UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE ENGENHARIA
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA

ALINE MARCHETTI SILVA MATOS

Qualidade estrutural de um Argissolo Vermelho Amarelo distrófico em sistema ILPF

Ilha Solteira

2022

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Ilha Solteira

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

ALINE MARCHETTI SILVA MATOS

Qualidade estrutural de um Argissolo Vermelho Amarelo distrófico em sistema ILPF

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – Unesp como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Sistemas de Produção).

Nome do orientador:
Profª Drª Carolina dos Santos Batista Bonini

Nome do Co-orientador:
Prof. Dr. Marcelo Andreotti

Ilha Solteira

2022

FICHA CATALOGRÁFICA
Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

M433q

Matos, Aline Marchetti Silva.
Qualidade estrutural de um argissolo vermelho amarelo distrófico em sistema ILPF / Aline Marchetti Silva Matos. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2022
125 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Sistemas de Produção, 2022

Orientador: Carolina dos Santos Batista Bonini
Coorientador: Marcelo Andreotti
Inclui bibliografia

1. Sistemas integrados. 2. Qualidade do solo. 3. Sustentabilidade.

Raiane da Silva Santos
Supervisora Técnica de Seção
Seção Técnica de Referência, Atendimento ao usuário e Documentação
Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação
CRB/8 - 9999

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Ilha Solteira

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: QUALIDADE ESTRUTURAL DE UM ARGISSOLO VERMELHO DISTRÓFICO EM SISTEMA ILPF

AUTORA: ALINE MARCHETTI SILVA MATOS
ORIENTADORA: CAROLINA DOS SANTOS BATISTA BONINI

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em AGRONOMIA, área: Sistemas de Produção pela Comissão Examinadora:

Profa. Dra. CAROLINA DOS SANTOS BATISTA BONINI (Participaçao Virtual)
Departamento de Produção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas de Dracena - UNESP

Prof. Dr. RONALDO CINTRA LIMA (Participaçao Virtual)
Coordenação de Curso de Engenharia Agronomica / Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas de Dracena - UNESP

Prof. Dr. LUÍS ROBERTO ALMEIDA GABRIEL FILHO (Participaçao Virtual)
Departamento de Engenharia de Biossistemas / Faculdade de Ciências e Engenharia de Tupã - UNESP

Ilha Solteira, 24 de agosto de 2022

À minha mãe pelos ensinamentos, conselhos valiosos e por ter me apresentado o mundo das ciências agrárias.

Dedico (in memorian)

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus, por sua infinita bondade, por ter me dado força, sabedoria e saúde durante o período da dissertação.

À minha família, pelo apoio em todos os sentidos.

Ao meu noivo Diogo, que sempre me apoia, confia e está sempre do meu lado ser meu companheiro e incentivador para concluir essa etapa.

À minha querida orientadora, Carolina Batista dos Santos Bonini, por ter me acolhido de braços abertos, pela confiança, apoio, incentivo e conhecimentos compartilhados

Ao Professor Dr Rafael Montanari pela disponibilidade do laboratório de Física do Solo da UNESP- FEIS e Professor Dr Reges Heinrichs pela disponibilidade do laboratório de Fertilidade do Solo da UNESP- FCAT.

Ao meu coorientador Marcelo Andreotti pela disponibilidade do laboratório de Fertilidade do Solo da UNESP-FEIS e conhecimentos compartilhados.

Aos meus colegas de campo e do grupo de Física do solo: José Augusto, Melissa Santos, Dhara Reis, Roberth Rodrigues, Gabriel Lunardelli, Marcos Eduardo e aos colegas do GENAP.

Aos meus amigos, Bruno Rafael de Almeida Moreira, por todo o ensinamento matemático e estatístico, e pela paciência também. Aos meus amigos Philippe Toledo, Maria Luana Alves e Lucas Alves, e prima Rayane Marchette pelo auxílio nas coletas de campo e atividades laboratoriais.

À Prof. Drª Cristina Andrighetto e Gustavo Pavan Mateus pelas informações que contribuíram muito com o conhecimento da área experimental da minha dissertação.

À APTA (Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios) pela disponibilidade da área experimental.

À UNESP- Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FEIS) e UNESP- Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas (FCAT), por todos os professores,

técnicos de laboratório e técnicos administrativos que contribuíram com essa pesquisa.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

I'm unstoppable,
I'm a Porsche with no breaks,
I'm invincible,
Yeah, I win every single game,
I'm so powerful,
I don't need batteries to play,
I'm so confident,
Yeah, I'm unstoppable today,
Unstoppable today!

SIA

RESUMO

Integrar atividades de Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) em sistemas integrados de produção agropecuários (SIPAs) tem se mostrado uma opção eficiente para produzir alimentos contribuindo para a sustentabilidade ambiental e conservação do solo. Esse trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade do solo por propriedades físicas e químicas de um Argissolo, após 8 e 10 anos de implantação de SIPAs nos anos de 2020 e 2022. Nesse sentido, o experimento foi desenvolvido na área experimental do Polo Regional de Desenvolvimento Tecnológico dos Agronegócios do Extremo Oeste, sediado no município de Andradina-SP, Brasil. O solo estudado foi Argissolo Vermelho Amarelo distrófico, em área experimental de 27 ha. Os tratamentos foram: 1- Integração Lavoura-Pecuária; 2-Sistema Agrosilvipastoril, com sombreamento de 1 linha de eucalipto, sendo a distância entre cada linha 17 a 21 m e a distância entre plantas de 2m (densidade de 200 árvores ha^{-1}); 3- Sistema Agrosilvipastoril, com sombreamento de 3 linhas de eucalipto, sendo a distância entre as faixas de eucalipto de 17 a 21 m e a distância entre plantas de 2m (densidade de 500 árvores ha^{-1}); 4- plantio exclusivo de eucalipto; 5- pastagem degradada (controle) e 6- Vegetação Nativa. Foram coletadas amostras de solo em três camadas para realizar a análises físicas e químicas: 0-0,05; 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m, para as avaliações de Infiltração de água no solo, Condutividade Hidráulica não Saturada, Resistência Mecânica à penetração, Umidade Gravimétrica, Estabilidade de agregado em água, Diâmetro Médio Ponderado, Grau de Floculação, Argila Dispersa em água, Textura, Fracionamento Físico da Matéria Orgânica, Fertilidade do Solo. As análises estatísticas foram: comparação de médias, regressão e Análise de Componentes Principais. Os resultados revelaram que em 2020, o sistema que melhorou ou conservou os atributos físicos, de modo geral, foi Pasto-controle com resultados semelhantes à Vegetação Nativa. Para os atributos químicos, o ILP foi mais expressivo na melhoria da qualidade do solo, seguido pela Vegetação Nativa, que também demonstrou benefícios ao sistema. Em 2022 o ILP, Pasto-controle e Vegetação Nativa demonstraram efeitos benéficos na qualidade física do solo. Quanto aos aspectos químicos houve maior eficiência dos sistemas Bosque, ILP e Vegetação Nativa por preservar ou incrementar a fertilidade do solo.

Palavras-chave: Sistemas integrados; qualidade do solo; sustentabilidade.

ABSTRACT

Integrated Crop-Livestock-Forest (ICLF) in integrated agricultural production system (IAPS) has proven to be an efficient option for promoting sustainable systems for environmental sustainability and soil conservation. This study aimed to evaluate soil quality for properties physical and chemical of na Ultisol, after 8 and 10 years of experimental construction IAPS of implantation in the years 2020 and 2022. So the experiment was developed on the experimental area based of Polo Regional of development Technological Agribusiness West, on the city of Andradina-SP, Brazil. The soil studied is dystrophic Ultisol in an experimental area of 27 ha. The treatments were: 1- Crop-Livestock Integration; 2- Agrosilvopastoral System, with 1 line of eucalyptus shading, the distance between each line being 17 to 21 m and the distance between plants of 2m (density of 200 trees ha^{-1}); 3- Agrosilvopastoral system, with shading of 3 eucalyptus lines, the distance between the eucalyptus strips being from 17 to 21 m and the distance between plants of 2m (density of 500 trees ha^{-1}); 4- exclusive planting of eucalyptus; 5- Degraded pasture (control) and 6- Native Vegetation. It was collected soil samples in three layers-0.05; 0.05-0.10 and 0.10-0.20 m, for the estimates of Water Infiltration into the soil, Unsaturated Hydraulic Conductivity, Mechanical Resistance to Penetration, Gravimetric Humidity, Stability of Aggregate in Water, Weighted Average Diameter, Flocculation Degree, Clay Dispersed in Water, Texture, Physical Fractionation of Organic Matter, Soil Fertility. Estimation searches were: comparison of means, principals and Component Analysis. The results revealed in 2020, the system that increased or preserved the physical attributes, in general, Pasture-control with results similar to Native Vegetation. The chemical attributes, ILP was more expressive in improving soil quality, followed by Native Vegetation, which also benefits the system. In 2022 the ILP, Degrated pasture and Native Vegetation showed beneficial effects on the physical soil quality. As for the chemical aspects, better efficiency of Bosque, ILP and Native Vegetation systems for preserving or increasing the attributes soil

Keywords: integrated systems; soil quality; sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da área de estudo. A: mapa do Brasil, com destaque para o Estado de São Paulo e para o município de Andradina. B: sistema ILPF da APTA de Andradina, Estado de São Paulo, Brasil, 2021.....27
Figura 2. Resistência mecânica à penetração do solo (MPa) nas profundidades analisadas. APTA, Andradina-SP, 2020.....40
Figura 3. Taxa de infiltração de água no solo (mm h^{-1}) nos sistemas avaliados. APTA, Andradina-SP, 2020. 43
Figura 4. Valores médios de condutividade hidráulica em solo não saturado em SIPAs. APTA, Andradina (SP), 2020.....46
Figura 5. Teor de água no solo (g g^{-1}) nas profundidades analisadas em SIPAs. APTA, Andradina-SP, 2020. 48
Figura 6. Argila dispersa em água (ADA) dos SIPAs e as respectivas profundidades do solo. APTA, Andradina-SP, 2020. 51
Figura 7. Grau de floculação (GF) nos SIPAs e as respectivas profundidades do solo. APTA, Andradina (SP), 2020.....54
Figura 8. Diâmetro médio ponderado (DMP) em SIPAs, nas camadas de solo amostradas, APTA, Andradina (SP), 2020. 56
Figura 9. Distribuição dos agregados por classe de tamanho em função dos sistemas e profundidades do solo, A:0,00-0,05m, B:0,05-0,10m e C:0,10-0,20m. APTA, Andradina (SP), 2020. 58
Figura 10. Dados médios de Carbono Orgânico no solo (CO), nos ambientes de produção e profundidades do solo. APTA, Andradina (SP), 2020.....66
Figura 11. Resultados médios da RMP, nas camadas de 0.00-0.05, 0.05-0.10, 0.10-0.20m, nos SIPAS. APTA, Andradina (SP), 2022. 69
Figura 12. Taxas de infiltração de água no solo da área de estudo, em APTA, Andradina (SP), 2022. 72
Figura 13. Teor de água no solo (g g^{-1}) nas profundidades de 0,00-0,05m, 0,05-0,10m e 0,10-0,20m. APTA, Andradina-SP, 2022. 74
Figura 14. Argila dispersa em água (ADA) nas respectivas profundidades dos manejos do solo. APTA, Andradina-SP, 2022. 77

Figura 15. Grau de floculação (GF) do solo na profundidade de 0 a 0,20m. APTA, Andradina (SP), 2022. 79
Figura 16. Resultados das análises de DMP para os SIPAs. APTA, Andradina (SP), 2022. 81
Figura 17. Distribuição dos agregados por classe de tamanho em função dos sistemas de manejo e profundidade do solo. APTA, Andradina (SP), 2022..... 83
Figura 18. Valores médios de condutividade hidráulica em Argissolo não saturado. APTA, Andradina (SP), 2022..... 86
Figura 19. Dados médios de Carbono Orgânico no solo (CO), nos sistemas e profundidades do solo. APTA, Andradina (SP), 2022. 92
Figura 20. Correlação das variáveis analisadas nas áreas de estudo sob diferentes sistemas de manejo e Vegetação Nativa em um Argissolo Vermelho Amarelo distrófico, na profundidade de 0,0-0,20m. APTA, Andradina (SP), 2020. 95
Figura 21. Diagrama de autovetores do ano de 2020 dos atributos físicos e químicos, na camada 0,0-0,20m de um Argissolo Vermelho distrófico submetido a diferentes usos. APTA, Andradina (SP). 96
Figura 22. Correlação das variáveis analisadas nas áreas de estudo sob diferentes sistemas de manejo e Vegetação Nativa em um Argissolo Vermelho amarelo distrófico, na profundidade de 0,0-0,20m. APTA, Andradina (SP), 2022. 99
F**igura 23**. Diagrama de autovetores do ano de 2022 dos atributos físicos e químicos e da camada 0,0-0,20m de um Argissolo Vermelho distrófico submetido a diferentes usos. APTA, Andradina (SP). 100

