistema ILP com uso de irrigação, uma área com pastagem convencional e uma área de vegetação natural secundária, localizadas em Rancharia - SP, para análise dos atributos físicos (textura argila, silte e areia e fracionamento da areia, densidade do solo, densidade de partículas, porosidade total, umidade), químicos (análise básica de fertilidade, pH (CaCl₂), H + Al, matéria orgânica, P (resina), K, Ca, Mg, S-SO₄²⁻ e Al³⁺, fracionamento físico do carbono orgânico do solo), microbiológicos (carbono da biomassa microbiana, nitrogênio da biomassa microbiana, respiração do solo, arilsulfatase, glicosidase, desidrogenase, FDA, fosfatase ácida e quociente metabólito) e estoque de nutrientes de forma a comparar a qualidade dos solos das diferentes áreas. Desse modo, o estudo aborda os atributos físicos, químicos e microbiológicos do solo em diferentes sistemas de uso da terra, destacando sua importância ambiental. Foram identificadas variações nas densidades do solo e de partículas, influenciadas pelo manejo realizado, indicando a importância das práticas agrícolas na estrutura do solo e, por consequência, na retenção de água e na disponibilidade de nutrientes. A presença predominante de solos arenosos em todas as áreas analisadas destaca a necessidade de cuidados especiais para mitigar a lixiviação de nutrientes e a erosão do solo, promovendo assim uma gestão mais sustentável dos recursos naturais. Além disso, a qualidade do solo foi avaliada considerando a matéria orgânica e o carbono, importantes para a fertilidade do solo e para o sequestro de carbono, essencial para mitigar as mudanças climáticas. Os resultados indicam que áreas com sistemas de manejo que favorecem a presença de matéria orgânica, como pastagens bem manejadas e sistemas integrados de produção, tendem a apresentar maiores estoques de carbono no solo, contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas e para a resiliência dos ecossistemas terrestres. Por outro lado, áreas com intervenção humana, como a agricultura intensiva, apresentam desafios em relação à atividade microbiana e à disponibilidade de nutrientes, destacando a importância de práticas agrícolas sustentáveis. A análise da qualidade do solo fornece insights sobre a saúde dos ecossistemas e a sustentabilidade ambiental. A adoção de práticas agrícolas que promovam a conservação do solo, a manutenção da biodiversidade e o sequestro de carbono é essencial para garantir a segurança alimentar e a saúde do planeta. Essas considerações ressaltam a importância de uma abordagem holística na gestão dos recursos naturais, visando o equilíbrio entre as necessidades humanas e a preservação do meio ambiente.

Palavras-chave: Solos arenosos; Integração lavoura-pecuária; Sequestro de carbono; Estoque de nutrientes.

ABSTRACT

Considering that soil attributes can be changed according to the management applied and that sandy soils require adequate management to become productive, the objective was to evaluate the soil quality of five areas with different management, as a way of demonstrating the benefits of integrated systems applied to sandy soils. To this end, soil samples were collected in five areas of sandy soils with different cultivation systems, one area occupied with crops in an integrated crop-livestock system (ILP), another with pasture in an ILP system, one with agriculture in an ILP system using irrigation, an area with conventional pasture and an area of secondary natural vegetation, located in Rancharia - SP, for analysis of physical attributes (clay, silt and sand texture and sand fractionation, soil density, of particles, total porosity, humidity), chemicals (basic fertility analysis, pH (CaCl₂), H + Al, organic matter, P (resin), K, Ca, Mg, S-SO₄²⁻ and Al³⁺, physical fractionation of carbon soil organic matter), microbiological (microbial biomass carbon, microbial biomass nitrogen, soil respiration, arylsulfatase, glycosidase, dehydrogenase, FDA, acid phosphatase and metabolite quotient) and nutrient stock in order to compare the quality of soils in different areas. In this way, the study addresses the physical, chemical and microbiological attributes of the soil in different land use systems, highlighting its environmental importance. Variations in soil and particle densities were identified, influenced by the management carried out, indicating the importance of agricultural practices in soil structure and, consequently, in water retention and nutrient availability. The predominant presence of sandy soils in all areas analyzed highlights the need for special care to mitigate nutrient leaching and soil erosion, thus promoting more sustainable management of natural resources. Furthermore, soil quality was assessed considering organic matter and carbon, important for soil fertility and carbon sequestration, essential for mitigating climate change. The results indicate that areas with management systems that favor the presence of organic matter, such as well-managed pastures and integrated production systems, tend to have greater carbon stocks in the soil, contributing to the mitigation of climate change and the resilience of ecosystems. terrestrial. On the other hand, areas with human intervention, such as intensive agriculture, present challenges in relation to microbial activity and nutrient availability, highlighting the importance of sustainable agricultural practices. Soil quality analysis provides insights into ecosystem health and environmental sustainability. The adoption of agricultural practices that promote soil conservation, maintenance of biodiversity and carbon sequestration is essential to guarantee food security and the health of the planet. These considerations highlight the importance of a holistic approach to the management of natural resources, aiming to strike a balance between human needs and the preservation of the environment.

Keywords: Soil quality; Crop-livestock integration; Carbon sequestration.

1 INTRODUÇÃO

A aplicação de técnicas de manejo adequadas no solo desempenha um papel crucial na conservação da qualidade do solo e na promoção da produtividade agrícola. Essas práticas influenciam diretamente nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, com repercussões a curto, médio e longo prazo.

O manejo do solo visa não apenas garantir a qualidade física do solo para o crescimento das plantas, mas também promover a estabilidade dos agregados, regular a densidade do solo, a umidade, a aeração, a infiltração de água e a capacidade de retenção de água (Bonetti *et al.*, 2018).

No entanto, os sistemas convencionais de manejo do solo, comumente caracterizados pelo uso intensivo de maquinários e monoculturas, podem modificar negativamente a estrutura e a qualidade do solo, especialmente em solos de textura arenosa e média (Bonetti *et al.*, 2018).

Além disso, em solos de textura arenosa e média existe a dificuldade da estabilidade de agregação, maior decomposição da MOS e dificuldade de estocagem de carbono, por isso são considerados mais frágeis (Bayer *et al.*, 2006 *apud* Troian *et al.*, 2020).

Nesses solos, a estabilidade de agregação é um desafio, assim como a estocagem de carbono, devido à maior decomposição da Matéria Orgânica do Solo (MOS). No entanto, a aplicação de práticas agrícolas de conservação do solo, como os sistemas integrados de produção, pode ajudar a superar esses desafios. Esses sistemas não apenas evitam erosões e melhoram a eficiência de nutrientes, mas também promovem o aumento do estoque de carbono no solo (Carneiro *et al.*, 2020).

Segundo o autor, nesses solos, a estabilidade de agregação é um desafio, assim como a estocagem de carbono, devido à maior decomposição da Matéria Orgânica do Solo (MOS). No entanto, a aplicação de práticas agrícolas de conservação do solo, como os sistemas integrados de produção, pode ajudar a superar esses desafios. Esses sistemas não apenas evitam erosões e melhoram a eficiência de nutrientes, mas também promovem o aumento do estoque de carbono no solo.

Essas práticas envolvem sistemas de produção de forma integrada, que podem ser categorizados em quatro tipos: (i) Integração Lavoura-Pecuária (ILP) ou

sistema agropastoril - combina agricultura e pecuária em rotação, consórcio ou sucessão, na mesma área e ano agrícola ou em múltiplos anos; (ii) Integração Pecuária-Floresta (IPF) ou sistema silvipastoril - integra pastagem e animais com floresta, em consórcio; (iii) Integração Lavoura-Floresta (ILF) ou sistema silviagrícola - envolve a combinação de floresta e cultivos agrícolas através da consorciação de espécies arbóreas com cultivos agrícolas anuais ou perenes; e (iv) Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) ou sistema agrossilvipastoril - combina agricultura, pecuária e floresta em rotação, consórcio ou sucessão, na mesma área (Balbino *et al.*, 2011 *apud* Cordeiro *et al.*, 2020).

Por meio de sistemas como a ILP, existe um controle da temperatura do solo e da quantidade da umidade por meio da palhada, reduzindo a evaporação e a mineralização da Matéria Orgânica do Solo - MOS, além de um aumento do teor dessa, incrementando a formação de agregados, o que eleva a retenção de água no solo, de tamanha importância para o desenvolvimento das culturas (Moro; Alves; Tiritan, 2019).

Assim, a aplicação de técnicas de manejo adequadas para o tipo de solo se torna de grande importância, tanto para uma melhor qualidade do mesmo e aumento na produtividade das culturas, quanto agindo de forma a mitigar problemas ambientais, como o aquecimento global.

Segundo Batista (2017), a agricultura é um dos setores da economia que mais influencia no aquecimento global. Já a agropecuária é responsável por 43% das emissões de gás metano (CH₄) e 67% de óxido nitroso (N₂O), o que no Brasil, essas substâncias correspondem por 74% e 80% das emissões, respectivamente.

Com o uso de práticas conservacionistas, as plantas precisam do solo para suprir suas necessidades nutricionais e o solo precisa das plantas para ter vida. Assim, as raízes das plantas, além de auxiliarem na formação de microagregados, também contribuem com a introdução do carbono no perfil do solo (Moro; Alves; Tiritan, 2019).

Segundo o autor, a adição de matéria orgânica também é uma forma de adicionar carbono no solo, pois esta é responsável pelo aumento da CTC e consequentemente da fertilidade, além do fornecimento de carbono (C), hidrogênio (H), oxigênio (O), nitrogênio (N), fósforo (P) e enxofre (S) (Araújo, 2020). O crescimento da produtividade favorece o aumento de carbono no solo já que o

desenvolvimento das raízes e pelos radiculares melhoram a quantidade de exsudatos que são liberados (Moro; Alves; Tiritan, 2019).

Além da diminuição de carbono na atmosfera, por meio do processo natural de transferência deste gás para a MOS por meio da fotossíntese, contribuindo com a emissão de gases de efeito estufa e o sequestro de carbono, este também colabora para a recuperação do solo e dos ecossistemas degradados (Saldarriaga, 2016).

Com a recuperação dos solos, a qualidade do solo, assim como a sua produtividade e suas propriedades, tanto física, quanto química, são melhoradas. A manutenção desta qualidade envolve o modo com que esse solo é utilizado, logo, o uso e o manejo de forma inapropriada podem gerar mudanças nessas características e conseqüentemente alterar sua produtividade (Silva *et al.*, 2017).

Além de análises laboratoriais para a qualificação das propriedades físicas e químicas do solo, a vegetação nativa também se torna uma referência para essa avaliação, já que os ecossistemas naturais apresentam uma combinação entre essa cobertura e os atributos do solo por meio da ciclagem de nutrientes, acúmulo e decomposição da matéria orgânica e agregação do solo (Freitas *et al.*, 2017).

Com isso, devem ser realizadas análises para caracterização das propriedades do solo para que seja aplicadas técnicas de manejo apropriadas para determinada situação e tipo de solo, de forma a garantir práticas de cultivo que tenham uma boa produtividade, garantindo um retorno financeiro para os produtores, mas de modo que não afete a qualidade do solo e do meio ambiente.

Portanto, é essencial realizar análises detalhadas das propriedades do solo e aplicar técnicas de manejo apropriadas para garantir uma produção agrícola sustentável em solos arenosos. O uso de sistemas integrados de produção e práticas conservacionistas não apenas promove a produtividade das culturas, mas também preserva a qualidade do solo e do meio ambiente para as gerações futuras.

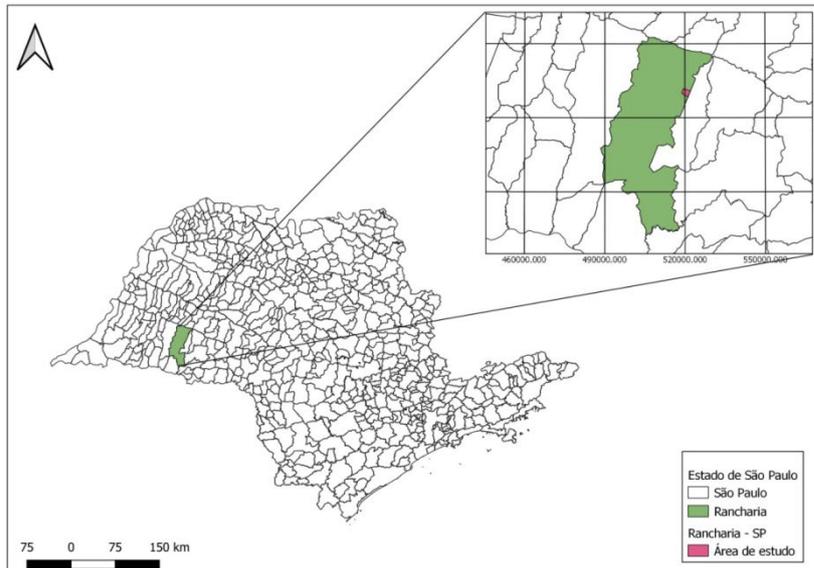
2 METODOLOGIA

2.1 Área de Estudo

A área de estudo concentra-se na Fazenda Ybyete Porã situada no Município de Rancharia a 70 km de Presidente Prudente, região Oeste do Estado de São Paulo (Figura 10), localizada a 22°09'13" S de latitude, 50°48'59" W de longitude e 514 m de altitude média. Segundo a classificação de Köeppen, o clima predominante na região é do tipo Cwa, caracterizado como mesotérmico com verão chuvoso e inverno seco.

Predominam na área solos arenosos com argila variando de 50 a 95 g.kg⁻¹ nas camadas de 0 a 20 cm, de 60 a 170 g.kg⁻¹ nas camadas de 20 a 40 cm, e 70 a 195 g.kg⁻¹ nas camadas de 40 a 60 cm, derivados dos arenitos do Grupo Bauru, formação Vale do Rio do Peixe (Fernandes; Coimbra, 2000).

Figura 10 – Croqui de localização da área de estudo no município de Rancharia.



Fonte: A autora (2021).

A fazenda é atualmente subdividida em talhões de aproximadamente 70 hectares cada e desta forma foram selecionados para esse estudo três talhões, sendo um com uso atual com culturas, um com pastagem e outro com cultura possuindo um sistema de irrigação por pivô. Na fazenda, há aproximadamente 20 anos estão sendo manejados no sistema de Integração Lavoura-Pecuária com Plantio Direto.

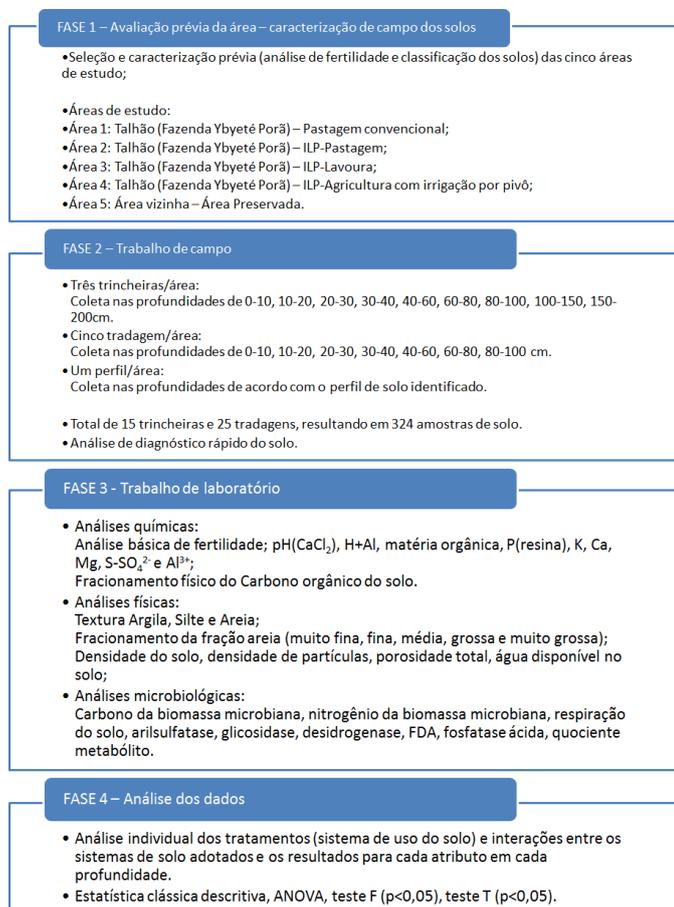
Além dessas áreas foram avaliadas duas outras áreas da fazenda, sendo uma ocupada com pastagem tradicional e uma área vizinha à fazenda, com área de vegetação natural secundária.

Assim, o estudo de caso é composto de cinco áreas com características de solo e clima semelhantes, tendo o sistema de cultivo como a principal diferença entre elas. Em cada uma das áreas de estudo foi realizada avaliação de indicadores da qualidade física, química e microbiológica do solo.

2.2 Etapas de trabalho

Para uma melhor compreensão da proposta apresentada no presente projeto, os procedimentos metodológicos foram subdivididos em quatro fases (Figura 11): 1) reconhecimento prévio das áreas de estudo; 2) trabalhos de campo; 3) trabalhos de laboratório; e 4) análises dos dados.

Figura 11 – Resumo esquemático das fases de trabalho.



Fonte: A autora (2021).

2.2.1 Reconhecimento prévio da área de estudo

O reconhecimento da área se deu num primeiro momento através de pesquisas bibliográficas sobre estudos dos solos, geologia e geomorfologia da região de estudo. Além desta revisão, foi realizado um trabalho de campo com intuito de caracterizar as cinco áreas de estudo quanto aos tipos de solos presentes e estabelecer relações solos-paisagem. Essas áreas foram quatro na Fazenda Ybyeté Porã em Rancharia – SP, sendo talhão com cultura nos anos de 2020-2021 (70 ha), outro talhão com pastagem nos anos 2020/2021 (70 ha), outra com pastagem convencional e uma com agricultura convencional, além de uma área vizinha ocupada com área de vegetação natural secundária.

Para isso foi realizado caminhamento de campo e tradagens até 1,20 metros de profundidade para observações de campo nos pedoambientes por variação da composição granulométrica por textura expedita. Amostras serão coletadas nas camadas de 0-25; 25-50 e 80-100 cm que serão submetidas à análise de atributos químicos (pH (CaCl₂), H + Al, Matéria Orgânica, P(resina), K, Ca, Mg, S-SO₄²⁻, e Al³⁺), e físico do solo: textura (areia fina, areia grossa, silte e argila) pelo método da pipeta (Teixeira *et al.*, 2017). Estas amostragens são de amostras simples e na densidade de 1 ponto para cada 15 ha em média.

2.2.2 Trabalhos de campo

Uma vez caracterizada as áreas de estudo foram então definidas os locais para alocação de abertura das trincheiras e para coleta dos pontos complementares a serem realizadas por tradagens (Figura 12). Foram abertas 03 trincheiras por área de estudo, sendo duas nas dimensões de 1x1x1,0 metros e uma de 1x1x2,0 metros (extensão, largura e profundidade) para coletas de amostras deformadas (Figura 13) nas profundidades de 0,0-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,30, 0,30-0,40, 0,40-0,60, 0,60-0,80 e 0,80-1,0 metro, seguindo metodologia descrita em Zanatta, Pulrolnik e Viana (2015).

Figura 12 – Coleta das amostras de solo dos pontos complementares, por meio da gradagem, na Fazenda Ybyeté Porã, em abril de 2022.



Fonte: A autora (2022).

Figura 13 – Coleta das amostras indeformadas de solo, na Fazenda Ybyeté Porã, em abril de 2022.



Fonte: A autora (2022).

Foram ainda realizadas para as mesmas camadas coletas de amostras deformadas (Figura 14) para análises químicas, físicas e microbiológicas. Nas maiores trincheiras, de 2m de profundidade, foi também coletado amostras de acordo com o perfil do solo identificado e suas respectivas profundidades.

Figura 14 – Coleta das amostras deformadas de solo em perfil, na Fazenda Ybyeté Porã, em abril de 2022.



Fonte: A autora (2022).

Para as coletas dos pontos complementares foram definidos 5 pontos que foram amostrados com auxílio de trado holandês nas profundidades de 0-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30; 0,30-0,40, 0,40-0,60 0,60-0,80 e 0,80-1,0 metro, para análises químicas, físicas e microbiológicas. Ainda “in situ”, próxima às áreas das trincheiras, mas em local com a estrutura preservada, ocorreu a avaliação da condutividade hidráulica do solo, utilizando um permeômetro de guelph, infiltração de água no solo com anel simples (Roose; Blancaneaux; Freitas, 1993).

Também foi avaliado a estrutura do solo utilizando blocos indeformados por meio do diagnóstico rápido da estrutura do solo – DRES, onde após a coleta foram atribuídas notas para cada camada identificada na amostra em função dos critérios de evidência de degradação ou conservação/ recuperação do solo e da proporção visual da ocorrência dos diferentes tamanhos de agregados (Figura 15).

Figura 15 – Chave para atribuição das notas de qualidade estrutural de cada camada da amostra de solo (Q_{ec}) da Embrapa

Condição inicial	(C)	Camadas da amostra com evidências de conservação/recuperação			Camadas da amostra com evidências de degradação	
Q_{ec}	$Q_{ec} = 6$	$Q_{ec} = 5$	$Q_{ec} = 4$	$Q_{ec} = 3$	$Q_{ec} = 2$	$Q_{ec} = 1$
Tamanho do agregado e % na amostra	Mais de 70% de agregados com 1 a 4 cm	50 a 70% de agregados de 1 a 4 cm	Menos de 50% de agregados de 1 a 4 cm	Menos de 50% de agregados menores que 1 cm e maiores que 7 cm	50 a 70 % de agregados menores que 1 cm e maiores que 7 cm	Mais de 70% de agregados menores que 1 cm e maiores que 7 cm
Características da estrutura	Estrutura friável, agregados muito grumosos e porosos, com atividade biológica alta. Raízes abundantes e bem distribuídas na camada avaliada, sem deformações ocasionadas por impedimentos físicos, crescendo através dos agregados.	Estrutura friável, agregados grumosos e porosos, com mediana atividade biológica. Raízes bem distribuídas na camada avaliada, podendo apresentar poucos sinais de restrição ao crescimento. As raízes crescem predominantemente através dos agregados.	Estrutura friável, pouco grumosa, pouco porosa e fraca atividade biológica. Raízes podem apresentar algum impedimento ao desenvolvimento.	Estrutura coesa nos agregados grandes, e muito solta entre os agregados menores que 1 cm. Predomínio de agregados com faces planas, com poucos poros e atividade biológica. Pode apresentar raízes achatadas com dificuldade para desenvolvimento pleno na camada avaliada.	Estrutura coesa nos agregados grandes, e muito solta entre os agregados menores que 1 cm. Predomínio de agregados com faces planas, com alguns poros e pouca atividade biológica. Desenvolvimento radicular limitado, com predomínio de raízes achatadas com dificuldade para penetração no interior dos agregados.	Estrutura coesa nos agregados grandes, e muito solta entre os agregados menores que 1 cm. Predomínio de agregados com faces planas, sem poros visíveis e atividade biológica. Forte restrição ao desenvolvimento radicular, com predomínio de raízes achatadas, crescendo preferencialmente nas fissuras entre os agregados.

Fonte: RALISCH, et al. (2017).

Após a atribuição das notas, variando de 1 a 6, estas serviram de base para cálculo do Índice de Qualidade Estrutural do Solo - IQES de cada área (Ralisch et al., 2017).

Para o cálculo do IQES, utilizou-se a eq. (5):

$$IQES = \frac{(E_{c1} * Q_{ec1}) + (E_{c2} * Q_{ec2}) + (E_{c3} * Q_{ec3})}{E_{total}} \quad (5)$$

Onde E_c é a espessura de cada camada, em cm, Q_{ec} é a nota de qualidade estrutural atribuída à cada camada e E_{total} é a espessura/profundidade total da amostra (25cm) (Ralisch et al., 2017).

2.2.3 Trabalhos de Laboratório

2.2.3.1 Análises físicas do solo

Sucedeu-se às análises granulométricas para todas as amostras coletadas (Trincheiras e Tradagens – total de 324 amostras). Foi utilizado o método da pipeta para quantificação do silte e da argila, com agitação lenta da TFSA por 16 h e 50 rpm em agitador tipo Wagner, a fração areia foi separada das frações finas (silte e argila) por peneira de 0,053mm, e a fração areia foi fracionada: areia muito grossa

(AMG): 2 - 1,00 mm; areia grossa (AG): 1,00- 0,50 mm; areia média (AM): 0,50 - 0,210 mm; areia fina (AF): 0,210 - 0,125mm e areia muito fina (AMF): 0,125 - 0,053 mm (Figura 16). O silte foi separado da fração argila por sedimentação, com a medição da temperatura da suspensão e respeitado o tempo de sedimentação do silte para a respectiva temperatura (Teixeira *et al.*, 2017). Realizou-se a determinação do conteúdo de água no solo pelo método gravimétrico (Teixeira *et al.*, 2017), para amostras dos pontos complementares, nas profundidades: 0-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30; 0,30-0,40; 0,40-0,60; 0,60-0,80 e 0,80-1,0 m.

Figura 16 – Separação granulométrica das frações da areia, realizada no laboratório de solos da UNOESTE, entre abril e setembro de 2022.



Fonte: A autora (2022).

Procedeu-se ainda para todas as amostras de indeformadas as análises de densidade do solo (eq. 6), densidade de partículas por meio do método do balão volumétrico (eq. 7), e calculou-se o volume total de poros – VTP (eq. 8). Para todos os itens, seguiu as metodologias descritas por Teixeira *et al.* (2017).

$$D_s = \frac{M_s}{V_s} \quad (6)$$

Em que: D_s = densidade do solo (kg dm^{-3} equivalente a g cm^{-3}); M_s = massa da amostra de solo seco (g); V_s = volume do solo (cm^3).

$$D_p = \frac{M_s}{(V_t - V_u)} \quad (7)$$

Em que: D_p = densidade de partículas (kg dm^{-3} equivalente a g cm^{-3}); M_s = massa da amostra (g); V_T = volume total aferido do balão (ml); e V_u = volume utilizado para completar o balão com a amostra (ml).

$$VTP = \left(1 - \frac{D_s}{D_p}\right) \times 100 \quad (8)$$

Em que: VTP = Volume total de poros (%); D_p = densidade de partículas sólidas do solo (kg dm^{-3}); e D_s = densidade do solo (kg dm^{-3}).

2.2.3.2 Análises do solo para fins de caracterização da fertilidade

Todas as amostras deformadas coletadas foram encaminhadas para análise de fertilidade pH (CaCl_2), H + Al, Matéria Orgânica, $P_{(\text{resina})}$, K, Ca, Mg, S-SO_4^{2-} , e Al^{3+}). As análises de fertilidade do solo foram realizadas de acordo com os padrões do Estado de São Paulo (Raij, 2001).

Também foi realizada, para todas as amostras, análise do fracionamento físico da matéria orgânica (Figuras 17 e 18). O fracionamento das amostras ocorreu de acordo com Cambardella e Elliot (1992). Após o fracionamento físico do carbono (C) do solo, as amostras foram submetidas à determinação do carbono total de acordo com Yeomans e Bremner (1988). Já o estoque de carbono (EC) foi calculado a partir dos teores de carbono orgânico total da densidade do solo nas camadas amostradas, de acordo com a eq. (9), seguindo a metodologia descrita por Fernandes e Fernandes (2009). Em seguida, os estoques foram corrigidos pelo método de massa equivalente (Sisti *et al.*, 2004), usando a densidade da área de vegetação natural secundária como referência, para evitar possíveis distorções ocasionadas pela compactação nas áreas cultivadas. Seguindo o mesmo cálculo de estoque de carbono, também foram definidos os estoques de nutrientes no solo.

$$EC = \frac{COP \times D_s \times h}{10} \quad (9)$$

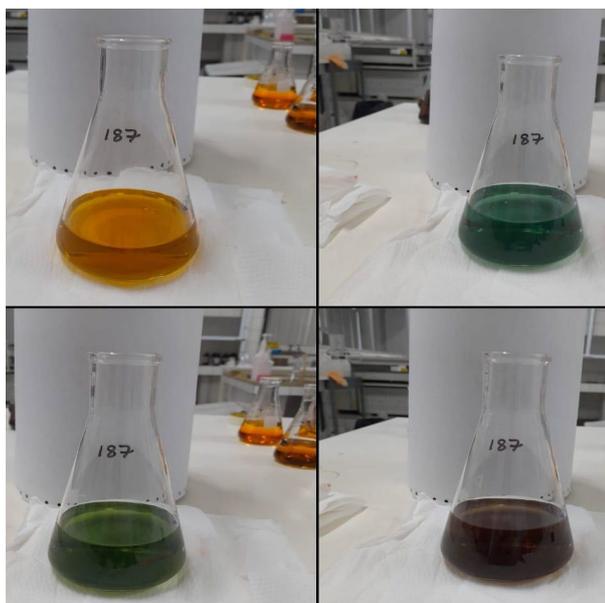
Em que: EC: é estoque de carbono (Mg ha^{-1}); COP = teor de C orgânico total na profundidade amostrada (g.kg^{-1}); D_s = densidade do solo da profundidade (kg.dm^{-3}); e h = espessura da camada considerada (cm).

Figura 17 – Análise física da matéria orgânica por meio do Bloco digestor, realizada no laboratório de solos da UNOESTE, entre abril e setembro de 2022.



Fonte: A autora (2022).

Figura 18 – Etapas da titulação para o fracionamento físico da matéria orgânica (iniciando com a solução laranjada, passando para azul e verde e finalizando a titulação com a solução de cor marrom), realizada no laboratório de solos da UNOESTE, entre abril e setembro de 2022.



Fonte: A autora (2022).

2.2.2.3 Análises microbiológicas do solo

Os parâmetros microbiológicos foram analisados para as amostras coletadas na camada de 0-10 cm via tradagens, e correspondem a respiração basal do solo, análise de carbono e nitrogênio da biomassa microbiana, quociente metabólico (q_{CO_2}), atividade enzimática da desidrogenase, atividade da fosfatase, β -glucosidase, atividade da arilsulfatase e FDA.

Análise de respiração do solo

A respiração do solo foi avaliada segundo Alef e Nanipieri (1995), sendo utilizadas amostras de 50g de solo homogeneizadas e mantidas dentro de frascos herméticos. Sobre a superfície do solo, em cada frasco foi colocado um becker de 50 ml, contendo 40 ml de solução de NaOH 0,5 mol L⁻¹. Os frascos foram incubados pelo período de 24 horas. Para avaliar a retenção de CO₂ na solução, utilizou o método condutimétrico (Rodella; Saboya, 1999) com leitura de condutividade na solução de NaOH após 24 horas, empregando-se um condutivímetro HI99301 (Hanna instruments). A quantidade de CO₂ produzida pela respiração foi calculada utilizando-se fórmula definida por Rodella e Saboya (1999) e os resultados, expressos em mg de C-CO₂ g⁻¹ h⁻¹.

Análise do carbono e nitrogênio da biomassa microbiana

A análise de biomassa microbiana do solo - BMS foi realizada em duplicata, utilizando a metodologia descrita por Ferreira, Camargo e Vidor (1999), onde o solo foi seco em estufa com ventilação a 30° C por 24 horas, e depois peneirado em malha de 2,0 mm. Na etapa seguinte, duas amostras de 50 g de cada tratamento serão pesadas em erlenmeyer de 250 ml e reumedecidas com 3 ml de água destilada para atingir aproximadamente 25% da capacidade de campo de um solo arenoso (Reichardt, 1988), agitadas para uniformizar a distribuição da umidade e colocada 1 amostra de cada tratamento para irradiar no microondas por um tempo que foi determinado pela eq. (10):

$$P = \frac{(r*mt)}{P} \quad (10)$$

Onde, T = refere-se ao tempo real de exposição das amostras ao microondas; R = 800J g⁻¹ de solo, quantidade de energia necessária para exposição; m_t = a massa total das amostras a serem irradiadas em gramas; e P = potência real do aparelho em W.

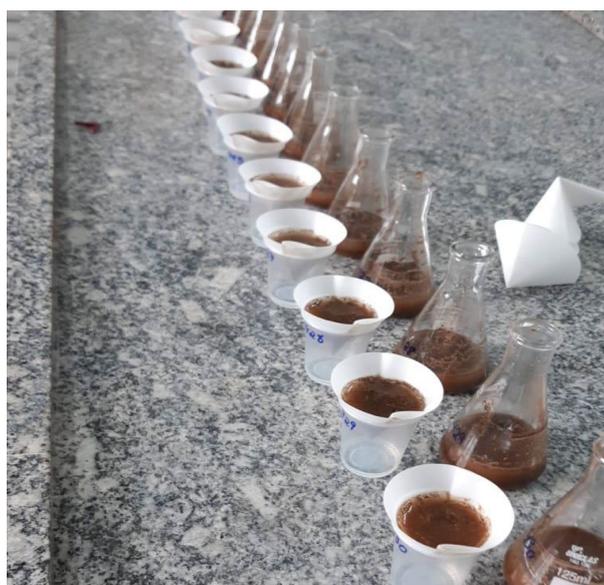
A potência real do aparelho foi calculada pela eq. (11):

$$P = \frac{(Cp*K*\Delta t*m)}{T} \quad (11)$$

Onde, P refere-se à potência real do aparelho em W; Cp = 1 J ml⁻¹ °K⁻¹, capacidade da água de receber calor; K = 4,184, fator de correção de cal m⁻¹ ° K⁻¹ para watts (J s⁻¹); Δt = variação de temperatura em °C de 1 L de água em 2 minutos de exposição; m = 1000 g, massa da água em gramas; e t = 120 s, tempo de exposição da água ao micro-ondas.