LISTA DE TABELAS

Quadro 1. Atributos químicos e físicos do solo, nas camadas de 0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20m. APTA, Andradina (SP), 2016[(1)]. 39
Tabela 2. Coeficientes de regressão da Resistência Mecânica à Penetração em SIPAs. APTA, Andradina (SP), 2020. 41
Tabela 3. Distribuições de tamanho de partículas das áreas de SIPAs. APTA, Andradina, SP (2020). 49
Tabela 4. Coeficientes de regressão do teor de argila dispersa em água (ADA) em SIPAs. APTA, Andradina (SP), 2020. 52
Tabela 5. Coeficientes de regressão do Grau de Floculação (GF) em SIPAs. APTA, Andradina (SP), 2020. 54
Tabela 6. Atributos químicos do Argissolo em SIPAs, nas camadas de 0,00-0,05 m; 0.05-0,10m e 0,10-0,20m. APTA, Andradina, SP, 2020. 62
Tabela 7. Coeficientes de regressão da Resistência Mecânica à Penetração (RMP) em SIPAs. APTA, Andradina (SP), 2022. 70
Tabela 8. Distribuições de tamanho de partículas dos SIPAs, APTA, Andradina, SP (2022). 76
Tabela 9. Coeficientes de regressão do teor de argila dispersa em água (ADA) em SIPAs. APTA, Andradina (SP), 2022. 78
Tabela 10. Coeficientes de regressão do Grau de Floculação (GF) em SIPAs. APTA, Andradina (SP), 2022 80
Tabela 11. Atributos químicos do Argissolo em SIPAs, nas camadas de 0,00-0,05; 0.05-0,10; e 0,10-0,20m. APTA, Andradina, SP, 2022. 89
Tabela 12. Análise de componentes principais para os atributos químicos e físicos do solo dos anos de 2020 e 2022 em SIPAS. 94

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 15

2 REVISÃO DE LITERATURA 17

2.1 Solo e agricultura 17

2.2 Atributos de qualidade do solo: químicos, físicos e biológicos 18

2.3 Práticas de manejo: convencional e conservacionista 19

2.4 Sistemas integrados de produção 21

2.5 O sistema de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta 23

3 MATERIAL E MÉTODOS 27

3.1. Localização do trabalho de pesquisa e características do local 27

3.2. Tratamentos utilizados 28

3.3. Histórico da área ILPF 28

3.3.1 Componente arbóreo 29

3.3.2 Produção da cultura da Soja 30

3.3.3 Controle de plantas invasoras 30

3.3.4 Produção da cultura do Milho e Pastagem 30

3.3.5 Manejo da pastagem e bovinocultura 31

3.3.6 Controle de insetos 32

3.4. Avaliação e preparo das amostras do solo 32

3.5. Atributos físicos do solo 33

a) Estabilidade de agregados em água 33

b) Grau de floculação 34

c) Fracionamento físico da matéria orgânica do solo (FMO) 34

d) Infiltração de água no solo e Condutividade de água em solo não saturado 35

e) Resistência mecânica à penetração 36

f) Umidade gravimétrica do solo 37

g) Análise química do solo 37

3.6 Análise estatística 37

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO (2020) 40

4.1 Resistência Mecânica do solo à penetração 40

4.2 Infiltração de Água no Solo 42

4.3 Condutividade Hidráulica de Solo Não Saturado 45

4.4 Umidade Gravimétrica 47

4.5 Textura do Solo 49
4.6 Argila Dispersa em Água e Grau de floculação 50
4.6.1 Argila Dispersa (ADA) ... 50
4.6.2 Grau de Floculação (GF) ... 53
4.7 Agregados do solo 55
4.7.1 Diâmetro Médio Ponderado ... 55
4.7.2 Índice de Estabilidade de Agregados (IEA) ... 57
4.8 Fertilidade do Solo 61
4.9 Fracionamento Físico da Matéria Orgânica 65
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO 68
5.1 Resistência Mecânica do Solo à Penetração (2022) 68
5.2 Infiltração de Água no Solo 71
5.3 Teor de Água do Solo 73
5.4 Textura do Solo 75
5.5 Argila Dispersa em Água e Grau de Floculação 76
5.5.1 Argila Dispersa em Água (ADA) ... 76
5.5.2 Grau de Floculação (GF) ... 78
5.6 Agregados do Solo 80
5.6.1 Diâmetro Médio Ponderado (DMP) ... 80
5.6.2 Índice de Estabilidade de Agregados (IEA) ... 82
5.7 Condutividade Hidráulica de Solo Não Saturado 85
5.8 Fertilidade do Solo 87
5.9 Fracionamento Físico da Matéria Orgânica 91
6 Estudos Comparativos da Análise Multivariada 94
7 CONCLUSÃO 103
REFERÊNCIAS 104

1 INTRODUÇÃO

A atividade econômica que ocupa a maior extensão territorial brasileira é a agropecuária, equivalente a 30,9% da área total (MAPBIOMAS, 2021). Em 2020 no âmbito pecuarista, o Brasil foi considerado o maior exportador de carne bovina, com 2,2 milhões de toneladas e com o maior rebanho mundial, com 217 milhões de cabeças (ARAGÃO; CONTINI, 2021). Atualmente, esses dados são positivos, em contrapartida, ao longo dos anos, a pecuária extensiva brasileira, degradou pastagens, desmatou florestas e intensificou as emissões de gases de efeito estufa (DE SOUZA, 2021).

No decorrer da 26ª Conferência das Nações Unidas sobre mudanças climáticas (COP26) que ocorreu na Escócia em 2021, pesquisadores da Embrapa citaram que Sistema Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), armazenavam toneladas de carbono no solo, auxiliando na mitigação dos gases de efeito estufa. Ademais, 30 países incluindo o Brasil, assinaram o Compromisso Global de Metano que tem como objetivo reduzir as emissões desse gás, principal causador do efeito estufa, em torno de 30% até 2030 (DE SOUZA, 2021).

Assim o desenvolvimento agrícola sustentável preza pela conservação da biodiversidade e os serviços ambientais, além de melhorar e conservar a qualidade do solo e água, diminuir a contaminação do meio ambiente, realizar o controle biológico de insetos-pragas, plantas daninhas e doenças de plantas, manejar os recursos e ecossistemas, com a finalidade de reduzir a degradação humana ao ambiente, e se adequar a produção de alimentos às exigências do mercado (BALBINO *et al*., 2011). Nesse contexto, os sistemas conservacionistas de manejo do solo, como o ILPF, estão correlacionados à produção sustentável de alimentos, apresentando resultados positivos, a respeito da viabilidade econômica, ambiental e social (ASSIS *et al*., 2015).

A qualidade física do solo tem como objetivo caracterizar a sua saúde pelo seu uso adequado, sendo essencial para produção agrícola, tanto em ambientes naturais quanto locais com interferências antrópicas. Em vista disso, ocorre um crescimento contínuo da preocupação na comunidade científica e produtores agropecuários, com relação ao uso sustentável do solo, e como ele perde sua qualidade. O depauperamento da qualidade do solo, ou degradação deste, está relacionado com o declínio da produtividade em virtude das alterações adversas nos atributos físicos, químicos e biológicos, que afetam a capacidade atual ou potencial do solo em produzir serviços e bens (REIS, 2018).

Assim, o objetivo geral do presente trabalho foi avaliar a qualidade do solo por propriedades físicas e químicas de um Argissolo Vermelho Amarelo distrófico, situado no Noroeste Paulista, em sistemas integrados de produção agropecuários (SIPAS), após 9 anos de implantação.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Solo e agricultura

A agricultura é no sentido mais básico e importante fornecedor da nutrição vital para a vida (MINER *et al*., 2020). Entretanto, a agricultura sustentável é essencial para promover a segurança alimentar da população mundial. A redução substancial de solos aráveis, e consequente queda produtiva em virtude dos efeitos das mudanças climáticas e o aumento populacional global, elevará os desafios mundiais de produção alimentícia nas próximas gerações (BRANKATSCHK; FINKBEINER, 2017).

Baseando-se nas perspectivas de produção e consumo de alimentos, de acordo com Van Zanten (2018) argumenta que é fundamental o conjunto de consumo e produção estarem em equilíbrio com o ambiente ecológico. Essa abordagem orienta na perspectiva dos sistemas alimentares resguardarem os recursos naturais e completar os ciclos de nutrientes e carbono no ambiente (DE BOER; VAN ITTERSUM, 2018).

O solo, e os produtos que dele provêm, estão em constante pressão sem precedentes. A causa principal dessa pressão, é a crescente demanda para o solo produzir fibras, alimentos, energia, suporte físico para infraestrutura, em virtude do crescimento acelerado da população humana e alteração do nosso estilo de vida (KOPITTKE *et al*., 2019). Estimativas apontam que até no ano de 2050 a demanda por alimentos aumente em 47% (GOUEL GUIMBARD, 2019), além disso, a ONU destaca que 33% dos solos mundiais estão moderadas ou altamente degradados (FAO, 2021). De importância central, é imprescindível destacar a pressão crescente imposta sobre o solo e os serviços de provisão demonstrando resultados da degradação insustentável (KOPITTKE *et al*., 2019).

O processo degradativo do solo afeta 3,2 bilhões de pessoas, com significativa perda econômica de 10% do produto interno bruto mundial anual, e principalmente em perda da biodiversidade e ecossistema (SCHOLES *et al*., 2018). Em vista disso, o maior desafio da agricultura atualmente é a alta demanda produtiva, atrelada à redução da área de produção, juntamente com a qualidade ambiental e retorno econômico para os produtores rurais (ROESCH-MCNALLY; ARBUCKLE; TYNDALL, 2018).

Em síntese, a importância de solos saudáveis para a humanidade, é a solução da segurança do solo, como a implantação de práticas de manejo que mantém a fertilidade do solo, reduzam a degradação, a perda da biodiversidade e os impactos das mudanças climáticas (MUGANDANI; MWADZINGENI; MAFONGOYA, 2021). Dessa forma, o uso das

soluções práticas para a agricultura tradicional e moderna, têm potencial para evitar, diminuir ou reverter solos degradados em diversos agroecossistemas (SCHOLES *et al*., 2018).

2.2 Atributos de qualidade do solo: químicos, físicos e biológicos

O conceito de saúde do solo sob diversos sistemas produtivos evoluiu de acordo com o desenvolvimento da agricultura (YANG; SIDDIQUE; LIU, 2020). No passado, pesquisadores e agricultores estavam em busca do equilíbrio entre a produção agrícola e a qualidade do solo (YANG; SIDDIQUE; LIU, 2020). Posteriormente a década de 1990, a definição da avaliação da saúde do solo tem se concentrado nas propriedades específicas e na capacidade do solo em desempenhar as funções ecológicas em seu ecossistema adequado, proporcionando um sistema de cultivo sustentável por longo período de tempo (YANG; SIDDIQUE; LIU, 2020).

À vista disso, a saúde do solo é definida como a capacidade funcional do solo de fornecer serviços ecossistêmicos (VAN ES; KARLEN, 2019). Atualmente, a qualidade e saúde do solo têm sido mencionados, pois são termos usados como indicadores de sustentabilidade agrícola (DOLLINGER; JOSE, 2018).

O uso insustentável de áreas cultiváveis (incluso manejo intensivo do solo e uso indiscriminado de fertilizantes), é o principal agente causador de degradação do solo, resultando em 33% dos solos degradados em nível mundial, solos esses apresentando principal característica, o declínio da qualidade e perda de produtividade (AMELUNG *et al*., 2020; BONANOMI *et al*., 2020).