As amostras irradiadas e não irradiadas foram submetidas à extração com 50 ml de sulfato de potássio - K₂SO₄ (0,5 mol L⁻¹) por 30 minutos, em agitador rotatório circular, deixadas decantar e filtradas em papel tipo faixa azul de filtração lenta (Figura 19).

Figura 19 – Filtração das amostras para análise de carbono e nitrogênio da biomassa microbiana, realizada no laboratório de solos da UNOESTE, entre abril e setembro de 2022.



Fonte: A autora (2022).

A determinação do carbono nos extratos irradiados e não irradiados foi realizada utilizando 10 ml do extrato, oriundo dos 50 ml após filtração, e adicionando em seguida 2 ml de $K_2Cr_2O_7$ ($0,066 \text{ mol L}^{-1}$), 10 ml de H_2SO_4 concentrado e 5 ml de H_3PO_4 concentrado. Após o resfriamento, adicionou-se 50 ml de água destilada. A titulação ocorreu com a utilização do sulfato ferroso amoniacal ($0,04 \text{ mol L}^{-1}$) com fenilalanina como indicador (Figura 20).

Figura 20 – Amostras após a adição do indicador, para determinação de carbono da biomassa microbiana, realizada no laboratório de microbiologia do solo da UNOESTE, entre abril e maio de 2022.



Fonte: A autora (2022).

O C extraído do solo foi calculado pela eq. (12):

$$C(\text{mgKg}^{-1}) = \frac{(V_b - V_a) \cdot N \cdot 1000 \cdot V_{\text{extrator}}}{(\text{volumedoextrato} \cdot \text{MSS})} \quad (12)$$

Onde, C refere-se ao carbono extraído do solo; V_b é o volume (ml) do $(NH_4)_2Fe(SO_4)_2$ gasto na titulação do branco; V_a é o volume (ml) do $(NH_4)_2Fe(SO_4)_2$ gasto na titulação da amostra; N é a normalidade exata do $(NH_4)_2Fe(SO_4)_2$, $N = 0,677$; V_{extrator} é o volume de K_2SO_4 utilizado na extração = 50 ml; V_{extrato} é o Volume de K_2SO_4 utilizado para análise = 10 ml; e MSS é a massa do solo seco em gramas = 50 g.

O C_{mic} foi calculado pela eq. (13):

$$C_{mic}(\text{mgKg}^{-1}) = \frac{(C_I - C_{NI})}{K_{ec}} \quad (13)$$

Onde, C_i refere-se ao carbono extraído do solo irradiado; C_{NI} ao carbono extraído do solo não irradiado; K_{ec} é a proporção total do carbono microbiano extraído após irradiação = 0,21 (Frighetto, 2000).

O fator de correção K_{ec} citados na literatura é variável (0,21 a 0,45), não havendo um consenso a respeito do valor que foi utilizado. Neste trabalho, adotou-se o valor de 0,21 (Frighetto, 2000).

O nitrogênio da biomassa microbiana (N_{mic}) foi determinado de acordo com a metodologia descrita por Joergensen e Brookes (1990). Para proceder esta análise, utilizou-se o mesmo extrato do C_{mic} , a partir de 0,6 ml do extrato adicionado a um tubo de ensaio. Junto ao extrato foi adicionado 1,4 ml de ácido cítrico ($0,2 \text{ mol L}^{-1}$) a pH 5,0 e 1 ml do reagente ninidrina. Os tubos foram incubados á $100 \text{ }^\circ\text{C}$, em banho-maria, por 25 minutos. Após esfriamento, adicionou-se 4 ml da mistura etanol:água (1:1), para posterior leitura no espectrofotômetro a 570 nm.

Quociente metabólico ($q\text{CO}_2$)

O quociente metabólico é a razão entre o C- CO_2 liberado pela respiração do solo pelo C na biomassa microbiana, expresso em $\text{mg C-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ BMS} - \text{C h}^{-1}$ (Anderson; Domsch, 1993).

Atividade da enzima desidrogenase

A atividade da enzima desidrogenase, estimada segundo Van Os e Ginkel (2001), foi realizada em triplicatas, a partir de 5 g de solo de cada amostra acondicionadas em tubos de ensaio. Posteriormente, foram adicionados 2 ml da solução T.T.C a 1%, juntamente com 1 ml de glicose a 0,1%. Na amostra “branco” foi adicionada 1 ml de glicose a 0,1% e 2 ml da solução tampão tris a 0,1 M (pH = 7,6). As amostras foram misturadas em agitador tipo VORTEX e incubadas em tubo de ensaio a $30 \text{ }^\circ\text{C}$ por 18 h. Após a incubação, foram adicionados 9 ml de metanol em todas as amostras, e logo em seguida filtradas para a realização da leitura no espectrofotômetro em 530 nm. Os resultados foram ajustados em curva padrão e expressos na forma de concentração de TTF - formazan (ug.g^{-1}).

Atividade das enzimas fosfatases ácidas e alcalinas

A determinação da atividade das fosfatases ácida e alcalina foi efetuada de acordo com o método preconizado por Alef e Nannipieri (1995). O método fundamenta-se na análise da concentração de p-nitrofenol resultante da hidrólise enzimática de p-nitrofenil fosfato. Em 0,15 g de solo foram adicionados tampão pH 6,5 para análise da fosfatase ácida e tampão pH 11,0 para análise da fosfatase. Para ambas as enzimas, foram adicionados 0,12 ml de p-nitrofenil fosfato 0,05 M com vigorosa homogeneização e posterior incubação durante 1 hora a 37°C. Posteriormente, em cada amostra foram adicionados 0,5 ml da solução de reagentes para colorimetria e foram centrifugadas a 8.000 g por 5 minutos e as leituras foram realizadas em espectrofotômetro a 400 nm. A concentração de p-nitrofenol presente em cada amostra foi determinada com base na curva padrão (0;2;5;7,5;10 g de p-nitrofenol/ml).

Análise da β -glucosidase

A atividade de β -glucosidase foi descrita segundo a metodologia proposta por Tabatabai (1994). Em erleyneymeyers foram misturados, por agitação, 1 g de solo, 4 ml do tampão MUB pH 6 e 1 ml da solução PNG. Os tubos foram tampados e colocados em banho-maria a 37° C por 1 hora. Depois, foram adicionados 1 ml de CaCl_2 0,5 M e 4 ml de THAM 0,1M pH 12, seguido de agitação. O meio foi filtrado em papel filtro com auxílio de um funil de vidro, e a quantidade p-Nitrofenol (pNP) presente no filtrado determinada a intensidade da cor amarela no espectrofotômetro a 420 nm.

Análise da arilsulfatase

A atividade da arilsulfatase foi determinada segundo a metodologia proposta por Tabatabai e Bremner (1970). Em Erlenmeyer de 50 ml foram adicionados 1 g de solo, 4 ml de tampão acetato de sódio pH 5,8 e 1 ml de solução de PNS 50 mM preparada no tampão. Os frascos foram fechados, agitados manualmente e incubados na incubadora por 1 h a 37°C. Após este período, foram imediatamente adicionados 1 ml de CaCl_2 0,5 M e 4 ml de NaOH 0,5 M seguido de agitação. O meio

reacional foi filtrado em papel de filtro qualitativo e a quantidade de p-nitrofenol presente no filtrado, determinada colorimetricamente a 410 nm, após o preparo da curva padrão de p-nitrofenol.

Método de hidrólise do diacetato de fluoresceína – FDA

A atividade hidrolítica do FDA foi estimada segundo Swisher e Carroll (1980). Amostras de 5 g de solo foram transferidas para erlenmeyer (125 ml) juntamente com 20 ml de tampão fosfato de potássio pH 7,6 e 0,2 ml de solução estoque de FDA (2 mg mL^{-1} acetona). A reação é interrompida pela adição de 20 ml de acetona após incubação a 25°C por 20 minutos sob agitação (150 rpm). As suspensões de solo foram filtradas e a leitura realizada em espectrofotômetro a 490 nm (Figura 21).

Figura 21 – Filtração das amostras para análise de FDA, realizada no laboratório de microbiologia do solo da UNOESTE, entre abril e maio de 2022.



Fonte: A autora (2022).

2.2.4 Análises dos dados

Para cada atributo foi realizada descritiva auxiliada pela estatística clássica (máximo, mínimo, média, desvio padrão, coeficiente de variação).

Realizou-se a análise de variância (ANOVA) de cada variável (química, física e microbiológica), considerando significativo os fatores sistema de uso do solo e profundidade, e suas interações à $p < 0,05$ pelo teste de F.

Os efeitos de cada um dos níveis do fator sistema de uso do solo foram desdobrados, assim como da profundidade pelo teste t a $p < 0,05$. Sendo assim, as médias de cada uma das variáveis foram agrupadas considerando os efeitos dos níveis do sistema de uso do solo dentro de cada profundidade. Igualmente, as médias foram comparadas em cada nível do fator profundidade para cada sistema de uso do solo. Todos os procedimentos estatísticos foram realizados com auxílio do software R.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Atributos Físicos do Solo

Juntamente com as coletas das amostras de solo foi realizada nas trincheiras, a coleta para o Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo - DRES, onde o mesmo foi separado por suas características detectadas visualmente dos seus agregados e desta forma foi possível verificar as evidências de degradação ou conservação do solo (Figura 22).

Na imagem abaixo é possível verificar a diferença de tamanho de aglomerados no perfil de solo coletado e a diferença entre as áreas estudadas. Na área ocupada com pasto com integração lavoura-pecuária – YP2 os aglomerados são mais uniformes do que as outras áreas, além de possuir maior quantidade de raízes, indicando uma área de conservação ou recuperação.

Na área de vegetação natural secundária – YP5 as raízes existentes são maiores, ou seja, mais profundas, e apresenta transição gradual entre as camadas, possuindo também evidências de área de conservação ou recuperação.

O resultado obtido em YP3, área de cultura com integração lavoura-pecuária, evidencia uma área com poucas raízes, com grande quantidade de palhada sobre o solo, além de possuir aglomerados maiores em profundidade, indicando uma área que não possui alto grau de compactação.

Já nas áreas YP1 e YP4, pasto e área de agricultura ILP irrigada com pivô respectivamente, há um pouco mais de raízes, mas com indícios de alto grau de compactação, pois possuem aglomerados menores em todas as suas camadas.

Este resultado também é encontrado por Rodrigues (2021), obtendo maiores resultados em uma área de floresta nativa, seguido de uma área de cultivo com sistema alternativo e menores valores, para as áreas de pastagem.

Figura 22 – Análise do Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo – DRES, realizada na Fazenda Ybyeté Porã, em abril de 2022.



Fonte: A autora (2022).

Os resultados de DRES obtidos da área de pasto convencional e de cultura com sistema de integração lavoura-pecuária – ILP possuíram semelhança estatística entre si (Tabela 9), e também apresentaram o mesmo resultado em relação ao Índice de Qualidade Estrutural do Solo – IQES (Tabela 10), onde apenas a área de vegetação natural secundária se destacou, com qualidade muito boa.

Tabela 9 - Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo – DRES em função do sistema de cultivo.

Tratamento	DRES
Pasto	3,60c
Pasto ILP	4,59b
Cultura ILP	3,16c
Pivô ILP	2,38d
Área de vegetação natural secundária	5,58a
F	70,02**
C.V. (%)	6,67
D.P.	1,25

Fonte: A autora (2023)

Nota: ns – não 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..

Tabela 10 – Índice de Qualidade Estrutural do Solo – IQES de cada área.

Tratamento	IQES	Qualidade estrutural
Pasto	3,80	Regular
Pasto ILP	4,55	Boa
Cultura ILP	3,05	Regular
Pivô ILP	2,39	Ruim
Área de vegetação natural secundária	5,58	Muito boa

Fonte: A autora (2023)

Em relação à umidade do solo (Tabela 11), nenhum dos tipos de uso apresentou diferença estatística em relação a este fator e em todas as profundidades analisadas. Nenhuma dessas áreas apresentava locais com solo exposto, fator este que pode justificar esta igualdade dos resultados (Barbieri *et al.*, 2022).

Contrário a este, foi observado por Silva *et al.* (2022), onde analisou áreas de diferentes manejos e estas apresentaram maiores valores para área de floresta, quando comparado com sistemas agroflorestais.

Tabela 11 - Umidade do solo (%) em função do sistema de cultivo e da profundidade

Tratamento	Umidade 0-20	Umidade 20-40	Umidade 40-60
Pasto	13,48	11,36	8,66
Pasto ILP	6,76	7,71	10,74
Cultura ILP	6,60	8,03	10,27
Pivô ILP	7,69	8,10	8,76
Área de vegetação natural secundária	16,57	10,66	11,44
F	1,18ns	3,06ns	1,31ns
C.V. (%)	70,74	18,35	18,58
D.P.	4,54	1,70	1,23

Fonte: A autora (2023)

Nota: ns – não significativo a 5% 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..

Os resultados de densidade do solo, densidade de partícula e densidade total estão apresentados na Tabela 12. Os valores de densidade do solo diferem em todas as profundidades, exceto de 0-10, 60-80 e 80-100 cm. Já nas profundidades de 10-20 e 30-40 cm foram encontradas diferenças entre os resultados de densidade total. Os resultados de densidade de partícula não distinguiram entre as áreas analisadas, indicando que se trata de áreas com mesma composição estrutural mineralógica, sendo as diferenças de densidade do solo e densidade total, encontrados devido ao manejo realizado no local (Martins *et. al.*, 2019).

Na área de agricultura ILP irrigada com pivô, as raízes das plantas se desenvolvem melhor do que áreas que não recebem irrigação constante, o que faz com que essas raízes influenciem na densidade do solo e também na densidade total, tornando assim os resultados dessa área e da área de vegetação natural secundária semelhantes (Suzuki *et al.*, 2021).

Tabela 12 - Densidade do solo (g/cm^3), densidade de partícula (g/cm^3) e densidade total (%) do solo em função do sistema de cultivo e da profundidade.

Tratamento	Densidade do Solo	Densidade de Partícula	Densidade Total	Tratamento	Densidade do Solo	Densidade de Partícula	Densidade Total
0-10 cm				40-60 cm			
Pasto	1,24	2,54	51,50	Pasto	1,61a	2,83	43,00
Pasto ILP	1,37	2,65	48,20	Pasto ILP	1,57ab	2,86	44,99
Cultura ILP	1,37	2,61	46,90	Cultura ILP	1,58ab	2,68	40,86
Pivô ILP	1,42	2,55	43,40	Pivô ILP	1,49bc	2,73	45,41
A.V.N.S.	1,36	2,68	49,10	A.V.N.S.	1,44c	2,79	48,14
F	0,96ns	0,27ns	0,51ns	F	9,01**	0,97ns	2,67ns
C.V. (%)	9,17	7,61	15,09	C.V. (%)	2,65	4,54	6,49
D.P.	0,07	0,06	2,99	D.P.	0,07	0,07	2,73
10-20 cm				60-80 cm			
Pasto	1,52ab	2,66	43,03ab	Pasto	1,59	2,67	40,12
Pasto ILP	1,60ab	2,65	39,58ab	Pasto ILP	1,58	2,74	42,42
Cultura ILP	1,65a	2,65	37,46b	Cultura ILP	1,52	2,91	47,43
Pivô ILP	1,46b	2,69	45,48a	Pivô ILP	1,50	2,79	46,37
A.V.N.S.	1,54ab	2,74	43,87ab	A.V.N.S.	1,47	2,69	45,15
F	5,84*	0,20ns	4,23*	F	3,81ns	1,39ns	2,59ns
C.V. (%)	3,39	5,72	6,6	C.V. (%)	2,92	4,89	7,28
D.P.	0,07	0,04	3,28	D.P.	0,05	0,09	2,99
20-30 cm				80-100 cm			
Pasto	1,59a	2,73	41,55	Pasto	1,56	2,77	43,42
Pasto ILP	1,58a	2,75	42,59	Pasto ILP	1,53	2,59	40,89
Cultura ILP	1,63a	2,74	40,34	Cultura ILP	1,56	2,78	43,97
Pivô ILP	1,52ab	2,64	41,97	Pivô ILP	1,44	2,66	45,72
A.V.N.S.	1,41b	2,55	44,57	A.V.N.S.	1,50	2,75	45,15
F	11,51**	0,65ns	0,39ns	F	1,51ns	2,56ns	0,73ns
C.V. (%)	2,79	6,8	10,19	C.V. (%)	4,78	3,32	8,73
D.P.	0,08	0,08	1,56	D.P.	0,05	0,08	1,88
30-40 cm							
Pasto	1,60a	2,74	41,61b				
Pasto ILP	1,54a	2,66	42,02b				
Cultura ILP	1,60a	2,70	40,84b				
Pivô ILP	1,53ab	2,73	43,78b				
A.V.N.S.	1,43b	2,82	49,19a				
F	10,04**	1,41ns	9,80**				
C.V. (%)	2,47	3,07	4,28				
D.P.	0,07	0,06	3,36				

Fonte: A autora (2023)

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., Área de vegetação natural secundária – A.V.N.S.