Os indicadores globais de qualidade do solo auxiliam os países a determinar a evolução que eles propuseram para atingir os objetivos e compreender quais áreas deverão ser priorizadas e direcionar recursos (COWIE *et al*., 2018). Desse modo, a seleção cabível do indicador de qualidade do solo a ser implementada de forma efetiva e metodologias de monitoramento adequadas serão importantes para alcançar os objetivos do desenvolvimento sustentável da terra, baseando-se nos recursos do solo (TÓTH *et al*., 2018).

Em grande parte, as funções do ecossistema do solo são complexas de analisar diretamente e, desse modo, são usualmente inferidas a partir de propriedades mensuráveis do solo, como os indicadores de qualidade, pois abrangem as características físico-

químicas e biológicas do solo (MUÑOZ-ROJAS *et al*., 2016; ZORNOZA *et al*., 2015). Recentemente, surgiram novas abordagens para desenvolver os indicadores de qualidade do solo para o manejo sustentável, tal como o bem estar social e dimensões econômicas (JÓNSSON *et al*., 2016).

Tradicionalmente, os atributos físico-químicos são os principais indicadores e os mais utilizados para analisar a qualidade do solo. O teor de Carbono Orgânico do solo (CO), teor de Nitrogênio total (NT) e pH, estão no grupo das propriedades químicas (RABOT *et al*., 2018). Contudo, as propriedades físicas do solo são importantes indicadores de qualidade do solo e demonstram o papel fundamental da saúde e a produção sustentável da agricultura (RABOT *et al*., 2018; REGELINK *et al*., 2015). São incluídos nas propriedades físicas, os atributos de estrutura, porosidade, textura, densidade, teor de água e temperatura no solo. Essas propriedades são dependentes do histórico de formação do solo, porém, são passíveis de serem alterados por agentes naturais ou atividades antrópicas (YU *et al*., 2019).

Os solos cultivados com baixo nível estrutural (compactado e baixa estabilidade estrutural), são propensos à degradação, afetam negativamente a produção e a qualidade das culturas produzidas (JIA *et al*., 2020). De acordo com Pulido (2017), estudos recentes revelam o papel fundamental do componente biológico nas análises da qualidade do solo. A biota do solo é responsável por diversas funções no ecossistema, além de ser sensível às alterações ambientais, tal como, após perturbação ou recuperação do ecossistema (SCHLOTER *et al*., 2018).

Em relação às propriedades do solo analisadas de modo individual, podem não representar corretamente os indicadores de qualidade, por não caracterizar adequadamente o estado do solo ou podem ser interdependentes e confundir os efeitos das alterações do solo ou do ecossistema (PULIDO *et al*., 2017) e em contrapartida, a utilização de muitas variáveis podem resultar em reduplicação das variáveis altamente correlacionadas (BÜNEMANN *et al*., 2018; PAZ-FERREIRO; FU, 2016).

2.3 Práticas de manejo: convencional e conservacionista

Estimativas apontam o incremento na população mundial de 7,7 bilhões em 2019 para 9,7 bilhões em 2050 (ONU, 2019). Para alimentar a população, será imprescindível impulsionar a produção mundial alimentícia, principalmente nos países provenientes das

maiores taxas de crescimento populacional (ONU, 2019). Em virtude disso, a oportunidade de expansão de áreas agrícolas é limitada e a capacidade de aumentar a produção está ameaçada pela degradação do solo, redução dos recursos hídricos e desequilíbrios climáticos, com maior sustentabilidade (PAGE; DANG; DALAL, 2020).

Embora não seja isento de adversidades, a agricultura de conservação (AC) é um sistema agrícola capaz de alcançar a intensificação sustentável da terra para atender a demanda mundial de alimentos (LAL, 2015b). A agricultura conservacionista define-se como sistema que contém cultivo mínimo com cobertura do solo (ao menos 30% do solo coberto entre colheita e plantio) e uso de espécies leguminosas na mesma área (FAO, 2021). Generalizando, a AC consiste em sistema projetado para aumentar a sustentabilidade da produção agrícola, proteger e conservar o solo e água, e recursos biológicos para que sejam reduzidos os insumos externos (PAGE; DANG; DALAL, 2020).

A agricultura conservacionista tem demonstrado diversos benefícios, compreendendo maior armazenamento de água no solo (LAMPURLANÉS *et al*., 2016; PAGE *et al*., 2019), incremento na qualidade do solo (JAT *et al*., 2019; SOMASUNDARAM *et al*., 2019) e em algumas situações, pode promover maior produtividade e renda agrícola líquida (PAGE *et al*., 2019; PRADHAN *et al*., 2018; THIERFELDER; MATEMBA-MUTASA; RUSINAMHODZI, 2015). Essas vantagens proporcionadas pela AC demonstraram uma ferramenta importante para auxiliar na produção futura de alimentos e auxilia na proteção das culturas contra eventos climáticos extremos, tal como ondas de calor e secas, que poderão ocorrer frequentemente sob as mudanças climáticas (FAO, 2021).

Um dos atributos mais importantes que se destacou positivamente sob AC é a matéria orgânica do solo, principalmente nas camadas superficiais do solo, e as melhorias relacionadas na estabilidade estrutural do solo, diversidade biológica e fertilidade do solo, em comparação aos sistemas agrícolas convencionais (LAL, 2015a). Em áreas de AC ocorre o incremento de carbono orgânico do solo, e geralmente observa-se melhorias relacionada à estabilidade dos agregados do solo (BLANCO-CANQUI; RUIS, 2018; LI *et al*., 2019), elevada taxa de infiltração de água, proporcionando mais resistência à erosão eólica e hídrica, auxiliam também na proteção da matéria orgânica e propiciam o habitat da vida microbiológica (BLANCO-CANQUI; RUIS, 2018; LI *et al*., 2019; SPURGEON *et al*., 2013), redução da água evaporada (LI *et al*., 2019), e da densidade do solo, em virtude da adição de resíduos orgânicos associados da fauna do solo (BLANCO-CANQUI; RUIS, 2018; HANSEN *et al*., 2012).

A cobertura do solo pode reduzir os processos que limitam o crescimento e a produção de biomassa da cultura principal, tal como, lixiviação de nutrientes, erosão, pragas, doenças e plantas daninhas (GABRIEL; GARRIDO; QUEMADA, 2013; TITTONELL *et al*., 2012; VELOSO *et al*., 2018; WILLIAMS *et al*., 2018).

A agricultura convencional abrange o uso intensivo de diversos manejos na lavoura e práticas de gestão do solo para preparar a terra e controlar plantas daninhas com uso do implemento agrícola arado de aiveca, arado tracionado por animais, ou gradagem, perfurador, entre outros (ADHIKARY; BISWAS; PRIYA, 2020). A utilização de fertilizantes apenas minerais, podem colaborar para a degradação do ambiente, tal como, perda da biodiversidade, acidificação do solo, emissões de nitrato no solo, incremento do teor de metais pesados no solo e alimentos, trazendo graves consequências para o ambiente (FESS; BENEDITO, 2018; ŚREDNICKA-TOBER *et al*., 2016). E dessa forma, promove impactos negativos nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (SHIRGOVSKA; PRENTOVIKJ, 2021).

A movimentação repetitiva desses manejos do solo e dos tratos culturais da agricultura, promove a desestruturação do solo que reduz a rede porosa, levando diversas condições de susceptibilidade, tal como erosão e degradação, que necessitam de tempo, combustível e mão de obra para serem reestruturados sistema agrícola (ADHIKARY; BISWAS; PRIYA, 2020).

O cultivo convencional expõe o solo, facilitando a aeração e as atividades microbiológicas, que aumentam a velocidade da oxidação da matéria orgânica mantendo baixa concentração de carbono, diminuindo a agregação e a qualidade da estrutura do solo (MANDAL; MANI, 2020), além disso, o solo apresenta compactação pela vedação superficial gerando encrostamentos, redução da infiltração de água, erosão eólica, retorno insuficiente da matéria orgânica no sistema (ADHIKARY; BISWAS; PRIYA, 2020).

2.4 Sistemas integrados de produção

Em meados do ano de 1980, a Embrapa deu origem às seguintes tecnologias para produção sustentável: sistema Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) ou Agrosilvipastoril, sistema Integração Lavoura-Floresta (ILF) ou Silviagrícola, Integração Lavoura-pecuária (ILP) ou Agropastoril, Integração Pecuária-Floresta (IPF) ou Silvipastoril. De acordo com Balbino (2011a), os sistemas integrados são definidos e classificados em

quatro grandes grupos de produção: A- ILPF: Sistema produtivo que integra floresta, pecuária e lavoura, consórcio ou sucessão, rotação na mesma área. B- ILF: Sistema produtivo que contém floresta e agricultura em consórcio (anual ou perene). C- ILP: Sistema produtivo com pecuária e agricultura em rotação, consórcio ou sucessão no mesmo local e ano agrícola, ou por muitos anos. D- IPF: Integra pecuária e floresta em consórcio.

Esses sistemas oferecem soluções adaptáveis aos desafios da sustentabilidade na produção agrícola no século XXI, incluindo o fornecimento de fibras e alimentos para a população cada vez mais dependente dos recursos não renováveis (FAUST *et al*., 2018).

De acordo com Polidoro (2020), estudos estimaram que na safra 2020/2021, houve um crescimento das áreas de integração no Brasil no total de 17.431,533 ha. Em relação à safra de 2015/2016 até à safra de 2020/2021, houve um aumento de 52% das áreas com ILPF no Brasil.

No entanto, frente à complexidade que esses sistemas demonstram (DE MORAES *et al*., 2014; SÁNCHEZ-ROMERO *et al*., 2021) é fundamental conhecer os efeitos que a interação entre animais, plantas e espécies florestais impactam nas funções do ecossistema do solo à médio e longo prazos nas classes de solo.

O uso de sistemas integrados são recomendados como um método de recuperar áreas degradadas. Desse modo, favorecem o ecossistema da pastagem, incluindo cultura e animais na mesma área, diversificando a produção agrícola, auxiliando na restauração e melhoria das características físicas e químicas do solo, prevenindo ou recuperando o processo degradativo do solo (FILHO *et al*., 2018).

Salienta-se ainda que, a adesão dos sistemas integrados possui capacidade de auxiliar na recuperação de biomas degradados, pela estimulação no desenvolvimento das espécies que compõem os sistemas (SANTOS *et al*., 2016).

As pesquisas de Macedo e Araújo (2019) citaram que a integração lavoura pecuária (ILP) e integração lavoura pecuária floresta (ILPF) são opções que possibilitam indiretamente na renovação ou recuperação do solo. De qualquer forma, é imprescindível delimitar o estágio da degradação da pastagem por meio do uso de equipamentos no tempo certo (MACEDO; DE ARAÚJO, 2019).

Adicionalmente, os sistemas integrados são eficientes na mitigação da emissão dos gases do efeito estufa. Área de sistema de plantio direto é uma opção para promover barreira física do solo, evitando o processo degradativo e reduz a emissão de CO_2, por meio

do estoque de carbono no solo (BRIEDIS *et al*., 2018; DE OLIVEIRA FERREIRA *et al*., 2018).

2.5 O sistema de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta

Devido à crescente escassez de recursos, alterações climáticas e a exigência da sociedade por resultados sustentáveis, os sistemas integrados possuem potencial de auxiliar a agricultura, sendo mais sustentável, assim como, sequestro de carbono, aumento da produtividade agrícola, aumento da eficiência do uso do nitrogênio e fósforo, aumento do controle da erosão, redução da vulnerabilidade das safras e perda de gado devido à estresses ambientais (BREWER e GAUDIN, 2020).

O ILPF tem assumido um papel de significativa importância, devido ao fato de que, quando esse sistema é adotado, traz diversos benefícios para o conjunto solo, planta e animal. Em relação à parte animal, foi demonstrado que o sistema ILPF influencia beneficamente o desempenho reprodutivo, pois o pastejo do gado na presença de sombra, aumentou a taxa de reprodução de 25,3% para 44,4%. A produção animal nesse tipo de sistema é vantajosa, pois melhora os aspectos de desempenho, saúde e disposição, devido à sombra reduzir o estresse (GODSEY *et al*., 2009; OREFICE *et al*., 2017; SHIBU *et al*., 2019).

Dentre os benefícios que o ILPF apresenta, a redução de doenças de plantas é frequentemente abordada, evidenciando principalmente a resiliência e a capacidade de autorregulação dos sistemas (GARRETT *et al*., 2017). Um estudo de experimento de longa duração, identificou a influência da intensidade de pastejo com as doenças das plantas e o período de sobrevivência reduzido do patógeno no sistema ILP (Integração Lavoura Pecuária) em comparação ao tratamento controle, devido a incidência solar na superfície do solo, não estimulando a germinação de esporos (ROESE *et al*., 2018b).

A mistura de diferentes culturas promove o aumento de inimigos naturais de insetos, suprimindo plantas daninhas e plantas de cultivo voluntárias, criando assim um efeito de diluição, reduzindo a concentração de recursos e modificando o microambiente dentro o dossel da cultura ou dificultando a penetração de patógenos de pragas e doenças (MAKATE *et al*., 2016). Além disso, a redução do uso de agroquímicos pode favorecer a redução de custos, outro benefício indireto, porém importante, que a adesão de tecnologias ambientalmente corretas sejam mais utilizadas pois são economicamente amigáveis

(ROESE *et al*., 2020). O microclima dentro do sistema ILP proporciona menor intensidade de luz, menor temperatura, maior umidade relativa, e menor velocidade do vento (ROESE *et al*., 2017).

Outro ponto importante a ressaltar, é que a presença da forrageira utilizada como alimento para o gado, no sistema de integração é a “peça chave” para a melhoria da qualidade do solo, em virtude de possuir um sistema radicular vigoroso, que é essencial para a reestruturação do solo. O crescimento e morte das raízes das forrageiras formam bioporos, colaborando para a estabilização dos agregados (BAYER *et al*., 2011).

Ao aderir o sistema de rotação cultura-pastagem em longo período, há acúmulo de matéria orgânica e disponibilidade de nitrogênio e, desse modo, melhora a qualidade do solo (LI *et al*., 2015; VIAUD *et al*., 2018). Tal resultado ocorre em virtude da adição do estrume do gado no sistema, que promove o incremento da concentração de matéria orgânica no solo (BLANCO-CANQUI *et al*., 2015; SCHLEGEL *et al*., 2015).

Pode-se considerar que a matéria orgânica é um indicador de qualidade do solo, e isso se deve ao fato da importância dela, nos processos químicos, biológicos e físicos, e dentro desses processos, a matéria orgânica (M.O.) favorece a retenção e ciclagem dos nutrientes, agregação do solo, dinâmica da água e fornecedor primário de energia para as atividades microbiológicas (CRUZ, 2017). O fato do solo possuir este componente, determina a diminuição da densidade do solo de 1,53 para 1,43 kg dm^{-3} e aumenta o conteúdo de água de 21,4% para 24,4% em um estudo comparado com o tratamento controle (BLANCO-CANQUI *et al*., 2015).

O sistema ILPF se destaca do monocultivo, pois exerce menor densidade e resistência à penetração do solo e maior porosidade na pastagem arborizada, quando comparada com pastos em pleno sol. Esses resultados expressam uma menor modificação estrutural sob o pasto arborizado, pelo maior volume de macroporos, bem como menor densidade e grau de compactação (BIGARDI, 2016). Em contrapartida, outros estudos apontam que, o pastejo inadequado promove efeitos negativos na estrutura superficial do solo, por ação do pisoteio dos animais, aumentando a densidade do solo que consequentemente diminui a macroporosidade (AULER *et al*., 2014, 2017; FREITAS *et al*., 2019). Segundo Moreira *et al*. (2012) observaram experimentos analisados por longos períodos que o pisoteio animal não altera a porosidade de aeração e a permeabilidade do solo ao ar, em comparação a áreas sem pastejo. Além disso, produzir silagem pode afetar negativamente o solo, devido

à compactação exercida pelo tráfego de maquinários na área (ALVEMAR *et al*., 2017; HARGREAVES *et al*., 2019).

Os agregados protegem fisicamente a MO do solo, sendo considerado um mecanismo fundamental para estabilizar o carbono orgânico **(**KOCHIIERU *et al*., 2020) e indicado como uma das principais funções da matéria orgânica na agregação do solo, atuando como agente de ligação capaz de estabilizar os agregados (OKOLO *et al*., 2020), promove também a retenção dos nutrientes e beneficia a comunidade bacteriana (DING *et al*., 2013; MHETE *et al*., 2020). Afeta diretamente a infiltração de água, ciclagem de nutrientes, erosão do solo e disponibilidade de oxigênio para as raízes (NASCENTE *et al.,* 2015).

O atributo agregação do solo é um fator importante, pois afeta a estabilização do carbono orgânico do solo, por ser um agente de ligação que associa as partículas minerais em agregados (CHAPLOT e COOPER, 2015; RABBI *et al*., 2015). Os agregados tem redução na estabilidade quando são retirados os resíduos de pastejo, por reduzir a entrada de carbono no sistema (VARGAS *et al*., 2009; LEHMAN, 2015).

As análises de grau de floculação e de argila natural determinam características para definir se o solo está sujeito à erosão, portanto, menor tendência erosiva e processos de desagregação ocorrem devido ao maior grau de floculação do solo (NETO, 2018). Há relatos de correlação positiva entre o teor de argila e o grau de floculação, pois o acréscimo de teor de argila, promove aumento do grau de floculação e esse aumento corresponde com perfil de solo mais profundo, local este, que ocorre a iluviação da argila (CRUZ, 2017). Os efeitos dos atributos químicos do solo sobre a dispersão da argila e, desse modo, sobre a agregação do solo, é dependente também da natureza da sua mineralogia (CRUZ, 2017).

A variável argila dispersa em água, influencia diretamente no grau de floculação e consequentemente afeta na agregação das partículas do solo, e desse modo, são considerados atributos importantes como indicadores de qualidade física (BARRETO *et al*., 2019). A fração argila age na estruturação do solo, pois, está no solo em duas formas: floculada e dispersa. Assim, solos bem estruturados irão apresentar maior quantidade de argila floculada. Isso ocorre devido a argila estar na forma dispersa no solo, podendo estar mais propenso à compactação (BARRETO *et al*., 2019).

Diversos estudos têm mencionado as vantagens na fertilidade do solo quando utilizado o ILPF, e esse fato se refere à ciclagem dos nutrientes devido a presença dos animais no sistema, acelerando o processo de ciclagem por disponibilizá-los na forma mineralizada através das fezes e urina (BALBINOT JUNIOR *et al*., 2009).

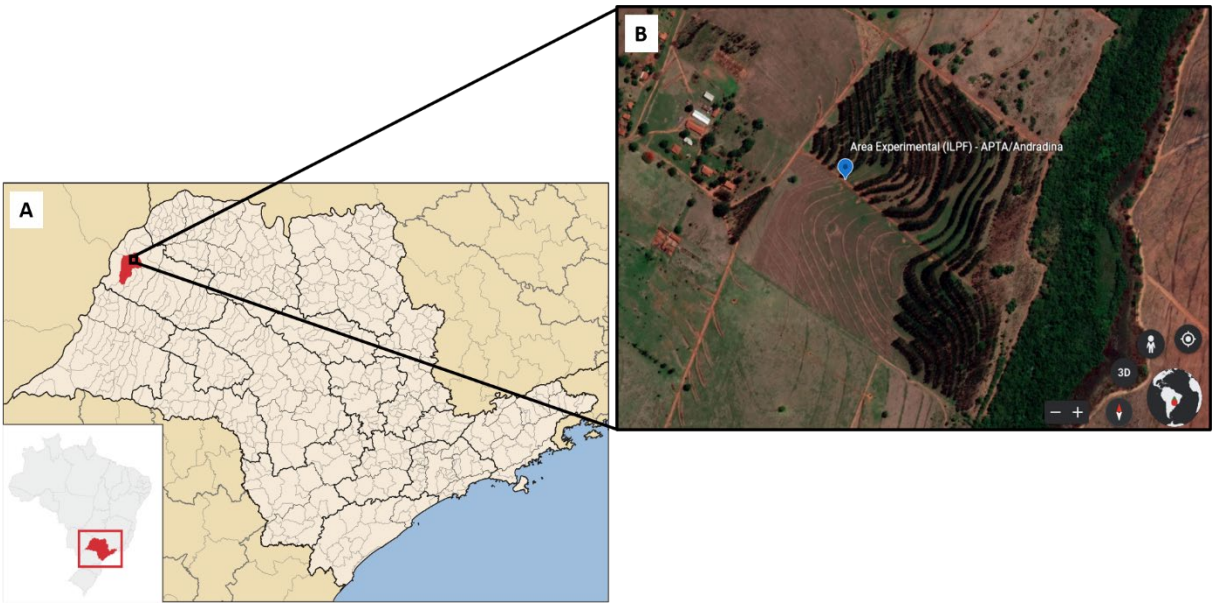
Os principais problemas que ocorrem em solos tropicais, sobretudo na maioria dos Argissolos e Latossolos, são as baixas capacidade de troca de cátions (CTC), baixa disponibilidade de nutrientes (bases e fósforo), alta fixação de fosfatos e alta concentração de alumínio trocável (Al^{+3}), que podem ser minimizados por preservação e o incremento de carbono orgânico (BALDOTTO *et al*., 2015). Sob o ponto de vista químico, as pastagens arborizadas apresentam não só acréscimo nutritivo no solo, como também oferecem melhores condições para a retenção e disponibilidade para as forrageiras estabelecidas, principalmente os teores de carbono orgânico (BIGARDI, 2016).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização do trabalho de pesquisa e características do local

O experimento foi desenvolvido em uma área experimental de ILPF da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA), Polo Regional de Desenvolvimento Tecnológico dos Agronegócios do Extremo Oeste, sediado no município de Andradina, localizado na região noroeste do Estado de São Paulo a 379 metros de altitude, latitude de 20°55'S e longitude de 51°23'W (Figura 1). O clima, segundo a classificação Köppen é tropical quente e úmido com inverno seco. A precipitação média anual é de 1.150 mm e a temperatura média anual é de 23°C. O solo da área experimental é classificado como Argissolo Vermelho Amarelo distrófico (SANTOS *et al*., 2018), com declividade média do terreno de 6%.

Figura 1. Localização da área de estudo. A: mapa do Brasil, com destaque para o Estado de São Paulo e para o município de Andradina. B: sistema ILPF da APTA de Andradina, Estado de São Paulo, Brasil, 2021.



Fonte:

A-https://pt.wikipedia.org/wiki/Andradina#/media/Ficheiro:SaoPaulo_Municip_Andradina.svg.

B-https://earth.google.com/web/search/Andradina/@-20.84182038,-51.34193049,379.82458662a,1477.87697639d,35y,0h,0t,0r/data=CigiJgokCWvJ2sXxZjNAEWnJ2sXxZjPAGa2XXIHYqiTAIcS24PHPsVvA adaptado.

3.2. Tratamentos utilizados

A área experimental é de 27 hectares, com aproximadamente 2 hectares por parcela. Sendo os tratamentos:

- T1 – integração lavoura-pecuária, sem o componente arbóreo (ILP);
- T2 – sistema agrosilvipastoril, com sombreamento de 1 linha de eucalipto, sendo a distância entre cada linha 17 a 21 m e a distância entre plantas de 2m (densidade de 200 árvores/ha) (ILPF 1L);
- T3 - sistema agrosilvipastoril, com sombreamento de 3 linhas de eucalipto, sendo a distância entre as faixas de eucalipto de 17 a 21 m e a distância entre plantas de 2m (densidade de 500 árvores/ha) (ILPF 3L);
- T4- plantio exclusivo de eucalipto, em espaçamento 3 x 2 m (BOSQUE);
- T5- pastagem degradada de capim Marandu (Pasto-controle);
- T6-vegetação nativa (Vegetação Nativa).

3.3. Histórico da área ILPF

O sistema ILPF foi implantado em julho de 2012. No momento da implantação do experimento, foi realizada a caracterização física e química do solo, que serviu de base para as correções do solo e adubações subsequentes, com a aplicação a lanço e incorporação de calcário dolomítico (PRNT 80%) na quantidade média de 1200 kg ha^{-1}, para elevação da saturação por bases a 70% e gesso agrícola em área total na quantidade de 600 kg ha^{-1}, visando fornecimento de enxofre às culturas, conforme recomendação do Boletim 100 (RAIJ *et al*. 1997) para o Estado de São Paulo.