Como se pode observar nos resultados presentes na Tabela 13, os valores de areia total são superiores aos de silte e argila, constatando a presença de solos arenosos em todas as áreas de estudo. Em função de a região possuir Latossolos e Argissolos, há aumento de argila em profundidade, característico destes solos (Barbosa *et al.*, 2022), exceto na área de vegetação natural secundária, onde os valores de argila foram maiores em todas as profundidades analisadas.

Tabela 13 - Atributos físicos do solo em função de diferentes sistemas de cultivo e da profundidade.

Tratamento	Areia Total	Silte	Argila	Tratamento	Areia Total	Silte	Argila
0-10 cm				40-60 cm			
Cultura ILP	819ab	99,8ab	81,1b	Cultura ILP	751a	125	125b
Pasto	789b	131,2a	80,3b	Pasto	730ab	143	126b
Pasto ILP	829a	95,8ab	75,7b	Pasto ILP	756ab	126	118b
Pivô ILP	843a	78,7b	78,7b	Pivô ILP	759a	127	114b
A.V.N.S.	78b	100,2ab	113,1a	A.V.N.S.	682b	151	167a
F	7,70**	5,97**	14,1**	F	13,1**	4,05ns	8,48**
C.V. (%)	4,26	29,51	23,02	C.V. (%)	6,56	20,73	23,06
D.P.	34,69	29,68	19,70	D.P.	48,28	27,83	29,87
10-20 cm				60-80 cm			
Cultura ILP	833ac	87,5	78,7b	Cultura ILP	705a	143ab	152b
Pasto	802c	108,4	89,4b	Pasto	678ab	158ab	164ab
Pasto ILP	839a	82,4	78,6b	Pasto ILP	696a	138ab	166ab
Pivô ILP	835a	85,4	79,6b	Pivô ILP	738a	115b	147b
A.V.N.S.	756b	111,3	133,0a	A.V.N.S.	612b	192a	195a
F	42,2**	4,36ns	18,7**	F	4,25*	4,02*	5,59**
C.V. (%)	4,73	24,39	28,15	C.V. (%)	9,58	35,91	17,04
D.P.	38,47	23,13	25,77	D.P.	65,82	53,37	27,99
20-30 cm				80-100 cm			
Cultura ILP	812a	100,9b	86,7b	Cultura ILP	702a	141	157bc
Pasto	784a	124,5ab	91,5b	Pasto	692a	137	171ac
Pasto ILP	815a	93,2b	91,4b	Pasto ILP	693a	143	164bc
Pivô ILP	815a	98,0b	87,3b	Pivô ILP	725a	127	148b
A.V.N.S.	719b	136,4a	144,5a	A.V.N.S.	651b	155	194a
F	40,6**	6,13**	9,78**	F	21,5**	2,64ns	8,47**
C.V. (%)	5,81	24,25	29,24	C.V. (%)	5,31	20,94	13,33
D.P.	45,87	26,75	29,23	D.P.	36,82	29,35	22,17
30-40 cm							
Cultura ILP	797ac	105	98,6b				
Pasto	766c	133	101,3b				
Pasto ILP	810a	103	87,1b				
Pivô ILP	793ac	109	97,9b				
A.V.N.S.	708b	137	154,9a				
F	37,6**	5,17ns	27,6**				
C.V. (%)	6,00	23,13	26,78				

D.P.	46,51	27,09	28,85
------	-------	-------	-------

Fonte: A autora (2023)

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. Areia total (g/kg); silte (g/kg); argila (g/kg), Coeficiente de variação - C.V., Desvio Padrão - D.P., Área de vegetação natural secundária – A.V.N.S.

Além de estas áreas possuírem solos arenosos, estas são compostas por diferentes proporções das frações de areia (areia muito grossa, grossa, média, fina e muito fina), predominando a fração fina, referente a grãos entre 0,125 e 0,054 mm em todas as áreas analisadas (Tabela 14).

Estes resultados também são encontrados por Silva *et al.* (2020), e que ressalta que a ocupação dos espaços vazios entre as partículas maiores pode resultar em um adensamento do solo e também na diminuição dos espaços porosos, influenciando na retenção e disponibilidade de água para as plantas.

Tabela 14 - Fracionamento de areia em função do sistema de cultivo e da profundidade.

Tratamento	P. 1	P. 0,5	P. 0,250	P. 0,212	P. 0,125	P. 0,053	Restante
0-10 cm							
Cultura ILP	8,17ab	5,68b	191ab	108,6a	325a	173ab	2,38
Pasto	12,18a	6,62ab	155b	79,8b	308a	211a	2,87
Pasto ILP	12,55a	6,67ab	186ab	101,3ab	324a	176ab	4,04
Pivô ILP	3,12bc	5,86b	209a	109,0a	331a	160b	3,75
A.V.N.S	8,72ac	9,76a	203a	85,0ab	270b	200a	4,88
F	11,6**	3,08*	4,99**	6,29*	27,9**	4,56*	1,24ns
C.V. (%)	74,21	39,44	17,14	21,67	9,34	18,02	65,06
D.P.	6,53	2,72	32,44	21,03	29,15	33,03	2,33
10-20 cm							
Cultura ILP	4,37	4,87b	199a	99,1ac	340a	176ab	2,12
Pasto	5,53	4,87b	147b	84,3bc	327a	207a	3,28
Pasto ILP	6,81	5,64ab	207a	117,4a	317a	177ab	1,88
Pivô ILP	4,35	6,36ab	211a	107,6a	326a	166b	2,61
A.V.N.S	5,73	8,47a	201a	76,7b	256b	200ab	4,91
F	0,30ns	2,95*	7,39**	15,6**	92,1**	4,67*	1,21ns
C.V. (%)	92,45	41,23	15,56	21,59	11,29	16,39	94,81
D.P.	4,93	2,49	30,11	21,00	35,38	30,31	2,80
20-30 cm							
Cultura ILP	2,09	4,24b	188c	100,9a	332a	174bc	2,54
Pasto	2,80	3,98b	151b	82,8b	310a	217a	3,78
Pasto ILP	3,68	4,52ab	179c	98,9a	329a	188ab	3,59
Pivô ILP	2,67	5,21ab	213a	101,1a	320a	158c	1,91
A.V.N.S	4,92	7,11a	189ac	77,1b	241b	189ab	3,68
F	0,75ns	3,47*	8,18**	15,0**	80,6**	8,17**	1,39ns
C.V. (%)	91,84	42,45	14,29	15,80	12,47	14,99	77,21
D.P.	2,96	2,13	26,40	14,59	38,22	27,69	2,37
30-40 cm							
Cultura ILP	1,64	4,36b	190b	101,3a	319a	170ab	2,17ab
Pasto	3,07	4,03b	137c	83,9ab	304a	197a	5,56ab

Tratamento	P. 1	P. 0,5	P. 0,250	P. 0,212	P. 0,125	P. 0,053	Restante
30-40 cm							
Pasto ILP	1,76	4,10b	181b	97,3ab	320a	183a	3,39a
Pivô ILP	1,26	5,26ab	219a	105,5a	303a	138b	1,42b
A.V.N.S	3,30	7,01a	182b	75,2b	239b	190a	4,81ab
F	1,51ns	5,54*	25,1**	12,5**	112,0**	5,84**	3,95*
C.V. (%)	87,96	36,47	17,92	21,20	11,11	19,29	89,45
D.P.	1,92	1,81	32,71	19,70	32,99	33,74	3,06
40-60 cm							
Cultura ILP	3,56	4,75	178a	103,3a	295a	154ab	2,93ab
Pasto	3,17	3,86	129b	79,2b	288a	170ab	6,64a
Pasto ILP	2,73	4,82	174a	92,3ab	295a	177ab	2,20b
Pivô ILP	2,30	5,65	203a	90,7ab	294a	148b	2,34b
A.V.N.S	2,11	7,11	170a	71,2b	228b	193a	4,90ab
F	0,36ns	1,90ns	16,5**	8,33**	38,2**	9,40**	3,68*
C.V. (%)	101,02	51,86	20,95	20,66	11,73	20,53	81,39
D.P.	2,79	2,72	35,98	18,06	32,88	34,47	3,06
60-80 cm							
Cultura ILP	2,29	4,04ab	158ab	87,8a	302a	141b	1,74b
Pasto	2,23	3,81b	126b	68,1b	264b	187ab	4,34ab
Pasto ILP	1,63	3,58b	157ab	88,0a	269ab	157ab	1,86b
Pivô ILP	2,15	5,10ab	192a	91,1a	282ab	150ab	2,52b
A.V.N.S	2,91	6,41a	154b	68,0b	217c	192a	5,53a
F	0,53ns	3,44*	14,8**	11,5***	42,0**	6,60**	3,63*
C.V. (%)	82,52	42,39	20,62	19,21	13,80	23,63	77,68
D.P.	1,85	1,95	32,61	15,53	36,87	38,97	2,47
80-100 cm							
Cultura ILP	2,76	3,54b	166a	86,4ab	281a	147b	1,03bc
Pasto	4,20	3,02b	127b	72,4bc	273a	184ac	4,11ac
Pasto ILP	2,42	3,48b	150ab	82,5ab	278a	165ab	1,77bc
Pivô ILP	1,96	4,67ab	179a	90,6a	280a	155cb	2,26bc
A.V.N.S	4,37	6,32a	155ab	66,1c	215b	193a	6,90a
F	0,70ns	5,59**	5,92*	13,3**	56,3**	10,5**	9,06**
C.V. (%)	131,21	45,67	17,47	17,45	11,57	17,37	87,86
D.P.	4,09	1,93	27,30	13,93	30,76	29,24	2,81

Fonte: A autora (2023)

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. Peneira 1 – P.1 (g/kg); peneira 0,5 – P.0,5 (g/kg); peneira 0,250 – P.0,250 (g/kg); peneira 0,212 – P.0,212 (g/kg); peneira 0,125 – P.0,125 (g/kg); peneira 0,053 – P.0,053 (g/kg); restante (g/kg), Coeficiente de variação - C.V., Desvio Padrão - D.P., Área de vegetação natural secundária – A.V.N.S.

3.2 Atributos Químicos do Solo

Os resultados dos atributos químicos do solo das cinco áreas avaliadas em relação à profundidade estão apresentados na tabela 15.

Em relação a esses atributos, a matéria orgânica (M.O.) foi o único que não teve diferença estatística entre as áreas e as profundidades analisadas, resultado esse que difere do encontrado por Possamai *et al.* (2020), em que verificou valores próximos e muito alto de M.O. para todas as áreas analisadas na profundidade de 0-

0,5 cm, e que diferenciaram nas demais profundidades, obtendo melhores resultados para área de mata nativa e ILP, em relação à pastagem de verão.

Já o teor de alumínio (Al^{3+}) foi maior para a área de vegetação natural secundária, variando de baixo na camada de 0-10 cm, a alto, nas demais profundidades. Esta área também obteve os maiores valores para o teor de acidez potencial ($H+Al$), aumentando os resultados conforme maiores profundidades, e para os teores de capacidade de troca de cátions (CTC), mantendo valor próximo em todas as profundidades (Raij, 2001).

Essa área, por se tratar de um local sem intervenção humana, não possui correção das suas características, como a exemplo da alteração do pH por meio da calagem. Devido a isso, possui maiores valores de acidez potencial, o que também interfere nos teores de alumínio. Devido a ser uma área de mata preservada há algumas décadas, esta não possui grandes quantidades de serapilheira, como as florestas nativas, então, além da correção do pH, o aumento da M.O. também seria fator importante devido a ação do carbono em complexar o Al, tornando-o menos tóxico e prejudiciais para as raízes das plantas (Possamai *et al.*, 2020).

Além disso, a área possui indicador de que o solo tem boa capacidade de reter uma quantidade significativa de nutrientes, mas por ser predominantemente arenosos, a alta lixiviação destes nutrientes logo os substitui pelo alumínio (Nasser *et al.*, 2021).

O potássio (K) é elemento fundamental em muitos processos fisiológicos das plantas, como a ativação de enzimas e transporte de nutrientes. Os maiores teores foram verificados para a área de cultura ILP, divergindo da área de vegetação natural secundária, onde possuiu valores equivalentes às áreas do pasto ILP e da cultura ILP com irrigação por pivô.

Na área de cultura ILP os valores variaram de médio para as primeiras profundidades analisadas, a baixo na camada de 80-100 cm, corroborando com os resultados de Mignoni (2020), onde locais de sistema de integração com pastejo com baixa lotação animal resultam em maiores teores de K no solo, pois não há perda deste elemento através do consumo excessivo da pastagem pelo animal e do processo de degradação devido ao pisoteio.

Outro atributo analisado foi o pH, que obteve os maiores valores para a área de pasto, possuindo resultados que variam de baixo a médio nas camadas mais rasas e de baixo a muito baixo nas camadas mais profundas, sendo esses

divergentes dos encontrados na área de vegetação natural secundária. Esse resultado indica solos mais alcalinos e que possuem melhor disponibilidade de outros nutrientes, como cálcio e magnésio e pode ser fator limitante para nutrientes como ferro, manganês e zinco, afetando o crescimento de algumas culturas. Esse cenário é contrário ao encontrado por Mignoni (2020), onde as áreas com sistemas de integração possuíram maiores resultados para esse atributo.

Em função do pH, o teor de cálcio (Ca) obteve resultados para a área de cultura ILP próximos dos valores da área de vegetação natural secundária, mas o Ca foi maior para as áreas de pasto e cultura ILP irrigada com pivô, obtendo valores altos deste elemento em todas as profundidades para a área de pasto e variando de alto a médio conforme maior a profundidade, para a área de cultura ILP irrigada.

Já para os dados de magnésio (Mg), nas profundidades de 0-30 cm, os maiores valores foram encontrados na área de agricultura ILP irrigada com pivô, variando de alto a médio, já nas profundidades de 30-80 cm, na área de pasto, variando de médio a baixo, e na profundidade de 80-100 cm, na área de vegetação natural secundária, com teor baixo (Raij, 2001). Estatisticamente, os resultados encontrados na área de vegetação natural secundária foram semelhantes aos da área de cultura ILP.

Na área de cultura ILP irrigada com pivô foi encontrado os maiores valores para fósforo (P), na profundidade de 10 a 60 cm, onde foram diminuindo em profundidade, variando de médio a muito baixo e estando diferente dos valores encontrados na área de vegetação natural secundária, que se assemelhou com a área de cultura ILP. Nesta área também foram verificados os maiores valores de sulfato ($S-SO_4^{2-}$), aumentando os teores de acordo com o aumento da profundidade, variando de médio, para as camadas mais rasas, a alto, para as maiores profundidades, sendo a única área a destoar dos resultados da área de vegetação natural secundária (Raij, 2001).

Já para a soma de bases (SB), nas profundidades de 10-40 cm os maiores valores foram na área de agricultura ILP com irrigação, na profundidade de 40-80 cm, na área de pasto e de 80-100 cm, na área de pasto ILP. Além disso, os valores mais similares da área de vegetação natural secundária, foram da área de cultura ILP e de pasto ILP.

Esses resultados indicam a quantidade total de cátions básicos presentes no solo, onde maiores valores refletem uma maior capacidade do mesmo de reter e

fornecer nutrientes às plantas. Na área de agricultura ILP com irrigação por pivô, esses valores de SB, P e S, pode decorrer de fertilização química, por se tratar de uma área de cultivo em que normalmente recebe adição de nutrientes para melhoria da produtividade (Possamai *et al.*, 2020).

A saturação de bases (V) obteve maiores valores para a cultura ILP com irrigação por pivô, de 0-30 cm de profundidade, variando de baixo a alto, e para a área de pasto, de 30-100 cm, mantendo teores baixos. Esse atributo é referente à proporção dos sítios de troca de cátions do solo ocupada por cátions básicos, podendo indicar boa fertilidade. Já em relação à saturação por alumínio (m), os maiores teores foram encontrados na área de vegetação natural secundária, com maiores resultados em profundidade, confirmando os resultados obtidos de Al e pH. Resultados esses, que vão contra o encontrado por Chaves (2019), em que encontrou os melhores resultados de m% e V% para as áreas com sistema ILP.

Tabela 15 - Atributos químicos do solo em função de diferentes sistemas de cultivo e profundidade.