Foram realizadas as operações mecanizadas (gradagem aradora e gradagem niveladora) no preparo da área experimental. A amostragem de solo para a caracterização inicial (camada de 0 a 0,20 m), os atributos químicos foram: pH ($CaCl_2$) 4,8; M.O. 15 g dm^{-}

^{3}; P (resina) 3 mg dm^{-3}; K^{+}, Ca^{2+}, Mg^{2+} e H+Al de 1,8; 7; 5 e 19 $mmol_c$ dm^{-3}, respectivamente; S 1 mg dm^{-3} e V% de 42%. Os teores de argila, silte e areia foram de 107; 113 e 780 g kg^{-1}, respectivamente.

A área de Vegetação Nativa é a Reserva Biológica de Andradina, criada pela Lei Estadual n° 4.920, de 17.12.85 sendo administrada pelo Pólo Regional de Desenvolvimento Tecnológico dos Agronegócios (PRDTA) do Extremo Oeste, da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA), órgão da Secretaria de Agricultura do Estado de São Paulo. Possui área de 168 ha, vegetação de transição entre a Floresta Estacional Semidecidual e o Cerrado.

3.3.1 Componente arbóreo

O plantio do eucalipto *Eucalyptus urograndis* (*Eucalyptus grandis* × *Eucalyptus urophylla),* identificado como clone I-224, foi realizado entre Outubro de 2012 e Março de 2013, por plantio manual, seguindo as curvas de nível presentes na área experimental. A adubação de plantio foi na dose de 350 kg ha^{-1} da fórmula 04-30-16, para população de 1667 plantas ha^{-1}, sendo que a área não foi plantada totalmente com eucaliptos. A quantidade de adubo por muda foi de 210 g por muda (8,4 g de N, 63 g de P_2O_5, 33,6 g de K_2O). No Sistema Agrosilvipastoril, com 1 linha de eucalipto, a distância entre cada linha 17 a 21 m e a distância entre plantas de 2m (densidade de 200 árvores ha^{-1}). No Sistema Agrosilvipastoril, eram 3 linhas de eucalipto, sendo a distância entre as faixas de eucalipto de 17 a 21 m e a distância entre plantas de 2m (densidade de 500 árvores ha^{-1});

A adubação de cobertura foi realizada 4 meses após o plantio, na qual foram utilizados 37 kg ha^{-1} de N, 3 kg ha^{-1} de zinco e 2 kg ha^{-1} de boro, aplicando-se 50 g de ureia (23 g de N), 9 g de sulfato de zinco (1,8 g de Zn) e 12 g de Borogran (1,2 g de B) em coroamento sob cada muda de eucalipto.

Após 12 meses do plantio foi feita outra adubação, com 120 kg ha^{-1} de N, utilizando 160 g de ureia (72 g de N) em forma de coroa sob cada muda. Conforme necessário foram realizados tratos culturais visando o controle de plantas-daninhas e irrigação pontual nas árvores recém-plantadas.

Replantios foram realizados em função da morte das mudas devido a temperaturas elevadas, concomitantes ao déficit hídrico (veranicos).

3.3.2 Produção da cultura da Soja

Em dezembro de 2012 foi cultivado soja (cultivar BMX potência), através da semeadora Semeato modelo SAM 200 com quatro linhas, com densidade de 20 sementes/m de sulco e espaçamento de 0,50 m entrelinhas, totalizando 400.000 sementes ha^{-1}. A adubação de semeadura foi de 300 kg ha^{-1} do fertilizante 4-30-16 (12 kg ha^{-1} de N, 90 kg ha^{-1} P_2O_5 e 48 kg ha^{-1} de K_2O). Em relação à adubação de cobertura, foi realizada aos 40 dias após a semeadura, aplicando-se 200 kg ha^{-1} do formulado 00- 20-20.

No mesmo período que a soja ocupava a área, o plantio dos eucaliptos ainda estava sendo realizado, conforme citado anteriormente.

A colheita da soja foi realizada em maio de 2013 e a produtividade média foi de 35 sacas ha^{-1} (TRIVELIN *et al*., 2020). Após a colheita da soja foi efetuado o controle das plantas daninhas emergentes na área, na sequência foi realizada a semeadura do milho em consórcio com *Urochloa brizantha* (Syn. *Brachiaria brizantha*) cv. Marandu. A área foi dessecada com utilização de herbicida a base de Glyfosate (Roundup WG), na dose de 1440 g i.a. ha^{-1} com volume de aplicação de 250 L ha^{-1}, por meio de pulverizador tratorizado de barras, utilizando bicos do tipo leque espaçados em 0,50 m.

3.3.3 Controle de plantas invasoras

O controle de plantas daninhas em pós-emergência na soja foi realizado em janeiro de 2013, aplicando herbicida a base de glyfosate (Zapp QI 620), na dose de 1240g i.a./ha com volume de aplicação de 250 L/ha^{-1} através do pulverizador tratorizado de barras, utilizando bicos do tipo leque espaçados em 0,50 m. Nesta aplicação, em mistura de tanque, utilizou-se fertilizante a base de cobalto e molibdênio (como Platinum), na dose de 0,22 e 2,25 g ha^{-1} de cada micronutriente respectivamente com o objetivo de melhorar a fixação biológica de nitrogênio pela Soja.

3.3.4 Produção da cultura do Milho e Pastagem

Em dezembro de 2013, foi semeado simultaneamente o Milho e o capim *Urochloa brizantha (Syn. Brachiaria brizantha)* cv. Marandu, na densidade de 8 kg ha^{-1} sementes

puras e viáveis, com espaçamento de 0,20 m com uso da semeadora Semeato modelo SAM 200, tracionada por um trator New Holland modelo TL 75 4 x 4.

As sementes de milho híbrido BG 7049 (Biogene) foram tratadas com inseticida à base de Thiametoxan (Cruiser 350) na dose de 105 g de i.a. por 100 de sementes. Para a semeadura do milho foi utilizado o espaçamento de 0,80 m entrelinhas, visando atingir a densidade populacional de 62.500 plantas por hectare. A adubação de semeadura foi na dose de 310 kg ha^{-1} do formulado 8-28-16, o que corresponde a 24,8 kg ha^{-1} de N, 86,8 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 49,6 kg ha^{-1} de K_2O, e 20 dias após a emergência das plantas de milho foi feita a adubação de cobertura com 90 kg ha^{-1} de N via ureia, ou seja, 200 kg de ureia ha^{-1}.

O milho foi colhido em março de 2014 para a produção de silagem.

A produção de milho nos sistemas com eucaliptos foi de 4.872 kg ha^{-1} e 17.757 kg ha^{-1}, respectivamente para massa seca e massa verde. No sistema de integração lavoura-pecuária foi 5.627 kg ha^{-1} e 19.474 kg ha^{-1}, respectivamente para massa seca e massa verde (DOMINGUES *et al.*, 2017).

3.3.5 Manejo da pastagem e bovinocultura

Em outubro de 2014 foram construídas as cercas e bebedouros nas áreas experimentais, e em dezembro do mesmo ano, ocorreu a uniformização da forragem por meio de roçagem mecânica a 0,15 m de altura do solo, seguida de adubação nitrogenada na dose de 45 kg ha^{-1} de N (ureia).

Em dezembro de 2014 os novilhos de corte da raça Nelore foram inseridos nas áreas (piquetes), com idade de 16 ± 2,8 meses e este ciclo foi finalizado em junho de 2016, com o abate dos animais. De julho a outubro de 2016, a área permaneceu sem animais para recuperação da pastagem e em novembro de 2016 a fevereiro de 2017, a área foi pastejada por vacas e novilhas da raça Nelore com altura de pastejo de 30cm.

Em março de 2017 foi feito o preparo da área através da adubação da pastagem na dose de 100 kg de ureia por ha^{-1}, correspondendo a 45 kg de N por ha^{-1} e procedeu-se ao diferimento da área, para o segundo experimento com novilhas ½Angus ½Nelore.

A segunda adubação deste experimento foi feita em janeiro de 2018, quando já havia começado o experimento, utilizando-se 180 kg ha^{-1} do formulado 20:5:20 (36 kg ha^{-1} de N, 86,8 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 36 kg ha^{-1} de K_2O). As novilhas ½ Angus ½ Nelore permaneceram na área até 20 junho de 2018 quando foram abatidas.

Infelizmente, no dia 30 de julho de 2018 a área pegou fogo, acometendo grande parte do experimento (em média 75% dos piquetes ILPF 1L e 3L). Após o incêndio, a área permaneceu sem animais até outubro de 2018 para recuperação. Em 23 de outubro de 2018, foi iniciado o pastejo da área por vacas e novilhas da raça Nelore.

3.3.6 Controle de insetos

Em fevereiro 2013, foi realizado controle do besouro *Costalimaita ferruginea vulgata*, com aplicação de inseticidas à base de Lambda-Cialotrina (Karate Zeon 50 CS) e Lufenuron (Match EC), nas doses de 7,5 g e 20 g de i.a. ha^{-1} de ambos compostos, respectivamente. Nas pulverizações de março, abril, outubro e novembro foi aplicado inseticida à base de Endosulfan (1 L ha^{-1}) na dose de 350 g de i.a. ha^{-1} via pulverizador atomizador com volume de aplicação de 250 L ha^{-1}.

Em janeiro de 2014 foi realizado controle de lagartas com aplicação de inseticidas químicos a base de Lambda-Cialotrina (Karate Zeon), na dosagem de 7,5 g i.a. ha^{-1} e inseticida a base de Lufenuron (Match CE) na dosagem de 15 g i.a. ha^{-1}, conjuntamente com herbicida seletivo para folha larga à base de Atrazina (Primóleo), na dose de 2400 g i.a. ha^{-1} para controle de plantas daninhas no milho e na pastagem por meio de pulverizador tratorizado de barras com volume de aplicação de 250 L ha^{-1}

Em fevereiro de 2014, foi feito novo controle da mesma espécie de besouro com aplicação de inseticidas a base de Clorpirifós (Lorsban 480 BR) e Tiametoxam (Actara 250 WG) nas doses de 350 e 50 g de i.a. ha^{-1} de ambos compostos, respectivamente, por meio de pulverizador tratorizado de 600 L, com utilização de barra na posição vertical e vazão de 250 L ha^{-1}.

3.4. Avaliação e preparo das amostras do solo

As amostras foram coletadas no período de dezembro a janeiro nos anos de 2020 e 2022 respectivamente, 8 e 10 anos após implantação dos SIPAs nos mesmos locais de amostragem.

As coletas de amostras deformadas de solo para a análise física e química, foram realizadas concomitantemente para as seguintes camadas: 0-0,05; 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m, com quatro repetições por tratamento, totalizando 69 amostras simples de solo. As

amostragens ocorreram nas entrelinhas dos Eucaliptos e nas demais áreas as coletas foram feitas em pontos aleatórios em zigue-zague dentro de cada parcela.

As análises físicas e químicas do solo, estão descritas a seguir:

3.5. Atributos físicos do solo

a) Estabilidade de agregados em água

Foi realizada a identificação do volume de solo em classes de tamanho de agregados de amostras naturais de solo, por peneiramento via seca, e posteriormente a exposição da amostra na agitação da peneira na água, em peneiramento por via úmida.

A determinação das frações desagregadas em cada peneira é efetuada através da pesagem. A avaliação do diâmetro médio ponderado é desenvolvida modo via seca, sendo a quantidade e distribuição proporcional dos agregados nas diferentes classes de tamanho são analisadas submetendo-se a amostra à oscilação vertical do conjunto de peneiras, mensuradas por meio da massa de agregados retidos nas diferentes peneiras.

Com referência ao diâmetro médio ponderado, que ocorre via úmida, a amostra de solo previamente submetida ao peneiramento via seco é reconstituída, umedecida e submetida ao peneiramento por via úmida, promovendo a fragmentação dos agregados pouco estáveis. A mensuração das frações retidas em cada peneira é feita por intermédio da pesagem depois da secagem em estufa. Dessas frações, são descontadas as partículas simples, obtendo-se finalmente a massa seca dos agregados estáveis em água. O diâmetro médio ponderado e índice de estabilidade de agregados, é analisada a partir da resistência que os agregados apresentam quando são submetidos à oscilação das peneiras em água. A estabilidade dos agregados da amostra global do solo é estimada mediante a relação entre o DMPu e o DMPs (TEIXEIRA *et al*., 2017).