Atributos	Cultura ILP	Pasto	Pasto ILP	Pivô ILP	A.V.N.S.	F	C.V. (%)	D.P.
0-10 cm								
pH	4,92ab	4,71ab	4,56b	5,76a	4,71ab	15,7**	17,15	0,85
M.O.	16,6	18,8	17,8	14,5	18,8	4,76ns	20,58	3,55
P	19,3	28,2	34,6	34,3	28,2	7,04ns	94,93	27,57
S-SO ₄ ²⁻	5,39	5,30	6,50	9,22	5,30	1,08ns	59,75	3,83
Al ³⁺	1,77	3,64	1,82	0,00	3,64	1,36ns	119,28	2,53
H+Al	17,5ab	27,6a	21,4ab	12,6b	27,6a	13,8**	47,57	10,05
K	2,77a	1,59b	2,73a	2,57ab	1,59b	5,90*	40,56	0,92
Ca	12,4	24,2	15,1	21,0	24,2	3,19ns	113,12	21,97
Mg	7,75a	5,03ab	3,20bc	8,10ac	5,03ac	11,1**	60,06	3,53
SB	22,9	30,8	21,0	31,7	30,8	3,30ns	88,49	24,39
CTC	40,4	58,5	42,4	44,3	58,5	1,49ns	40,25	19,59
m	9,56	29,94	8,97	0,00	29,94	2,95ns	132,37	20,25
V	54,7	40,6	48,3	71,4	40,6	10,0ns	49,75	25,67
10-20 cm								
pH	4,63b	5,35a	4,31bc	5,34a	3,90c	53,8**	15,05	0,71
M.O.	14,0	15,5	14,7	14,0	14,8	1,71ns	8,76	1,28
P	16,46bc	10,81b	26,25ac	31,54a	5,66b	27,1**	66,13	12,22
S-SO ₄ ²⁻	5,36	4,55	5,46	5,69	3,95	2,31ns	54,60	2,74
Al ³⁺	2,60a	0,12b	2,35a	0,51b	6,76c	83,5**	109,46	2,65
H+Al	19,2bc	14,7c	21,7b	15,1c	37,7a	53,8**	42,43	9,13
K	2,69a	2,33ab	1,75bc	2,12ab	1,15c	7,90**	37,73	0,76
Ca	6,67b	15,07ac	8,39ab	11,67c	2,66ab	30,7**	70,18	7,21
Mg	3,36bc	5,30ab	1,71c	6,34a	2,14c	12,2**	70,12	2,69

Atributos	Cultura ILP	Pasto	Pasto ILP	Pivô ILP	A.V.N.S.	F	C.V. (%)	D.P.
10-20 cm								
SB	12,71b	22,69a	11,85b	26,10a	5,95b	29,6**	60,62	9,77
CTC	32,0b	37,3ab	33,6b	41,2a	43,6a	12,6**	17,92	6,74
m	17,84b	0,59c	16,23b	3,43c	53,57a	83,9**	114,05	20,49
V	40,1b	60,2a	35,2b	60,5a	13,6c	87,0**	47,90	20,30
20-30 cm								
pH	4,27bc	5,00a	4,17c	4,89ab	3,90c	110**	14,08	0,63
M.O.	13,2	13,6	13,5	13,4	14,2	3,27ns	7,44	1,01
P	14,70b	5,63b	14,19b	36,24a	3,61b	20,2**	93,89	14,45
S-SO ₄ ²⁻	4,92ab	5,34ab	5,56ab	6,72a	3,08b	19,4**	45,51	2,35
Al ³⁺	3,90b	0,15c	3,11b	1,72bc	7,52a	71,2**	94,79	3,07
H+Al	29,6ab	16,3b	23,1ab	19,3b	37,8a	32,3**	54,48	13,66
K	2,58a	2,31ab	1,73bc	1,71bc	1,15c	6,00*	39,09	0,74
Ca	5,00b	9,47ab	7,29b	14,72a	2,64b	39,9**	80,38	6,42
Mg	2,45b	4,31ab	1,45b	5,98a	1,81b	12,0**	90,47	2,96
SB	10,03bc	16,09ab	10,45bc	22,39a	5,61c	44,5**	69,41	9,12
CTC	39,6	32,4	33,6	41,6	43,4	6,88ns	31,83	12,16
m	29,8b	0,84c	24,2bd	12,4cd	57,4a	109,0**	91,16	22,43
V	29,2b	49,7ac	30,8bc	51,0a	13,0b	213,0**	55,08	19,37
30-40 cm								
pH	4,30	4,80	4,15	4,54	4,09	3,96ns	12,35	0,54
M.O.	14,1	13,7	13,2	13,0	13,9	1,18ns	13,04	1,77
P	11,24ab	6,47b	12,08ab	21,11a	4,05b	6,97**	85,76	9,64
S-SO ₄ ²⁻	4,26ab	5,05ab	5,16ab	8,26a	3,74b	1,69*	61,00	3,27
Al ³⁺	4,79ab	1,02b	3,27ab	3,74ab	6,66a	4,87*	80,71	3,14
H+Al	23,6b	19,4b	22,6b	22,2b	37,0a	3,41*	38,07	9,51
K	2,66a	2,36ab	1,70bc	1,53bc	1,07c	7,12*	43,84	0,81
Ca	4,70bc	8,85ab	6,28ac	10,47a	3,64c	8,35**	62,10	4,27
Mg	2,10ab	4,20a	1,51b	4,04a	2,06ab	6,51*	71,53	2,01
SB	9,46ab	15,43a	9,46ab	16,07a	6,75b	8,35**	54,53	6,30
CTC	33,1b	34,9b	32,0b	38,6ab	43,8a	4,36*	18,89	6,90
m	35,4ab	6,5c	25,3ac	23,9bc	50,7a	6,28*	79,02	22,32
V	28,4ab	45,2a	29,9ab	41,0a	17,5b	5,21*	51,72	16,87
40-60 cm								
pH	4,09a	4,66a	4,09b	4,06a	3,92a	16,2**	8,63	0,36
M.O.	12,9	13,1	12,7	12,6	13,2	0,86ns	6,57	0,85
P	7,01ab	5,58ab	5,48ab	8,44a	3,29b	5,78**	61,62	3,71
S-SO ₄ ²⁻	7,25	5,94	5,69	18,28	2,84	3,21ns	147,14	12,14
Al ³⁺	5,15ab	2,21b	4,16b	6,24ab	8,85a	14,6**	62,59	3,35
H+Al	24,0bc	19,5c	25,3bc	29,7b	39,1a	20,5**	31,40	8,65
K	2,66a	2,43a	1,69ab	1,68ab	1,10b	8,56**	46,69	0,89
Ca	4,34b	8,07a	6,49ab	6,39ab	3,38b	10,0**	48,51	2,79
Mg	1,79b	5,39a	2,19b	2,34b	1,45b	12,5**	68,91	1,81
SB	8,82b	15,89a	10,34b	10,42b	5,89b	13,4**	45,28	4,65
CTC	32,8b	35,4b	35,6b	40,1ab	45,0a	7,99**	18,81	7,11
m	38,1ab	12,0c	28,6bc	37,3b	60,1a	27,7**	61,31	21,63
V	26,5b	44,4a	29,3b	26,9b	13,3c	32,1**	45,71	12,82
60-80 cm								
pH	3,90bc	4,35a	4,08b	3,86c	3,89bc	8,39**	5,82	0,23
M.O.	12,4	12,5	12,5	12,1	12,2	0,51ns	5,47	0,67
P	4,19ab	5,17a	3,95ab	4,24ab	3,05b	3,64*	36,71	1,51
S-SO ₄ ²⁻	8,93b	5,86b	7,39b	25,34a	2,08b	27,1**	114,47	11,79
Al ³⁺	7,08ab	3,71b	4,17b	7,22ab	10,95a	17,6**	57,83	3,84

Atributos	Cultura ILP	Pasto	Pasto ILP	Pivô ILP	A.V.N.S.	F	C.V. (%)	D.P.
60-80 cm								
H+Al	30,1bc	24,5c	28,6bc	34,9ab	42,3a	13,4**	26,52	8,52
K	1,89	1,91	1,99	1,53	1,41	0,91ns	46,84	0,82
Ca	4,80b	8,24a	7,40a	3,72b	2,75b	24,4**	47,34	2,53
Mg	1,96bc	4,61a	2,96b	1,34c	1,57bc	10,6**	65,30	1,61
SB	8,68b	14,79a	12,35a	6,59b	5,76b	21,9**	42,59	4,07
CTC	38,7	39,7	41,0	41,4	48,1	3,50ns	17,26	7,20
m	42,3b	19,6c	24,6c	48,7b	65,7a	60,2**	50,40	20,35
V	22,3b	37,5a	30,4a	16,2bc	12,0c	32,8**	44,88	10,54
80-100 cm								
pH	3,99ab	4,20a	4,05ab	3,84b	3,88b	5,98**	4,89	0,20
M.O.	12,0	12,1	12,1	11,7	11,7	1,81ns	4,80	0,57
P	4,05	4,91	3,76	3,51	2,91	2,98ns	39,65	1,55
S-SO ₄ ²⁻	9,25b	6,60bc	10,97b	22,02a	2,17c	52,9**	72,13	7,57
Al ³⁺	4,53b	4,13b	4,39b	7,40b	11,03a	23,4**	55,85	3,53
H+Al	26,0b	24,5b	28,7b	31,0b	41,5a	28,2**	25,88	7,86
K	1,45	1,80	1,90	1,56	1,06	2,97ns	42,89	0,67
Ca	6,22ab	8,29a	7,64a	4,11bc	2,06c	19,2**	54,95	3,09
Mg	1,99bc	2,50ac	3,49a	1,38b	1,68b	19,8**	45,83	1,00
SB	9,67b	12,59ab	12,99a	7,03bc	4,79c	23,7**	40,76	3,81
CTC	35,6b	37,0b	41,7b	38,1ab	46,3a	9,52**	15,54	6,17
m	30,8c	24,5c	24,8c	48,9b	70,1a	44,4**	52,77	21,13
V	27,2ab	34,1a	31,7a	18,9bc	10,2c	34,5**	44,16	10,73

Fonte: A autora (2023)

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. pH (CaCl₂); M.O. (g/dm³); P (mg/dm³); S-SO₄²⁻ (mg/dm³); Al³⁺ (mmolc/dm³); H+Al (mmolc/dm³); K (mmolc/dm³); Ca (mmolc/dm³); Mg (mmolc/dm³); SB (mmolc/dm³); CTC (mmolc/dm³); m (%); V (%), Coeficiente de variação - C.V., Desvio Padrão - D.P., Área de vegetação natural secundária – A.V.N.S.

3.3 Atributos Microbiológicos do Solo

Os resultados dos atributos microbiológicos, apresentados na tabela 16, são indicadores de qualidade do solo por serem sensíveis a mudanças ocorridas no uso do mesmo. O Carbono da Biomassa Microbiana (CBM), que representa a fração viva do solo, é a maior reserva de nutrientes no mesmo, pois participa de ciclos biogeoquímicos como o ciclo do carbono (C), do nitrogênio (N), do fósforo (P) e do enxofre (S), além de ações biológicas, como a decomposição e acúmulo de matéria orgânica, da qual esta pode ser verificada por meio da respiração microbiana do solo (RS) (Coêlho, 2020).

Para os atributos CBM e RS, os maiores valores foram encontrados para a área de pasto convencional, seguido da área de vegetação natural secundária e pasto ILP, sendo essas estatisticamente semelhantes.

Em relação ao quociente metabólico (qCO_2), os maiores resultados são da área de cultura ILP com pivô, seguido da área de pasto ILP, da qual também não possuem diferença estatística em relação à área de vegetação natural secundária.

Altos valores de qCO_2 indicam alta atividade microbiana, mas também representam uma alta demanda de carbono para manutenção do sistema, e que se não for reabastecido diminui o valor da biomassa microbiana, cenário este encontrado na área de cultura com irrigação (Coelho, 2020).

Maiores teores de CBM e RS, em conjunto com menores valores de qCO_2 , como o encontrado nas áreas de pasto, área de vegetação natural secundária e pasto ILP, indicam uma estabilidade da biomassa microbiana e uma taxa de renovação nos ciclos biogeoquímicos mais rápida, influenciando positivamente na fertilidade do solo ao longo do tempo (Almeida *et al.* 2021).

Na área de cultura ILP, os teores de qCO_2 , de CBM e RS encontrados são os menores valores, o que pode indicar solos com baixa qualidade nos termos de atividade microbiana e decomposição da matéria orgânica, sendo necessário verificar a eficiência do tipo de cultura e forrageira utilizada nesta área e se o manejo está adequado para promover o aumento da matéria orgânica e conseqüentemente, de carbono e nutrientes para os microrganismos (Sousa *et al.*, 2020).

Tabela 16 – Atributos microbiológicos do solo, em função de diferentes sistemas de cultivo.

Atributos	Cultura ILP	Pasto	Pasto ILP	Pivô ILP	A.V.N.S.	F	C.V. (%)	D.P.
CBM	71,0b	188,8a	130,4ab	73,6b	141,8ab	5,86*	57,19	68,61
NBM	4,3b	10,9a	13,3a	7,6ab	9,9ab	5,39**	54,88	5,03
Desi	3,3b	9,6a	8,4a	9,2a	4,0b	16,3**	48,77	3,39
RS	0,03b	0,11a	0,08ab	0,07ab	0,08ab	4,40*	64,36	0,04
Aril	42,1c	214,1a	109,2b	36,2c	175,5a	59,5**	69,41	78,76
FDA	43,2a	89,1b	94,5ac	51,7bc	118,3a	9,69**	50,23	39,51
Glico	120,2ab	192,2a	139,2a	144,6a	57,0b	16,7**	52,03	68,12

Atributos	Cultura ILP	Pasto	Pasto ILP	Pivô ILP	A.V.N.S.	F	C.V. (%)	D.P.
FA	54,5ac	172,5b	135,7a	76,7bc	204,3a	20,9**	57,35	73,1
qCO ₂	4,1b	11,0b	11,6ab	21,1ac	9,5bc	3,49*	92,53	10,82

Fonte: A autora (2023)

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 da biomassa microbiana – CBN (mg/kg); nitrogênio da biomassa microbiana – NBM (µg/kg); Desidrogenase – Desi (µg de TTF/g de solo); Respiração do solo – RS (mg de CO₂/h); Arilsulfatase – Aril (mg p-nitrofenol/kg solo * hora); FDA (µg FDA/g solo); Glicosidase – Glico (p-nitrofenol (mg/g solo * hora)); Fosfatase ácida – FA (p-nitrofenol (mg/g solo * hora)), Quociente metabólico – qCO₂ (mg/kg/h), Coeficiente de variação - C.V., Desvio Padrão - D.P., Área de vegetação natural secundária – A.V.N.S.

A atividade da enzima Desidrogenase é um bom indicador de atividade microbiana, pois representa a atividade oxidativa total da microbiota, sendo esta intracelular e de baixa atividade quando está livre no solo. Já a Arilsulfatase é responsável pela ciclagem do enxofre no solo, liberando sulfato, que é assimilado pelas plantas (Andrade; Silveira, 2004; Froio, 2022).

A enzima Glicosidase participa da degradação de componentes de carbono, hidrolisam celulose e outros carboidratos e liberam fontes de energia para os microrganismos. Já a Fosfatase Ácida atua no processo de mineralização do fósforo, disponibilizando-o na forma inorgânica para as plantas e demais organismos no solo (Froio, 2022; Coêlho, 2020).

Os maiores valores obtidos de FDA e Fosfatase Ácida foram encontrados na área de vegetação natural secundária, possuindo esta, valores baixos de Desidrogenase e Glicosidase e valor intermediário de Arilsulfatase, quando comparado com todos os outros resultados. Esses valores podem sugerir que o solo desta área tem uma capacidade moderada de decomposição da matéria orgânica e liberação de fósforo, mas a atividade microbiana é relativamente baixa. Fator importante que pode justificar estes resultados é a composição da matéria orgânica e o pH do solo (Coêlho, 2020).

Na área de pasto, foram encontrados maiores valores das enzimas Desidrogenase, Arilsulfatase e Glicosidase, indicando alta atividade microbiana, além disso, estas enzimas estão associadas à decomposição da matéria orgânica e ciclagem de nutrientes. Nesta área também foi encontrado valores intermediários de

FDA e Fosfatase Ácida. De forma geral, indica que o solo desta área pode suportar uma boa atividade microbiana e ser favorável para a decomposição da matéria orgânica, mas a disponibilidade de nutrientes pode não ser tão alta quanto em outros tipos de solo e manejo (Sousa *et al.*, 2020).

Já a área de Pasto ILP obteve um dos maiores valores de Desidrogenase, FDA, Glicosidase e Fosfatase Ácida e valores intermediários de Arilsulfatase, podendo indicar que esta área possui uma comunidade microbiana ativa e eficiente na decomposição de matéria orgânica, ciclagem de nutrientes e processos relacionados, tornando-o potencialmente mais fértil (Froio, 2022).

Cultura ILP obteve índices baixos de Desidrogenase, Arilsulfatase, FDA e Fosfatase Ácida e valor intermediário de Glicosidase. Esta área, segundo esses valores, pode estar passando por desafios em relação à atividade microbiana e disponibilidade de nutrientes, especialmente fósforo, podendo afetar a fertilidade e o cultivo das plantas (Sousa *et al.*, 2020).