Cálculo: $DMPs = \sum(Xis * W\text{is})$

$$DMPu = \sum(Xiu * Wiu)$$

DMPs: diâmetro médio ponderado, por via seca, em mm; **DMPu:** diâmetro médio ponderado, por via úmida, em mm; **Wis:** proporção de agregados em cada classe/peneira (i), por via seca, em %. Xis – diâmetro médio de cada classe, por via seca, em mm; **Wiu:**

proporção de agregados em cada classe/peneira (i), por via úmida, em %. Xiu – diâmetro médio de cada classe, por via úmida, em mm.

b) Grau de floculação

O grau de floculação que é a relação entre a argila naturalmente dispersa e a argila total, é obtida após a dispersão da amostra de solo, desta forma indica a fração de argila que se encontra floculada, assim como o grau de estabilidade dos agregados no solo, seguindo a metodologia proposta no manual de métodos e análises de solo Teixeira ***et al***. (2017), através do cálculo:

$$Gflo = \frac{(a - b)}{a} * 100$$

Gflo: grau de floculação, em dag kg^{-1} (%); **a:** Concentração de argila total, em g kg^{-1}; b: Concentração de argila dispersa em água, em g kg^{-1}.

c) Fracionamento físico da matéria orgânica do solo (FMO)

Foram determinados por oxidação da matéria orgânica via úmida, utilizando-se a solução de $K_2Cr_2O_7$ 0,167 mol L^{-1} em meio ácido (YEOMANS & BREMNER, 1988). As amostras de solo foram trituradas em almofariz de porcelana, passando-as pela peneira de 0,53 mm. O procedimento metodológico consiste na pesagem de 0,2 g de amostra de solo triturada. Após pesadas, as amostras foram colocadas em tubos de digestão, receberam 5 ml de $K_2Cr_2O_7$ 0,167 mol L^{-1} e 7,5 ml de H_2SO_4 concentrado e levadas ao bloco digestor a 170°C por 30 minutos. Após o resfriamento, o conteúdo dos tubos foi transferido quantitativamente para erlenmeyers de 125 ml, utilizando-se de água suficiente para obter um volume final de aproximadamente 80 ml. Em seguida, foram adicionadas 5 gotas de solução indicadora de ferroin. Foi realizada a titulação com a solução de Fe $(NH_4)_2(SO_4)_2$ 0,2 mol L^{-1}. Paralelamente, foram feitas 2 (duas) provas em branco, com e sem aquecimento.

O volume de sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação (V) foi calculado pela seguinte relação:

A quantidade de carbono orgânico é calculada com base no volume da solução de Sal de Mohr gasto na titulação da amostra (V), do branco aquecido (Vba) e do branco não aquecido (Vbn), conforme as equações:

$$A=[(Vba-Vam).(Vbn-Vba)/Vbn] + (Vba-Vam)$$

Em que:

Vba = volume gasto na titulação do branco controle com aquecimento.

Vbn = volume gasto na titulação do branco controle sem aquecimento.

Vam = volume gasto na titulação da amostra.

A = volume da solução de sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação.

$$CO\ (dag\ kg^{-1}) = \frac{(A).(\text{molaridade sulfato ferroso amoniacal}).(3).(100)}{\text{peso da amostra (mg)}}$$

Em que:

3 = resultado da relação entre o número de mols de $Cr_2O_7^-$ que reage com Fe^{+2} (1/6), multiplicado pelo número de mols de $Cr_2O_7^-$ que reage com o C (3/2), multiplicado pela massa atômica do C (12).

100 = fator de conversão de unidade (mg mg^{-1} para dag kg^{-1}). Obs: dag kg^{-1} é a mesma coisa que porcentagem, porém é necessário multiplicar o resultado por 10, para obter o valor em gramas.

CO = teor de carbono orgânico no solo.

d) Infiltração de água no solo e Condutividade de água em solo não saturado

Foram realizadas 3 avaliações em cada parcela experimental utilizando o mini infiltrômetro de disco (ZHANG, 1997). Esse equipamento utilizado para a avaliação da taxa

de infiltração de água no solo, é o equipamento ideal para as medições em campo, devido seu tamanho compacto e praticidade da água transportada, constituído por um tubo de acrílico com as devidas marcações de medição uma saída de ar e uma placa porosa, na qual entra em contato com a superfície do solo, o procedimento é registrado em função dos intervalos de 30 segundos (NAIK, GHOSH, PEKKAT, 2018; ZHANG, 1997).

Para a execução dos ensaios de determinação de Infiltração de água no solo e Condutividade de água em solo não saturado foram realizadas leituras a cada 30 segundos até atingir infiltração constante. O equipamento foi ajustado à carga hidráulica (ho) de 5 cm.

Na sequência é apresentado a fórmula utilizada para a determinação da infiltração de água no solo:

$$I = C_1 t + C_2 \sqrt{t}$$

em que:

I= Infiltração média de água no solo; C1 (m s^{-1}) = refere-se à condutividade hidráulica e C2 (m $s^{-1/2}$) à sortividade do solo; t= tempo.

Os dados obtidos em campo foram manipulados em planilha EXCEL® fornecida pelo fabricante permitindo assim a estimativa da condutividade hidráulica em solo não saturado, conforme a seguinte equação:

$$K = \frac{C1}{A}$$

O parâmetro C1 foi obtido na planilha EXCEL® utilizando-se a equação gerada a partir dos valores da infiltração acumulada e raiz quadrada do tempo. O parâmetro A é obtido em uma tabela fornecida pelo fabricante, sendo dependente do tipo de solo, da carga hidráulica aplicada, e do diâmetro do disco do infiltrômetro.

e) Resistência mecânica à penetração

Utilizamos o PENETRÔMETRO DIGITAL AUTOMÁTICO - TE-096 um equipamento eletrônico penetrolog, com cone tipo 2, operado manualmente (FALKER, 2021). A resistência mecânica do solo à penetração foi determinada nas mesmas camadas de solos que as outras características já estudadas. O penetrômetro foi configurado para registrar leituras a cada 10 mm de incremento de profundidade trabalhando a velocidade de penetração constante.

f) Umidade gravimétrica do solo

Para determinação de teor de água no solo, simultaneamente à mensuração da RP, foram coletadas amostras indeformadas de solo em pontos aleatórios da área, para cada tratamento, utilizando o trado tipo sonda, nas profundidades estudadas para as demais características do solo. A UG foi determinada pelo método clássico de pesagem (TEIXEIRA *et al*, 2017), coletando uma amostra de solo, e após a coleta deve-se preservar a umidade observada em campo. Em laboratório pesar (amostra úmida + recipiente) e transferir para estufa a 105 °C, deixando-a nessa condição até a massa constante. Retirar da estufa, colocar em dessecador, deixar esfriar e pesar (amostra seca + recipiente). Após esse procedimento efetuar os seguintes cálculos para a obtenção do teor de água no solo:

$$CGA = \left(\frac{a-b}{b}\right)$$

Em que: **CGA** – conteúdo gravimétrico de água (umidade em base gravimétrica), em kg kg -1. **a** – massa da amostra úmida, em g. **b** – massa da amostra seca a 105 ºC até atingir peso constante, em g.

g) Análise química do solo

Foram realizadas segundo metodologia descrita por Raij *et al*. (2001) e avaliados os teores de fósforo, potássio, magnésio e cálcio pelo método de extração com resina trocadora de íons. O teor de matéria orgânica foi determinado pelo método colorimétrico e o pH, em cloreto de cálcio, além da acidez potencial (hidrogênio + alumínio) a pH 7,0. Foram calculadas a soma de bases (SB = Ca + Mg + K), capacidade de troca catiônica (CTC = SB + (H + Al)) e saturação por bases (V% = (100 x SB) / CTC).

3.6 Análise estatística

Os estudos comparativos da análise multivariada, foi realizada através dos conjuntos de dados analisados, quanto à normalidade e homogeneidade de variância, pelos testes de Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente. À descrição de ambientes de produção, elaborou-se diagramas de box-plot. Finalmente, analisaram-se as soluções de recuperação de

degradação pela abordagem multivariada, ou seja: componentes principais. À interpretação de subconjuntos latentes, consideraram-se, somente, aqueles de autovalores iguais ou superiores a 1, pelo teste de Kaiser-Meyer-Olkin. As análises foram implementadas em ambiente de computação estatística e gráfica, do R-project da versão R x64.4.1.0 (R Core Team, 2021). As demais análises dos tratamentos foram realizadas através de Regressão Polinomial no EXCEL®.

3.7 Caracterização do solo de 2016

As amostras de solo da área experimental foram coletadas em 2016 para caracterização física e química inicial. Nesse ano houve somente 4 tratamentos analisados. Esses resultados embasaram as discussões das análises multivariada (PCA), dos anos 2020 e 2022, como descritos na Tabela 1.

Quadro 1. Atributos químicos e físicos do solo, nas camadas de 0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20m. APTA, Andradina (SP), 2016[(1)].

Trat.	Atributos do Solo									
	P - resina mg dm^3	MO g dm^3	pH $CaCl_2$	K mmolc dm^3	Ca mmolc dm^3	Mg mmolc dm^3	SB mmolc dm^3	RP (MPa)	UG (kg kg^1)	INF (mm h^{-1})
Bosque	5b	15b	5,3	2,38a	13	6,79c	20	1,25	0,036ab	69,24a
ILP	15a	21a	5,2	1,28b	14	9,42a	25	1,31	0,071a	75,0a
ILPF_1	9b	20ab	4,9	1,45b	11	7,45bc	18	1,27	0,043ab	66,1b
ILPF_3	7b	20ab	5,0	1,51b	12	9,04ab	21	1,29	0,036ab	61,2b
F	10,61*	4,076*	$0,932^{NS}$	75,282*	$2,467^{NS}$	7,839*	$0,955^{NS}$	$9,609^{NS}$	22,965*	5,195*
CV (%)	29,26	12,83	6,22	6,87	12,41	10,99	27,13	20,62	26,72	23,56

[(1)]Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade. *Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F. ILPF_1: integração lavoura-pecuária-floresta em linhas simples de eucalipto; ILPF_3: integração lavoura-pecuária-floresta, em linhas triplas de eucalipto, Bosque: plantio exclusivo de eucalipto. MO: Matéria Orgânica, SB: Soma de Bases, RMP: Resistência Mecânica à Penetração, UG: Umidade Gravimétrica, INF: taxa de Infiltração de água. Total de 96 amostras. Adaptado de Bonini et al. (2016).

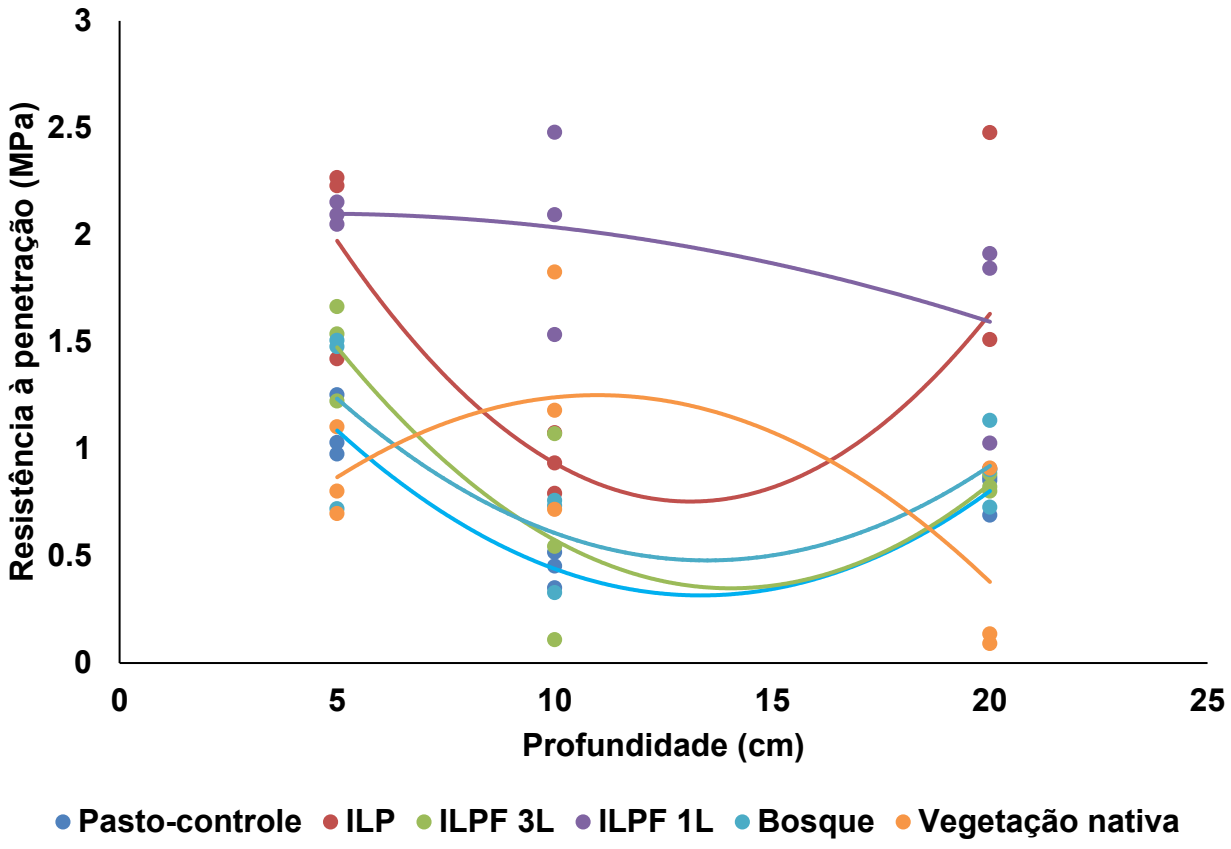
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO (2020)