Já a área de cultura ILP irrigada com pivô possui valores altos para as enzimas Desidrogenase e Glicosidase, e baixo para Arilsulfatase, FDA e Fosfatase Ácida, indicando uma atividade microbiana mais focada na decomposição de carbono orgânico, mas atividade reduzida na hidrólise de compostos de enxofre e fosfatos e na decomposição de matéria orgânica, resultando em índices baixos destes elementos, podendo afetar sua fertilidade (Coelho, 2020).

3.4 Carbono no Solo

O Carbono Orgânico Total (COT) do solo é um dos atributos importantes para o entendimento da qualidade do mesmo e da matéria orgânica, pois este parâmetro indica a disponibilidade de nutrientes e a aptidão do mesmo para o cultivo, além disso, fração mais lábil, ou seja, o Carbono Orgânico Particulado (COP) é mais sensível às alterações do manejo e também associada à ciclagem de nutrientes (Laurito, 2021). Esses resultados estão apresentados na tabela 17.

Os maiores valores de C e N do solo foram encontrados na área de vegetação natural secundária, mas por esta possuir valor baixo de COT, há indícios de que esses elementos são referentes à fração mais ativa e facilmente decomponível da matéria orgânica do solo, ou seja, representa níveis de matéria orgânica que ainda não foi totalmente estabilizada ou incorporada ao COT, sendo

esta mais rica em carbono e nitrogênio, mas mais susceptível à perda (Assad *et al.*, 2019).

Na área de Cultura ILP, onde possuiu semelhança estatística com os resultados da área de vegetação natural secundária, também foram encontrados os maiores resultados de C e N do solo e de COP, indicando que a matéria orgânica ainda não foi completamente incorporada ao COT, mas esta é mais ativa e facilmente decomposta, tornando o carbono orgânico mais disponível no solo. Assim, o solo desta área está em boa condição em termos de matéria orgânica, disponibilidade de nutrientes e capacidade de armazenamento de carbono (Assad *et al.*, 2019).

Nas áreas de pasto, pasto ILP e cultura ILP irrigada com pivô foram identificados os maiores valores de COT e valores elevados de COP, em relação aos resultados obtidos, indicando locais com bons teores de matéria orgânica, nutrientes e um armazenamento de carbono de forma eficaz (Laurito, 2021).

Tabela 17 - Fracionamento de carbono em função do sistema de cultivo.

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

Tratamento	COP	COT	C	N	Tratamento	COP	COT	C	N
20-30 cm					80-100 cm				
Cultura ILP	2,43a	8,57a	0,36a	0,03	Cultura ILP	1,24	7,44	0,34	0,03
Pasto	1,50ab	8,94a	0,27a	0,02	Pasto	1,61	8,80	0,23	0,02
Pasto ILP	1,40b	8,94a	0,28a	0,02	Pasto ILP	0,90	7,62	0,27	0,02
Pivô ILP	1,46ab	8,67a	0,39a	0,03	Pivô ILP	0,86	7,78	0,26	0,02
A.V.N.S.	0,70b	7,84b	0,48a	0,04	A.V.N.S.	0,57	7,18	0,27	0,02
F	9,04**	11,89**	3,86*	2,54ns	F	3,19ns	0,99ns	0,61ns	0,55ns
C.V. (%)	23,57	2,63	21,37	22,7	C.V. (%)	37,27	13,94	33,99	34,94
D.P.	0,62	0,45	0,09	0,01	D.P.	0,4	0,62	0,04	0
30-40 cm									
Cultura ILP	1,69	8,44ab	0,26	0,026ab					
Pasto	0,97	8,87a	0,26	0,026ab					
Pasto ILP	1,57	8,58ab	0,28	0,023b					
Pivô ILP	2,07	8,79a	0,26	0,030ab					
A.V.N.S.	0,88	7,78b	0,45	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: A autora (2023)

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); carbono – C (%); nitrogênio – N (%), Coeficiente de variação - C.V., Desvio Padrão - D.P., Área de vegetação natural secundária – A.V.N.S.

3.5 Qualidade do Solo

Como forma de verificar a qualidade do solo, é crucial analisar o estoque de nutrientes presentes no mesmo (Tabela 18), sendo a matéria orgânica e o carbono componentes fundamentais nesse contexto (Froio, 2022). Essa abordagem está alinhada com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente o ODS 2 (Fome Zero e Agricultura Sustentável), que promove a adoção de práticas agrícolas sustentáveis para garantir sistemas de produção alimentar resilientes e sustentáveis. Além disso, contribui para o ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis), ao incentivar o manejo responsável do solo e dos recursos naturais.

Em relação ao estoque de fósforo (P), em geral, os maiores valores foram identificados nas áreas de cultura ILP irrigada com pivô, além disso, as áreas de

vegetação natural secundária obtiveram semelhança estatística com a área de pasto ILP e pasto. Os resultados encontrados para a área de cultura ILP irrigada com pivô podem ser devido a aplicação de fertilizantes para o desenvolvimento da cultura, mas por se tratar de uma área constantemente irrigada, é necessário um maior cuidado para que o excesso deste nutriente não seja lixiviado e polua as águas de lençol freático e cursos d'água próximos. Resultados semelhantes também foram encontrados por Macedo e Araújo (2012), em que áreas de cultura obtiveram maiores resultados, mas áreas de integração também possuíram bons índices, mas de forma econômica, o que está alinhado com o ODS 13 (Ação contra a Mudança Global do Clima), pois práticas agrícolas inadequadas podem levar à lixiviação de nutrientes para os corpos d'água, afetando a qualidade da água e contribuindo para a mudança climática.

Para o estoque de sulfato ($S-SO_4^{2-}$), todas as áreas apresentaram resultados semelhantes, exceto a área de cultura ILP irrigada com pivô. Este elemento está relacionado com a enzima Arilsulfatase, pois esta é responsável pela ciclagem do enxofre no solo, liberando sulfato, que é assimilado pelas plantas (Jordão, 2022). Essa análise contribui para o ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis), promovendo a utilização sustentável dos recursos naturais, como o enxofre, e para o ODS 15 (Vida Terrestre), garantindo a conservação e uso sustentável dos ecossistemas terrestres.

Em geral, nas menores profundidades, os valores de cálcio (Ca) se mantiveram semelhantes nas áreas de pasto ILP, cultura ILP e área de vegetação natural secundária, mas em maiores profundidades, as áreas de preservação se assemelharam com a área de cultura ILP irrigada com pivô. Já em relação ao estoque de magnésio (Mg), os maiores valores foram encontrados nas áreas de cultura ILP irrigada com pivô e em maior profundidade, nas áreas de pasto. O aumento desses nutrientes em profundidade pode ocorrer devido à lixiviação decorrente de áreas de solos arenosos, levando esses elementos para as camadas mais profundas (Froio, 2022). Essas considerações estão alinhadas com o ODS 15 (Vida Terrestre), promovendo a gestão sustentável dos ecossistemas terrestres, incluindo o solo e a biodiversidade associada.

A área de cultura ILP obteve os maiores valores para o estoque de potássio (K), além disso, em grande maioria, a área de vegetação natural secundária se manteve estatisticamente semelhante ao pasto ILP e à área irrigada com pivô. O

potássio, nutriente também essencial para o crescimento das plantas, desempenha papel importante na resistência das plantas a estresses bióticos e abióticos, contribuindo para plantas mais resistentes (Possamai *et al.*, 2020). Essa análise está relacionada ao ODS 2 (Fome Zero e Agricultura Sustentável), promovendo o aumento da produtividade agrícola por meio da utilização responsável de nutrientes e recursos naturais.

O estoque de carbono (C) se manteve com resultados semelhantes em quase todas as profundidades, variando apenas nas profundidades de 0-10, 20-30 e 60-80, possuindo os maiores valores para as áreas de cultura ILP. Resultados semelhantes também foram encontrados por Silva (2022), onde as áreas de integração lavoura-pecuária possuíram os maiores valores, podendo atuar na recuperação dos estoques de carbono. Essa consideração está relacionada ao ODS 15 (Vida Terrestre), promovendo a conservação, recuperação e uso sustentável dos ecossistemas terrestres, incluindo o solo como um reservatório importante de carbono orgânico.

É importante destacar que o estoque de carbono no solo é crucial para sua qualidade e para a mitigação das mudanças climáticas. Resultados semelhantes foram encontrados em áreas de integração lavoura-pecuária, indicando um potencial de recuperação dos estoques de carbono no solo.

Essas considerações ressaltam a importância de avaliar e monitorar os estoques de nutrientes e carbono no solo para garantir a sustentabilidade dos sistemas agrícolas e a saúde do meio ambiente.

Tabela 18 – Estoque de nutrientes do solo (kg/ha) – Fósforo, Sulfato e Potássio

Tratamento	P	S-SO ₄ ²⁻	K	Tratamento	P	S-SO ₄ ²⁻	K
0-10 cm				40-60 cm			
Cultura ILP	26,40	7,43	149,1a	Cultura ILP	22,38ab	23,01	331a
Pasto	35,90	6,52	76,7b	Pasto	17,88ab	19,03	303ab
Pasto ILP	47,10	8,95	145,8a	Pasto ILP	17,17ab	17,89	207ac
Pivô ILP	48,90	13,14	142,9a	Pivô ILP	25,17a	54,43	196bc
A.V.N.S.	38,10	7,25	84,7b	A.V.N.S.	9,46b	8,20	124c
F	9,02ns	1,35ns	6,88*	F	7,03*	3,92ns	10,6**
C.V. (%)	92,83	62,59	41,94	C.V. (%)	62,04	143,48	48,86
D.P.	36,68	5,49	50,50	D.P.	11,52	36,22	112,98

Tratamento	P	S-SO ₄ ²⁻	K	Tratamento	P	S-SO ₄ ²⁻	K
10-20 cm				60-80 cm			
Cultura ILP	27,12b	8,85	173,2a	Cultura ILP	12,77ab	27,18b	225
Pasto	18,73bc	6,91	138,1ac	Pasto	16,53a	18,66b	237
Pasto ILP	41,93a	8,73	109,3bc	Pasto ILP	12,46ab	23,29b	245
Pivô ILP	46,06a	8,38	121,8c	Pivô ILP	12,71ab	75,83a	179
A.V.N.S.	6,42c	6,08	69,2b	A.V.N.S.	9,01b	6,13b	162
F	60,5**	2,04ns	8,60**	F	4,75*	29,3**	1,30ns
C.V. (%)	64,93	57,37	39,09	C.V. (%)	38,66	112,21	46,79
D.P.	18,50	4,48	47,81	D.P.	4,91	35,16	97,77
20-30 cm				80-100 cm			
Cultura ILP	24,01b	8,01ab	164,0a	Cultura ILP	12,61ab	28,80c	176
Pasto	8,97bc	8,52ab	143,9ab	Pasto	15,37a	20,70c	218
Pasto ILP	22,41bc	8,79ab	106,5bc	Pasto ILP	11,50ab	33,55c	227
Pivô ILP	55,29a	10,25a	102,0bc	Pivô ILP	10,15ab	63,18a	175
A.V.N.S.	5,10c	4,34b	63,5c	A.V.N.S.	8,74b	6,52b	125
F	21,8**	23,8**	8,28**	F	3,53*	59,6**	3,15ns
C.V. (%)	92,35	47,25	41,50	C.V. (%)	42,11	68,68	43,09
D.P.	22,11	3,80	47,99	D.P.	4,90	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: A autora (2023)

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

Tratamento	Ca	Mg	C	Tratamento	Ca	Mg	C
0-10 cm				40-60 cm			
Cultura ILP	678	255a	2,93ab	Cultura ILP	551bc	138b	5,19
Pasto	1219	149ab	5,53a	Pasto	1036a	419a	5,05
Pasto ILP	825	106bc	4,67ab	Pasto ILP	818ab	167b	2,28
Pivô ILP	1205	280a	1,85b	Pivô ILP	762ac	170b	3,27
A.V.N.S.	1318	168ac	2,18ab	A.V.N.S.	388c	101b	1,93

Tratamento	Ca	Mg	C	Tratamento	Ca	Mg	C
0-10 cm				40-60 cm			
F	3,82ns	13,0**	3,95*	F	13,0**	14,5**	2,04ns
C.V. (%)	110,34	59,33	40,59	C.V. (%)	49,42	71,22	51,95
D.P.	1161,54	115,02	1,6	D.P.	352,02	141,27	1,52
10-20 cm				60-80 cm			
Cultura ILP	439b	134,5ab	2,23	Cultura ILP	585a	145,2bc	5,76a
Pasto	919a	195,4a	3,08	Pasto	1055b	355,7a	4,22ab
Pasto ILP	537ab	66,5b	2,59	Pasto ILP	935b	226,9b	3,72ab
Pivô ILP	1033a	225,3a	3,26	Pivô ILP	446ac	97,8c	2,83ab
A.V.N.S.	164b	79,8b	1,64	A.V.N.S.	326c	113,0bc	1,45b
F	31,9**	11,8**	0,68ns	F	26,4**	12,1**	5,65*
C.V. (%)	66,92	66,93	53,58	C.V. (%)	49,75	67,07	32,46
D.P.	420,60	95,30	0,66	D.P.	330,34	124,45	1,6
20-30 cm				80-100 cm			
Cultura ILP	329bc	98,0ab	3,89a	Cultura ILP	776ab	150,1bc	3,88
Pasto	606ab	167,4ab	2,36ab	Pasto	1049a	188,6ab	4,92
Pasto ILP	462ab	55,6b	2,30ab	Pasto ILP	936a	259,1a	2,80
Pivô ILP	900ac	221,6a	2,24ab	Pivô ILP	474bc	96,4c	2,46
A.V.N.S.	150c	62,4b	1,00b	A.V.N.S.	247c	122,0bc	1,69
F	41,4**	12,2**	8,75**	F	20,2**	21,9**	2,53ns
C.V. (%)	79,55	90,30	25,41	C.V. (%)	57,79	46,40	36,9
D.P.	397,31	111,49	1,03	D.P.	399,29	74,99	1,26
30-40 cm							
Cultura ILP	303bc	82,0ab	2,70				
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				

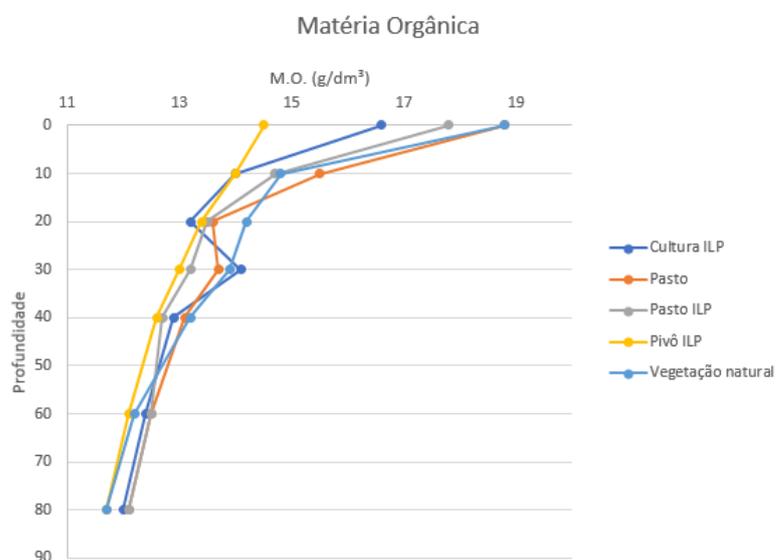
Fonte: A autora (2023)

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.

Além do estoque de nutrientes, é importante avaliar o comportamento dos principais parâmetros de qualidade do solo em profundidade para um melhor entendimento dos resultados laboratoriais.

Por meio do gráfico de perfil do solo dos resultados referente à M.O. (Figura 23), é possível verificar valores próximos para todas as áreas, sendo a área de cultura ILP com irrigação, a de menores valores, podendo indicar um aumento de cátions básicos no solo por meio de sua decomposição, ou seja, a disponibilidade de nutrientes e conseqüentemente incremento dos teores da soma de bases e CTC (Matos, 2022).

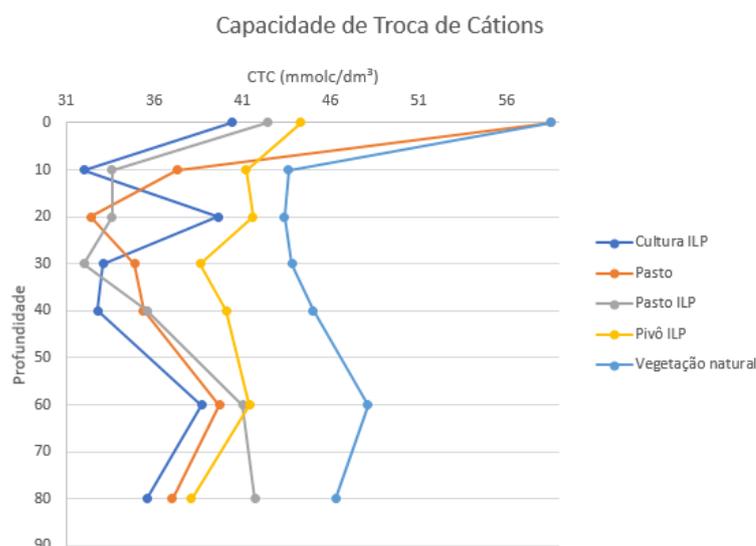
Figura 23 – Gráfico de perfil do solo em relação à Matéria Orgânica.



Fonte: A autora (2022).

A área de vegetação natural possui os maiores valores para CTC, seguido da área de cultura ILP irrigada por pivô (Figura 24), o que pode indicar que a M.O. está contribuindo não somente para a melhoria da estrutura do solo, como também na retenção de nutrientes e possível fornecimento destes para as plantas (Matos, 2022).

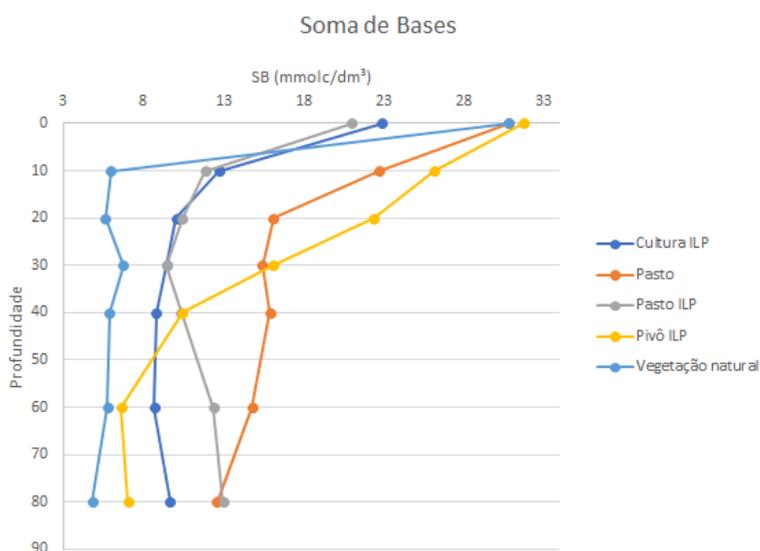
Figura 24 – Gráfico de perfil do solo em relação à Capacidade de Troca de Cátions.



Fonte: A autora (2022).

Apesar dos maiores valores de M.O. e CTC na área de preservação, a SB se torna menor nessa área (Figura 25), indicando que apesar da existência de nutrientes, estes se encontram indisponíveis para as plantas (Sousa *et al.*, 2020), corroborando com os resultados dos atributos químicos analisados e com os resultados obtidos por Matos (2022), onde os valores baixos de CTC podem indicar uma maior estabilidade de agregados.

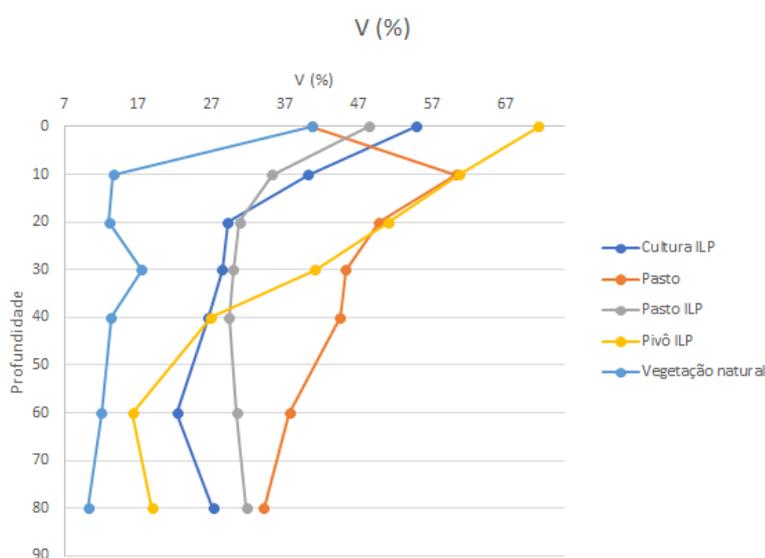
Figura 25 – Gráfico de perfil do solo em relação à Soma de Bases.



Fonte: A autora (2022).

Como reflexo da distribuição dos teores de SB, CTC e M.O. no perfil dos solos, a saturação por bases (V%) é maior encontrada nos primeiros centímetros das áreas de pasto, seguido de pasto ILP e cultura ILP irrigada (Figura 26), representando uma melhor qualidade do solo nas camadas superficiais, decorrente do acúmulo de M.O., a aplicação de fertilizantes e/ou o manejo do mesmo com o plantio direto, atividade microbiana, dentre outros fatores (Brito Neto *et al.* 2023).

Figura 26 – Gráfico de perfil do solo em relação à Saturação por Bases - V%.



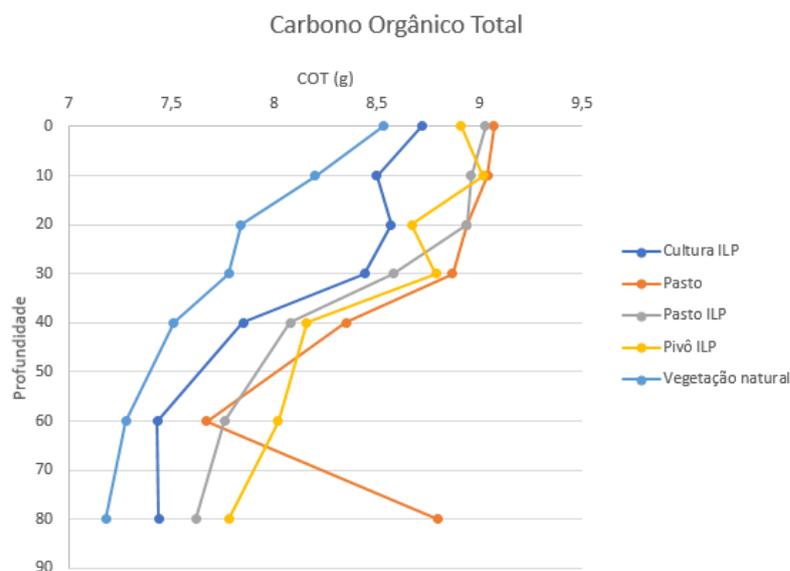
Fonte: A autora (2022).

Além da qualidade do solo, de grande importância para a produtividade, é notável verificar os benefícios para o meio ambiente.

Como visto anteriormente, todas as áreas estudadas possuem solos arenosos, que geralmente possuem menos capacidade de retenção de carbono devido à baixa capacidade de retenção de água e menos matéria orgânica estável, quando comparado com solos argilosos (Assad *et al.*, 2019).

Devido a isso, é importante a adoção de sistemas de manejo que reduzem o revolvimento do solo e adicionam matéria orgânica, como é o caso da área de pasto e pasto ILP, que possuíram os melhores resultados de carbono (Figura 27) (Araújo, 2019).

Figura 27 – Gráfico de perfil do solo em relação ao Carbono Orgânico Total.



Fonte: A autora (2022).

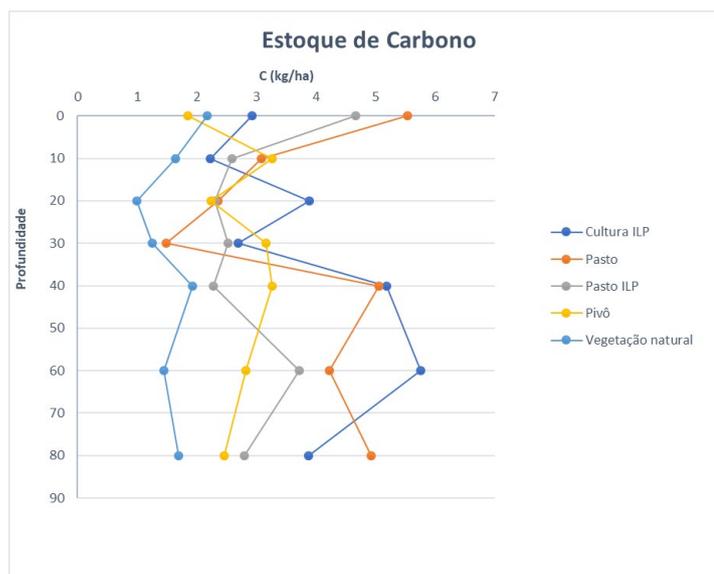
O processo de sequestro de carbono é o processo de captura e armazenamento de dióxido de carbono (CO₂) da atmosfera. O carbono é sequestrado no solo principalmente por meio da decomposição da matéria orgânica, que é convertida em carbono orgânico estável (Araújo, 2019). Essa abordagem está alinhada com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), em particular o ODS 13 (Ação contra a Mudança Global do Clima), que promove a adoção de medidas urgentes para combater as mudanças climáticas e seus impactos. Além disso, contribui para o ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis), ao incentivar práticas agrícolas sustentáveis que incluem a gestão responsável do carbono no solo.

Assim, este carbono que não está presente na atmosfera como CO₂, deixa de atuar como um gás de efeito estufa, contribuindo para o aquecimento global e, além das mitigações das alterações climáticas, torna os solos mais resistentes às condições climáticas extremas, como secas e inundações, tornando a área mais resiliente às mudanças climáticas (Assad *et al.*, 2019). Essa análise está alinhada com o ODS 13 (Ação contra a Mudança Global do Clima), ao promover práticas de manejo do solo que contribuam para a mitigação dos efeitos das mudanças climáticas e para a adaptação a eventos climáticos extremos.

Além da quantidade de carbono presente nos solos por meio da matéria orgânica, também é importante observar a capacidade de armazenar esse carbono

em determinada área e profundidade, como demonstrado na figura 28 abaixo. Essa consideração está relacionada ao ODS 15 (Vida Terrestre), promovendo a gestão sustentável dos ecossistemas terrestres, incluindo a conservação e o uso sustentável do solo como um reservatório importante de carbono orgânico.

Figura 28 – Gráfico de perfil do solo em relação ao Estoque de Carbono.



Fonte: A autora (2022).

Nas áreas com sistema de uso em ILP e pastagem bem manejadas, as gramíneas favorecem com aporte de carbono no solo, melhorando sua estrutura e conseqüentemente, os estoques de carbono. Outros trabalhos em solos de textura média também observaram esse maior estoque de carbono em sistemas de uso com pastagem e com ILP (Rachwal *et al.*, 2022), já sistemas irrigados sem gramínea possuem aporte de carbono, mas com o maior conteúdo de água no solo favorece uma maior decomposição da matéria orgânica. Essas considerações estão alinhadas com o ODS 2 (Fome Zero e Agricultura Sustentável), promovendo práticas agrícolas sustentáveis que contribuam para a conservação do solo e a promoção da segurança alimentar.

4 CONCLUSÃO

Os manejos alternativos avaliados neste estudo obtiveram resultados positivos em fatores como a melhoria estrutural do solo, mas não proporcionaram melhorias significativas nos seus atributos químicos, físicos e microbiológicos.

Apesar disso, solos com pastagens e pastagens com integração lavoura-pecuária prestam um melhor serviço ambiental no sequestro de carbono, auxiliando na mitigação do efeito estufa.

Desta forma, os sistemas de agricultura com ILP possivelmente podem melhorar a produtividade, mas considerando a qualidade do solo e do meio ambiente, é mais recomendado a adoção de pasto e pasto ILP em solos arenosos, pois possuem menor extração do carbono para desenvolvimento das culturas, resultando em um maior estoque do mesmo.

REFERÊNCIAS

ALEF, K.; NANNIPIERI, P. Methods in applied soil microbiology and biochemistry. **London: Academic Press**, p.576, 1995.

ALMEIDA, L. L. de S.; FRAZÃO, L. A.; LESSA, T. A. M.; FERNANDES, L. A.; VELOSO, A. L. de C.; LANA, A. M. Q.; SOUZA, I. A. de; PEGORARO, R. F.; FERREIRA, E. A. Soil carbon and nitrogen stocks and the quality of soil organic matter under silvopastoral systems in the Brazilian Cerrado. **Soil and Tillage Research**, v. 205, n. 104785, jan. 2021.

ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient for CO₂ (qCO₂) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v.25, 1993.

ANDRADE, S. A. L. de.; SILVEIRA, A. P. D. da. Biomassa e atividade microbiana do solo sob influência de chumbo e da rizosfera da soja micorrizada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, 2004.

ARAÚJO, E. L. de. **Estoque de carbono em áreas de agricultura familiar na mesorregião Oeste Potiguar**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, RN, 2020.

ARAÚJO, M. D. M. **Emissão de gases de efeito estufa e qualidade do solo em sistemas integrados de produção na Amazônia Maranhense**. 2019. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Vale do Acaraú – UVA, Sobral, CE, 2019.

ASSAD, E. D.; MARTINS, S. C.; CORDEIRO, L. A. M.; EVANGELISTA, B. A. **Sequestro de carbono e mitigação de emissões de gases de efeito estufa pela adoção de sistemas integrados**. Brasília, DF: Embrapa, 2019. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/202491/1/PL-SequestroCarbono-Assad.pdf>. Acesso em: 18 set. 2023.

BARBIERI, J. D.; FREITAS, P. S. L. de; DALLACORT, R.; DANIEL, D. F.; REZENDE, R.; FENNER, W. Temperatura e umidade do solo em sistemas de milho consorciado e em monocultivo com e sem irrigação. **Revista IRRIGA - Brazilian Journal of Irrigation & Drainage**, Botucatu, v. 27, n. 2, p. 221-241, abr./jun. 2022. Disponível em: <https://web.p.ebscohost.com/abstract?direct=true&profile=ehost&scope=site&authType=crawler&jrnl=14137895&AN=160724309&h=gorgrv0Poa0BJtxU0R00emsMST5PqhTRmtrXuSFiTqTrXfkDPxoeC8qhQqYQJTwCJLboRJaksf%2bBRU16HCbw%3d%3d&cr=c&resultNs=AdminWebAuth&resultLocal=ErrCrlNotAuth&crlhashurl=login.aspx%3fdirect%3dtrue%26profile%3dehost%26scope%3dsite%26authType%3dcrawler%26jrnl%3d14137895%26AN%3d160724309>. Acesso em: 03 set. 2023.

BARBOSA, A. de. M.; SILVA, G. B. da; SANTOS, S. E. da S.; CATUCHI, T. A.; TIRITAN, C. S. Soybean yield as a function of sowing season. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 30, p. 347-356, 2022. Disponível em: <https://periodicos.ufv.br/reveng/article/view/13929/7511>. Acesso em: 20 ago. 2023.

BATISTA, M. C. **Estoque de Carbono e Frações da Matéria Orgânica em Áreas Sob Sistemas Agroflorestais e Agricultura no Agreste Paraibano**. 2017. 46 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal da Paraíba, PB, João Pessoa, 2017.

BONETTI, J de A.; PAULINO, H. B.; SOUZA, E. D. de; CARNEIRO, M. A. C.; CAETANO, J. O. Soil physical and biological properties in an integrated crop-livestock system in the Brazilian Cerrado. **Pesq. agropec. bras. Brasília**, v. 53, n. 11, p. 1239-1247, nov. 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/pab/v53n11/1678-3921-pab-53-11-1239.pdf>. Acesso em: 28 mar. 2021.

BRITO NETO, J. F. de; CHAVES, F. D. F. A.; SILVA, A. L.P. D.; MESQUITA, E. F. D.; SOARES, C. S.; CRUZ, G. K. G. D.; FERRAZ, R. L. D. S.; PAIVA, F. R. D.; ARAÚJO, K. R. D. C.; de MELO, A. S. Soil Sustainability in an Integrated Production System in a Brazilian Semi-Arid Region. **Pre Prints**, 2023. Disponível em: <https://www.preprints.org/manuscript/202306.0669/v1>. Acesso em: 24 out. 2023.

CAMBARDELLA, C.A.; ELLIOT, E.T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**, v. 56, p. 777-783, 1992.

CARNEIRO, L. F.; OLIVEIRA, R. A. de; WEBER, H.; DAROS, E.; BERTON, G. S.; RODRIGUES, F. V. Alternativa conservacionista de produção da cana-de-açúcar em solos arenosos: palhico, consórcio e nitrogênio. **Agricultural Science**, Lavras, v. 44, jul., 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cagro/a/vk5ffnjxXQqTPgTY5HG54YP/?lang=en>. Acesso em: 5 mai. 2021.

CHAVES, F. de F. A. **Atributos físicos, químicos e biológicos da qualidade do solo sob diferentes espécies de gramíneas**. 2019. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, PB, 2019.

COELHO, R. da S. **Qualidade do solo em sistemas integrados de produção agropecuária, sob Latossolos Vermelhos no Mato Grosso do Sul**. 2020. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Aquidauana, MS, 2020.