4.1 Resistência Mecânica do solo à penetração

Em consideração aos valores impeditivos de resistência mecânica do solo à penetração (RMP), o solo inicia o processo restritivo ao sistema radicular a partir de 2 MPa (REYNOLDS *et al.*, 2002). Portanto os sistemas ILPF 1L e ILP demonstraram nas camadas de solo analisadas, valores acima do considerado limitante, havendo situação crítica ao desenvolvimento do sistema radicular das plantas. Aos demais sistemas obtiveram baixa RMP.

Observa-se no ano de 2020, a relação entre a RMP e suas respectivas profundidades de 0,00-0,05m, 0,05-0,10m, 0,10-0,20m e os ambientes analisados (Figura 2).

Figura 2. Resistência mecânica à penetração do solo (MPa) nas profundidades analisadas. APTA, Andradina-SP, 2020.



Fonte: (MATOS, 2022).

Tabela 2. Coeficientes de regressão da Resistência Mecânica à Penetração em SIPAs. APTA, Andradina (SP), 2020.

TRATAMENTOS	EQUAÇÃO DA RETA	COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO
ILPF 1L	$y = -0.0351x + 2.3196$	$R^2 = 0.3096$
ILPF 3L	$y = 0.0138x^2 - 0.3864x + 3.0632$	$R^2 = 0.6927$
ILP	$y = 0.0185x^2 - 0.4853x + 3.9364$	$R^2 = 0.4895$
Bosque	$y = 0.0105x^2 - 0.2824x + 2.3855$	$R^2 = 0.4971$
Vegetação Nativa	$y = -0.0107x^2 + 0.2355x - 0.0415$	$R^2 = 0.4975$
Pasto-controle	$y = 0.011x^2 - 0.2948x + 2.2844$	$R^2 = 0.8917$

Fonte: (MATOS, 2022).

Nota-se que os tratamentos Bosque, Pasto-controle e ILPF 3L apresentaram os menores valores de resistência mecânica, em virtude da RMP apresentarem em média ponto mínimo de 0.5 MPa na profundidade de 0,10-0,15m. Em contrapartida, o componente ILPF 1L apresentou o pior índice de RMP pelo ponto máximo ser de 2,2 MPa na profundidade de 0,10-0,15m.

Nas camadas mais superficiais, os resultados demonstram que o tratamento Bosque (plantio exclusivo de Eucalipto), Pasto-controle (componente pastagem degradada) e ILPF 3L possuem resultados de RMP semelhantes por possuírem umidade do solo similares, quando relacionado com os demais tratamentos. É importante salientar, que não houve pastejo e movimentação de maquinário na área do Bosque, evidenciando que as camadas analisadas não estão compactadas.

Em relação à Pastagem-controle, Santana *et al*. (2018) verificaram na pastagem convencional, as camadas superficiais do solo até a profundidade de 40cm, a RMP obteve resultado 2 MPa, sendo considerado abaixo do nível crítico quando comparado ao tratamento ILPF, justificando esse fato de ter a maior umidade do solo, já que o ILPF tende a possuir menor umidade, em virtude do consumo de água pelas plantas. Porém neste presente estudo, confronta os dados comparados, em virtude do tratamento Pasto-controle obter baixa umidade em solo arenoso.

Em adição, o Pasto-controle resultou em baixa RMP e alta taxa de infiltração de água, quando comparado com os demais tratamentos. Em hipótese, esse fato ocorreu em razão

da decomposição das raízes da pastagem formarem canais no solo, favorecendo a infiltração da água, além de atuarem como descompactador, na quebra de camadas compactadas. Conforme Marchini *et al*. (2015) a presença de gramíneas em sistemas produtivos é importante na deposição de material orgânico e na reestruturação do solo, visto que o sistema radicular fasciculado, forma canais de infiltração, contribuindo para o armazenamento de água no solo, e também descompactando-o.

O ILPF 3L propiciou baixa RMP neste estudo, assim como Santana *et al*. (2019), observaram que o deslocamento de bovinos em sistemas integrados, é influenciado pela presença e densidade de árvores, condições ambientais e características da pastagem, visto que as árvores são consideradas uma barreira física para o deslocamento dos animais.

No componente ILPF 1L o valor de RMP (2,2 MPa) observado foi superior em comparação aos demais tratamentos, nas camadas de 0,10-0,15m, a partir disso, inicia a restrição do solo ao crescimento das plantas. Esse fato ocorre devido ao solo possuir menor retenção de água nas camadas superiores, isso quando comparados com os demais tratamentos. Esse fato pode promover a baixa infiltração e consequente escoamento superficial de água, e arraste das partículas de solo. A relação do teor de água com a compactação do solo é inversamente proporcional, como observado nessa análise, onde a resistência foi maior devido ao menor teor de água no solo no tratamento ILPF 1L. Esse comportamento também foi mencionado por Assis *et al*. (2009), em que, o incremento do teor de água favoreceu a avaliação da RMP, tornando o solo mais plástico em virtude da ação lubrificante entre as partículas que o compõem, promovendo equilíbrio entre as forças de coesão e adesão do solo.

4.2 Infiltração de Água no Solo

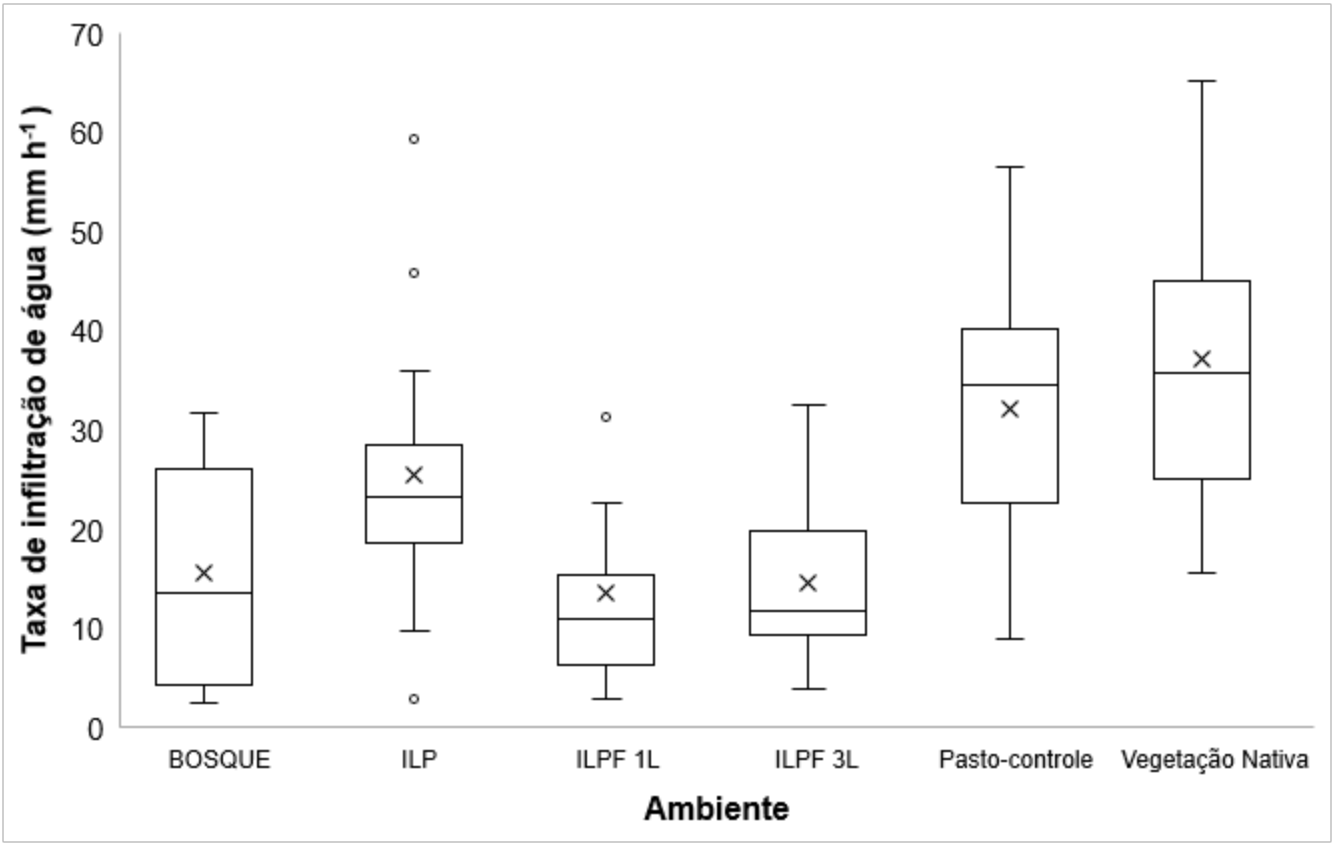
Os valores de taxa de infiltração de água encontradas para os diferentes sistemas são apresentados na Figura 3. No ano de 2020, a alta taxa de infiltração de água no solo do tratamento Vegetação Nativa demonstrou valores entre 28 e 45 mm h^{-1} e foram encontrados resultados semelhantes no Pasto-controle com 25 e 40 mm h^{-1}. Diferente do comportamento encontrado em ILPF 1L, pelo qual as taxas de infiltração foi a mais baixa, com valores entre 8 e 15 mm h^{-1}. Possivelmente esse fato pode ter ocorrido pela presença

de compactação das camadas inferiores, provenientes de pé de grade de cultivos anteriores.

A maioria dos valores de infiltração estão abaixo da taxa estável como determinado por Rawls *et al*., (1996), pois em solos de textura Areia franca áreas de pastagem é recomendável que esteja na faixa de 38,1 até 111,8 mm h $^{-1}$ e 38,1 até 94,0 mm h $^{-1}$ para áreas cultivadas.

Em média, os valores de infiltração foram baixos, muito em virtude do período analisado. Houve precipitação na área de estudo 4 dias antes de ocorrer a análise de infiltração, portanto o solo ainda estava saturado de água e a infiltração sofreu influências da alta umidade, sendo este atributo inversamente proporcional à umidade do solo.

Figura 3. Taxa de infiltração de água no solo (mm h^{-1}) nos sistemas avaliados. APTA, Andradina-SP, 2020.



Fonte: (MATOS, 2022).

Esses dados relacionam-se com o trabalho realizado por Parron *et al*. (2015), no qual os tratamentos ILP, ILPF apresentaram taxa de infiltração inferior aos sistemas de Bosque

e Vegetação Nativa. Porém este resultado, não pode minimizar a importância dos sistemas integrados, em virtude dos atributos físico-químico e biológico serem afetados beneficamente pela maior complexidade ecológica, promovendo melhoria do solo (PALM *et al*., 2014).