CORDEIRO, L. A. M.; KLUTHCOUSKI, J.; SILVA, J. R. da; ROJAS, D. C.; OMOTE, H. de S. G.; MORO, E.; SILVA, P. C. G. DA; TIRITAN, C. S.; LONGEN, A. **Integração Lavoura-Pecuária em Solos Arenosos: estudo de caso da Fazenda Campina no Oeste Paulista**. 1 ed. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2020. 127 f.

FERREIRA, A. S.; CAMARGO, F. A. O.; VIDOR, C. Utilização de microondas na avaliação da biomassa microbiana do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, n.4, 1999.

FERNANDES, L. A.; COIMBRA, A. M. Revisão estratigráfica da parte oriental da Bacia Bauru (Neocretáceo). **Rev. Bras. Geoc.**, v. 30, p. 723-734, 2000.

FERNANDES, F. A.; FERNANDES, A. H. B. M. **Cálculo dos estoques de carbono do solo sob diferentes condições de manejo**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2009. 4 p. (Embrapa Pantanal. Comunicado Técnico, 69).

FREITAS, L. de.; OLIVEIRA, I. A. de; SILVA, L. S.; FRARE, J. C. V.; FILLA, V. A.; GOMES, R. P. Indicadores da qualidade química e física do solo sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Unimar Ciências**, Marília, v. 26, n. 1-2, p. 08-25, 2017.

FRIGHETTO, R. T. S. Análise da biomassa microbiana em carbono: método de fumigação-extração. *In*: FRIGHETTO, R. T. S.; VALARINI, P. J. (coord.). Indicadores biológicos e bioquímicos da qualidade do solo. Jaguariúna: EMBRAPA, 2000.

FROIO, L. de L. **Alteração da qualidade de um solo arenoso e produtividade da soja em sistemas de produção agropecuários de longa duração**. 2022. Dissertação (Mestrado)- Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, SP, 2022.

JOERGENSEN, R. G.; BROOKES, P. C. C. Ninhydrin-reactive nitrogen measurements of microbial biomass in 0.5 M K₂SO₄ soil extracts. **Soil Biol. Biochem.**, v. 22, p. 1031-1038, 1990.

JORDÃO, H. W. C. **Qualidade do solo em um sistema integrado de produção agropecuária com pastejo por ovinos**. 2022. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, SP, 2022.

LAURITO, H. F. **Frações de carbono e nitrogênio mineralizável no solo em sistema de integração lavoura-pecuária**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Faculdade Estadual Paulista, Jaboticabal, SP, 2021.

MACEDO, M. C. M.; ARAÚJO, A. R. de. Sistemas de produção em integração: alternativa para recuperação de pastagens degradadas. *In*: **Sistemas de produção em integração: alternativa para recuperação de pastagens degradadas**. Brasília: Embrapa, 2012. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/202698/1/Sistemas-de-producao-em-integracao.pdf>. Acesso em: 03 out. 2023.

MARTINS, E. L.; SOUZA, R. F. da S.; FRAGA, V. da S.; MAGALHÃES, A. G.; MEDEIROS, S. de S. Effects of soil bulk density and coarse fraction spatial variability on nutrient stocks estimation in degraded soil. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 5, n. 12, p.29434-29449, dez. 2019. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/5241/4776>. Acesso em: 18 ago. 2023.

MATOS, A. M. S. **Qualidade estrutural de um Argissolo Vermelho Amarelo distrófico em sistema ILPF**. 2022. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, SP, 2022.

MIGNONI, J. A. N. M. **Atributos químicos e físicos do solo em sistema de integração pecuária-floresta no sudoeste maranhense**. 2020. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Maranhão – UEMA, Balsas, MA, 2020.

MORO, E.; ALVES, M. R.; TIRITAN, C. S. **Integração lavoura-pecuária: Desafios, estratégias e resultados da integração lavoura-pecuária em ambientes de produção com solos arenosos**. Brasília: EMBRAPA, 2019. (Boletim de pesquisa)

NASSER, M. D.; JACON, C. P. R. P.; TAVARES, M. B.; KOHORI, C. B.; FERREIRA, J. P.S.; ZONTA, A. Chemical attributes of soils managed by a sugar and alcohol plant located in Nova Alta Paulista. **Research, Society and Development**, Vargem Grande Paulista, v. 10, n. 3, mar. 2021. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/13053>. Acesso em: 15 set. 2023.

POSSAMAI, E. J.; CONCEIÇÃO, P. C.; HASKEL, M. K.; STUMPF, L.; PAIER, C. D.; ROSA, J. K. da; SARTOR, L. R. Chemical attributes of soils in long-term crop-livestock integration. **Research, Society and Development**, Vargem Grande Paulista, v. 9, n. 11, nov. 2020. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/9632/8708>. Acesso em: 15 set. 2023.

RACHWAL, M.F.G.; ZANATTA, J. A.; PORFIRIO-DA-SILVA, V.; FRANCISCON, L. Impacto de sistemas produtivos nos estoques de carbono e nitrogênio do solo na Região Noroeste do Paraná. **Pesq. Flor Bras.**, Colombo, v. 42, p. 1-13, 2022.

RAIJ, B. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas, SP: Instituto Agrônomo, 2001.

RALISCH, R.; RALISCH, R.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; TOMAZI, M.; HERNANI, L. C.; MELO, A. da S.; SANTI, A.; MARTINS, A. L. DA S.; BONA, F. D. de. **Diagnóstico rápido da estrutura do solo – DRES**. Londrina: EMBRAPA Soja, 2017. 63 p.

REICHARDT, K. Capacidade de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.12, 1988.

RODELLA, A. A.; SABOYA, L. V. Calibrations for conductimetric determination of carbon dioxide. **Soil biology and Biochemistry**, Oxford, v. 31, n. 14, p. 2059-2060, 1999.

RODRIGUES, E. M. S. **Diagnóstico rápido da estrutura do solo (DRES) e indicadores químicos da fertilidade em diferentes sistemas de manejo**. 2021. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Faculdade de Educação e Meio Ambiente – FAEMA, Ariquemes, RO, 2021.

ROOSE, E.; BLANCANEUX, PH.; FREITAS, P.L. de, Un simple test de terrain pour évaluer la capacité d'infiltration et le comportement hydrodynamique des horizons pédologiques superficiels: méthode et exemples. **Cah. ORSTOM**, S. Pédo., Paris, v. 28, n. 2, p. 413 -419, 1993.

SALDARRIAGA, F. V. **Estoques de carbono orgânico total, carbono lábil e**

nitrogênio no solo em diferentes sistemas de uso da terra. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2016.

SILVA, P. L. F. da; OLIVEIRA, F. P. de; AMARAL, A. J. DO; PEREIRA, W. E.; MARTINS, A. F.; TAVARES, D. D. Distribuição de poros por tamanho e sua relação com os parâmetros de ajustes da curva de retenção de água no solo. **Revista Agri-Environmental Sciences**, Palmas, v. 6, 2020. Disponível em: <https://revista.unitins.br/index.php/agri-environmental-sciences/article/view/3588/1927>. Acesso em: 20 ago. 2023.

SILVA, T. R. da; ASSIS, J. F. de; RIBEIRO, E. R.; PUSHNOFF, I. I.; LEME, R. de L. S.; MELO, B.M.R.de. Avaliação da qualidade do solo em sistema agroflorestal de café. *In*: JORNADA CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA, 14., 2022, Minas Gerais. **Anais eletrônicos** [...]. Minas Gerais: IFSULDEMINAS, 2022. Disponível em: <https://josif.ifsuldeminas.edu.br/ojs/index.php/anais/article/view/424/145>. Acesso em: 15 ago. 2023.

SILVA, K. R. da; AMARAL, E. T. O. P.; OLIVEIRA, A. N. de; MELLO, A. H. de; OLIVEIRA, G. F. de. Indicadores químicos do solo sob diferentes usos e manejo no lote 31 do projeto de assentamento Veneza no sudeste do Pará. **Agroecossistemas**. v. 9, n. 1, p. 227 – 235, 2017. Disponível em: <https://periodicos.ufpa.br/index.php/agroecossistemas/article/view/4778/4402>. Acesso em: 13 abr. 2021.

SILVA, Y. de F. da. **Evaluation of nutrient cycling in an integrated crop-livestock system using remote sensing and biogeochemical model.** 2022. Tese (Doutorado) – UNICAMP, Campinas, SP, 2022.

SISTI, C. P. J.; SANTOS, H. P. dos; KOHHANN, R.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v.76, p.39-58, 2004.

SOUSA, H. M.; CORREA, A. R.; SILVA, B. DE M.; OLIVEIRA, S. DA S.; CAMPOS, D. T. DA S.; WRUCK, F. J. Dynamics of soil microbiological attributes in integrated crop-livestock systems in the cerrado-amazonônia ecotone. **Rev. Caatinga**, Mossoró, v. 33, n. 1, p. 9-20, jan-mar. 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufersa.edu.br/caatinga/article/view/7815/10150> Acesso em: 03 set. 2023.

SUZUKI, L.E.A.S.; REISSER JÚNIOR, C.; MIOLA, E. C. C.; ROSTIROLLA, P.; SCHERER, V. S.; TERRA, V. S.; PAULETTO, E. A. Efeito do manejo e da irrigação localizada sobre os atributos físicos e hídricos de um Argissolo cultivado com pessegueiro. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Rio Grande do Sul, v. 27, n. 1, p. 127-147, 2021. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Luis-Suzuki-3/publication/353693452_Atributos_fisicos_e_hidricos_de_um_Argissolo_cultivado_com_pessegueiro_variacoes_na_posicao_de_amostragem_e_efeito_da_irrigacao_localizada/links/62c3910b9a17145f5f46769d/Atributos-fisicos-e-hidricos-de-um-Argissolo-cultivado-com-pessegueiro-variacoes-na-posicao-de-amostragem-e-efeito-da-irrigacao-

localizada.pdf?origin=journalDetail&_tp=eyJwYWdlIjoiam91cm5hbERldGFpbCJ9
Acesso em: 18 ago. 2023.

SWISHER, R.; CARROLL, C. G. Fluorescein diacetate hydrolysis as an estimator of microbial biomass on coniferous needle surface. **Microbial Ecology**, v.6, p. 217-226, 1980.

TABATABAI, M.A. Soil Enzymes. *In: Methods of soil analysis: part 2- microbiological and biochemical properties*. Madison: SSSA, 1994. (SSSA Book Series: 5).

TABATABAI, M.A. ;BREMNER, J.M. Arylsulfatase activity of soils. **Soil Science Society of American Proceedings**, v. 34, p. 225-229,1970.

TEIXEIRA, P.C; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. Ed. Brasília: Embrapa Solos, 2017.

TROIAN; D.; MARTINS, L. F. B. N.; OZÓRIO, J. M. B.; CASTILHO, S. C. DE P.; MARRA, L. M. Carbono orgânico e estoque de carbono do solo em diferentes sistemas de manejo. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**. Maringá, v. 13, n. 4, out./dez. 2020. Disponível em: <https://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/rama/article/view/7122> Acesso em: 05 mai. 2021.

VAN OS, G. J.; GINKEL, J. H. Suppression of Pythium root rot in bulbous Iris in relation to biomass and activity of the soil microflora. **Soil Biology & Biochemistry**, London, v. 33, n. 11, 2001.

YEOMANS, J.C.; BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Commun. Soil Sci. Plant. Anal.**, 19:1467-1476, 1988.

ZANATTA, J. A.; PULROLNIK, K.; VIANA, J. H. M. **Protocolo para avaliação do estoque de carbono e de nitrogênio do solo em sistemas florestais–Projeto Saltus**. Brasília: Embrapa Florestas-Documents (INFOTECA-E), 2015. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/129380/1/Doc.-277-Projeto-Saltus-2.pdf> Acesso em 20 jun. 2020.

2 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A bibliografia a respeito da comparação entre os métodos de amostragem trado e trincheira e a relação entre esses e as análises de solo, tanto físicas, quanto químicas, ainda é pouco explorado pelos pesquisadores, portanto recomendam-se maiores estudos sobre a temática.

Para trabalhos futuros, além da comparação das características do solo em diferentes usos, recomenda-se avaliar a produtividade nestes diferentes usos, para melhor inferir qual forma de manejo seria sustentavelmente mais vantajoso, ou seja, além das questões ambientais, mas também levando em consideração a renda para o produtor.

REFERÊNCIAS

- BATISTA, M. C. **Estoque de Carbono e Frações da Matéria Orgânica em Áreas Sob Sistemas Agroflorestais e Agricultura no Agreste Paraibano**. 2017. 46 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal da Paraíba, Areia, PB, 2017.
- BESEN, M. R.; RIBEIRO, R. H.; MONTEIRO, A. N. T. R.; IWASAKI, G. S.; PIVA, J. T. Práticas conservacionistas do solo e emissão de gases do efeito estufa no Brasil. **Scientia Agropecuaria**, Perú, v.9, n.3, jul./set., 2018. Disponível em: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2077-99172018000300015. Acesso em: 15 nov. 2020.
- DALCHIAVON, F. C.; RODRIGUES, A. R.; LIMA, E. S. de; LOVERA, L. H.; MONTANARI, R. Variabilidade especial de atributos químicos do solo cultivado com soja sob plantio direto. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v.16, n.2, 2017. Disponível em: <https://www.revistas.udesc.br/index.php/agroveterinaria/article/view/223811711622017144/pdf>. Acesso em: 15 nov. 2020.
- DONAGEMMA, G. K.; FREITAS, P. L. DE; BALIEIRO, F. de C.; FONTANA, A.; SPERA, S. T.; LUMBRERAS, J. F.; VIANA, J. H. M.; ARAÚJO FILHO, J. C. de; SANTOS, F. C. dos; ALBUQUERQUE, M. R. de; MACEDO, M. C. M.; TEIXEIRA, P. C.; AMARAL, A. J.; BORTOLON, E.; BORTOLON, L. Caracterização, potencial agrícola e perspectivas de manejo de solos leves no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p.1003-1020, 2016.
- FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G.; BALIEIRO, F. DE C.; MOURA, T. P. A. DE; MENEZES, A. R. DE; SANTANA, C. I. Características e atributos de Latossolos sob diferentes usos na região Oeste do Estado da Bahia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.51, n.9, set., 2016. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-204X2016000901457&script=sci_arttext&tlng=pt. Acesso em: 18 nov. 2020.
- FORTINI, R. M.; BRAGA, M. J.; FREITAS, C. O. Impacto das práticas agrícolas conservacionistas na produtividade da terra e no lucro dos estabelecimentos agropecuários brasileiros. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v.58, n.2, Jun., 2020. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-20032020000200214&script=sci_arttext. Acesso em: 18 nov. 2020.
- GIONGO, V. **Sistema conservacionista de cultivo de melão utilizando coquetéis vegetais no Submédio São Francisco**. 2015. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1075716/1/producaodemelaopag231253.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2021.
- OLIVEIRA, D. T. C.; BUENO, G. T. Avaliação da qualidade química do solo de um sistema agroecológico por indicadores de sustentabilidade: Estudo de caso no Assentamento Pastorinhas, Brumadinho, Minas Gerais. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROECOLOGIA, 9, 2015, Belém, **Anais Eletrônicos** [...]. Belém: CBA, 2015. Disponível em:

agroecologia.org.br/index.php/cad/article/view/19478/13239. Acesso em: 27 abr. 2021.

SALES, A; SILVA, A. R.; VELOSO, C. A. C.; CARVALHO, E. J. M.; MIRANDA, B. M. Carbono orgânico e atributos físicos do solo sob manejo agropecuário sustentável na Amazônia Legal. **Colloquium Agrariae**, Presidente Prudente, SP, v.14, n.1, jan./mar., 2018. Disponível em: <https://revistas.unoeste.br/index.php/ca/article/view/1989/2101>. Acesso em: 17 nov. 2020.

SARTORI, J. E.; ARAI, M.; MORALES, N.; QUADROS, L. S. de. Caracterização dos Depósitos Sedimentares de Cássia e sua Relação com a Zona de Falha de Cássia, Sudoeste de Minas Gerais. **Geociências**: São Paulo, v. 38, n. 3, p. 719 – 734, 2019.

SILVA, W. T. de M.; ALVES, F. J. B.; LEONARDO, F. de A. P.; SANTOS, R. V. dos; FARIAS JÚNIOR, J. A. de. Levantamento da Textura do Solo e da Relação Silte/Argila em Regiões Semiáridas do Nordeste. **Agropecuária Científica do Nordesde**, v.14, n. 4, 2019.

SOARES, M. D. R.; CAMPOS, M. C. C.; OLIVEIRA, I. A.; CUNHA, J. M.; SANTOS, L. A. C.; FONSECA, J. S.; SOUZA, Z. M. de. Atributos físicos do solo em áreas sob diferentes sistemas de usos na região de Manicoré, AM. **Amazonian Journal**, Amazonas, v.59, n.1, jan./mar., 2020. Disponível em: <http://btcc.ufra.edu.br/index.php/ajaes/article/view/2020/797>. Acesso em: 17 nov. 2020.