A Vegetação Nativa se destacou em consequência da decomposição das raízes das espécies arbóreas formarem canais e através deles há maior taxa de infiltração da água no solo, gerando o maior aporte de água em subsuperfície ao longo do anos (WU *et al*., 2021). As raízes mais desenvolvidas são decompostas, enquanto as mais finas permanecem no solo influenciando os processos de infiltração e estruturação (CUI *et al*., 2019b), como também evidenciado, o Pasto-controle mostrou eficiência na infiltração, em virtude da qualidade estrutural e porosidade, podem melhorar a capacidade de infiltração (FISCHER *et al*, 2014, WU *et al*., 2021). Além disso, o crescimento e decomposição das raízes promovem a infiltração na pastagem, aumentando os macroporos na camada superficial do solo (GOULD *et al*., 2016, CUI *et al*., 2019, DÖBERT *et al*., 2021).

Esses fatos ocorrem por efeito do diâmetro radicular, por ser um dos principais fatores que determinam a decomposição da raiz, havendo diferenças significativas entre decomposição de raízes finas e grossas (WELLS e EISSENSTAT, 2001, ZHANG e WANG, 2015). O sistema radicular de gramíneas possui diâmetro menor e taxa de decomposição mais rápida, desse modo, promovem a formação de macroporos e consequente rápida infiltração da água (CUI; HUANG; WANG *et al*., 2022).

Outro fato a destacar, é a presença de serrapilheira na Vegetação Nativa que propicia o acúmulo de matéria orgânica e umidade no horizonte superficial do solo, favorecendo a porosidade, além de tornar o solo menos resistente à penetração (Figura 2), portanto menos exposto à processos degradativos.

Estudos anteriores mostraram que a capacidade de infiltração de água no solo é influenciado por diversas propriedades do próprio solo e características da vegetação. Assim, o teor de matéria orgânica, porosidade, tipo de raízes e densidade (BORMANN e KLAASSEN, 2008, LEUNG *et al*., 2015), textura, estrutura do solo são propriedades determinantes da percolação da água no solo, sendo que, determinam a disposição e quantidade dos poros (SANTOS e PEREIRA, 2013).

Franzluebbers (2002) mencionou em seu trabalho que a matéria orgânica e a agregação do solo, favorecem a infiltração em quatro vezes a mais que a média, ademais, Fischer *et al*., (2014) comentaram que as raízes em decomposição favoreceram a

capacidade de infiltração, por ação da mudança na atividade de escavação e biomassa das minhocas. Em relação à textura do solo, Argissolos vermelho retêm mais água sob manejos de plantio direto, quando comparado com manejo convencional, nas camadas superficiais do solo, bem como a disponibilidade de água para as plantas. A distribuição decrescente dos mesoporos em sistema de plantio direto apresentam diâmetros maiores contendo menos energia de retenção de água às plantas que no solo em cultivo convencional, cuja mesoporosidade possui curva de distribuição normal (DALMAGO *et al*., 2009).

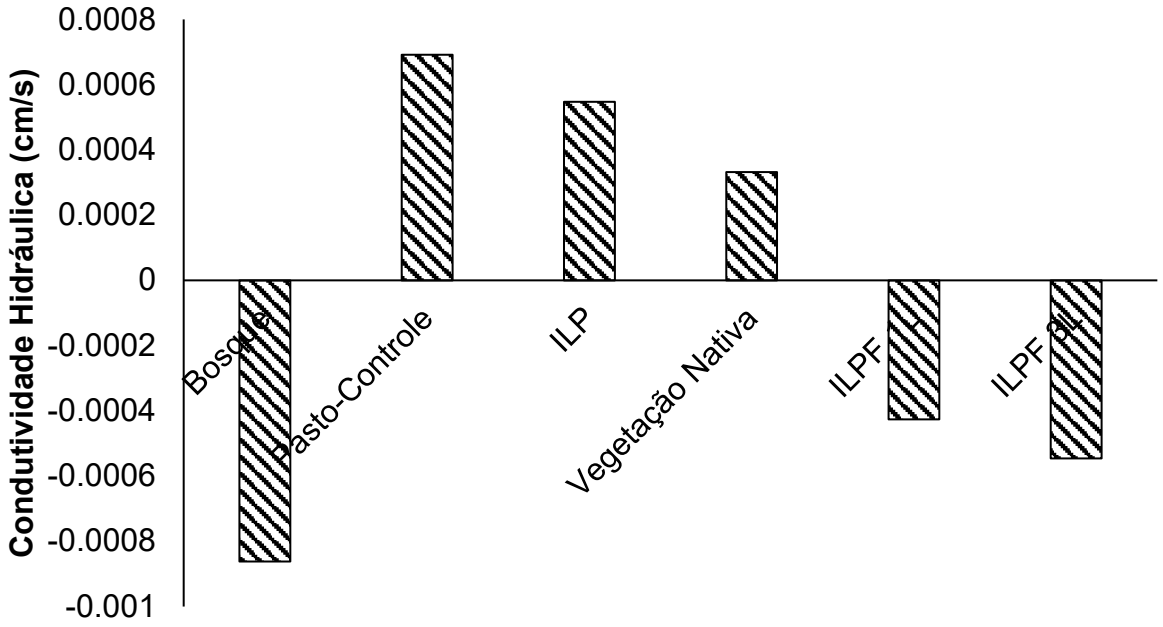
Os baixos valores da taxa de infiltração obtidos para ILPF 1L são consequência da compactação do solo que foi demonstrada pelo atributo de Resistência do solo à penetração e baixo teor de umidade neste mesmo trabalho. Além desses fatos, o tratamento em questão, se encontra em declive (média 6%), podendo a infiltração estar relacionada à fator geomorfológico, principalmente vinculado ao relevo que afeta a dinâmica da água no solo. A forma do declive estabelece áreas de convergência e divergência dos fluxos (BOTELHO e SILVA, 2004) instaurando áreas de menor e maior infiltração (SHOENEBERGER e WYSOCKI, 2005).

4.3 Condutividade Hidráulica de Solo Não Saturado

Nos sistemas integrados, de acordo com o movimento da água no solo, o valor de K(Ɵ) é a condutividade hidráulica não saturada do solo. Nota-se que o sistema Pasto-controle demonstrou maior valor de K conforme apresentado na Figura 4. Esse fato está relacionado diretamente com a alta taxa de infiltração de água no solo (Figura 3) e a baixa Resistência Mecânica à penetração desse sistema (Figura 2).

Assim como verificado por Libardi & Melo filho (2006), os solos não saturados, possuem relação entre o conteúdo de água no solo e a condutividade hidráulica, demonstrando comportamento diretamente proporcional (LIBARDI & MELO FILHO 2006), ou seja, quanto maior a taxa de infiltração maior será o valor de K. Estes elementos podem promover as mudanças diretamente na área não saturada do solo, de modo a controlar o comportamento da infiltração de água no solo, realizando a recarga de aquíferos (MANZIONE *et al*. 2015).

Figura 4. Valores médios de condutividade hidráulica em solo não saturado em SIPAs. APTA, Andradina (SP), 2020.



Fonte: (MATOS, 2022).

Além desse fato, a MO influencia positivamente, de modo a aumentar a condutividade hidráulica e/ou a reter água no solo (NEMES *et al*. 2005). Em contrapartida, os resultados da MO na área de Pasto-controle não foram condizentes nas camadas superficiais do solo. Provavelmente o valor de K foi influenciado pelo teor de MO em subsuperfície (0,05-0,10m e 0,10-0,20m).

A condutividade hidráulica foi baixa no Bosque, em virtude dos distintos manejos do solo, pois influenciam a condutividade hidráulica, mesmo que em solos com texturas semelhantes. Práticas mais intensivas realizadas no período da implantação da área experimental, através do manejo convencional do solo, levaram à diminuição da condutividade hidráulica, dessa maneira, como citou Zimmermann *et al*. (2006) os valores reduzidos de K (Ɵ) é comumente encontrado em áreas agrícolas e de pastagem do que em áreas com vegetação natural.

É importante salientar que solos arenosos diferem dos argilosos em textura. Isso remete ao teor de porosidade do solo que está intimamente ligado à K (Ɵ), pois Argissolos possuem menor tamanho de partículas do solo, menor será a área de espaços vazios entre as partículas e consequentemente, menor será a K (Ɵ). De acordo com Abreu (2020) os solos de granulometria fina são capazes de possuir grande parte dos poros saturados.

Desse modo, com baixos valores de K (θ), a condutividade hidráulica não saturada de uma argila pode ser maior do que de uma areia (ABREU, 2020).

4.4 Umidade Gravimétrica

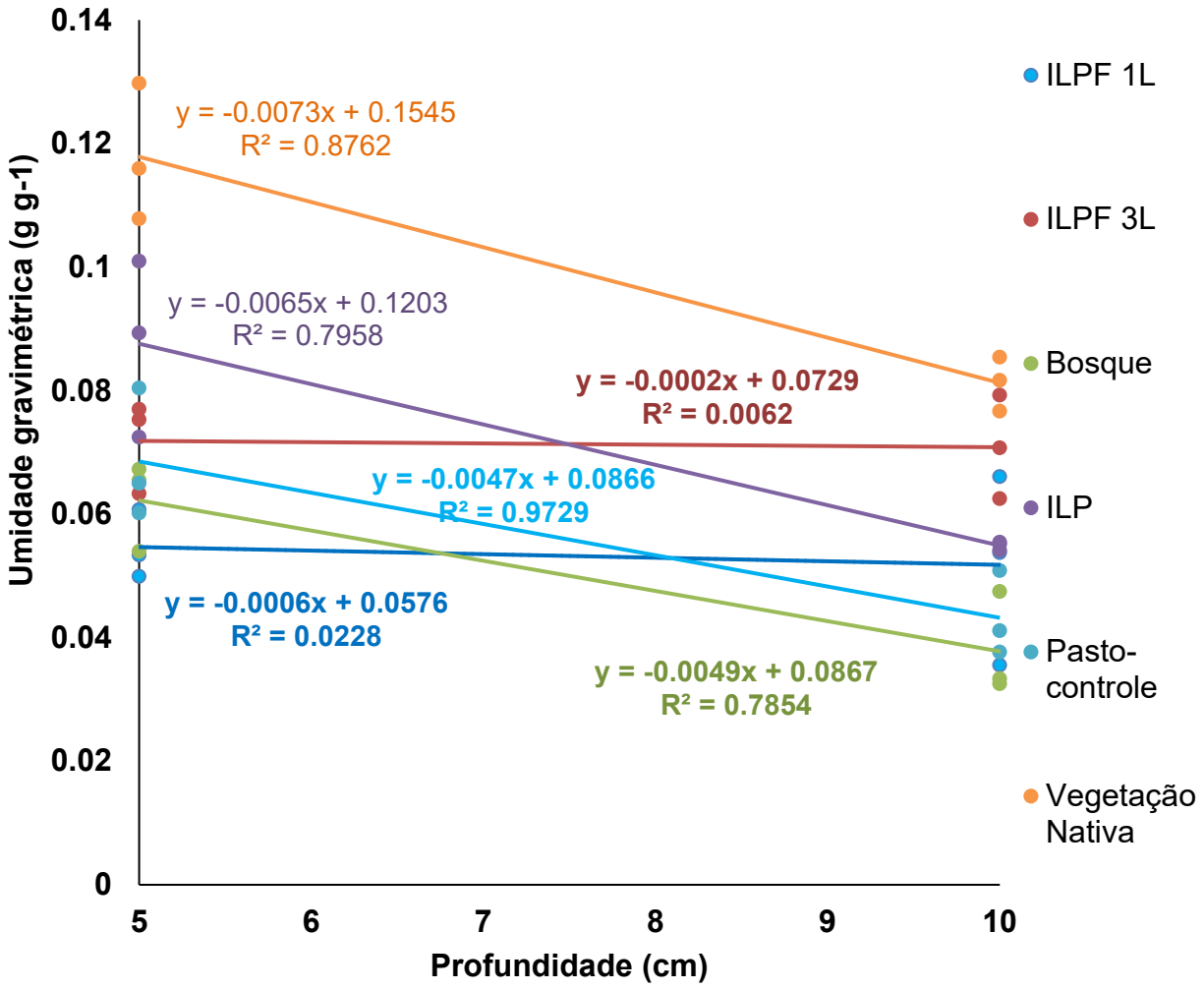
A umidade do solo na (Figura 5), mostra que a interação entre tratamentos, suas respectivas umidades e profundidades. Em análise do ano de 2020, o tratamento que se destacou positivamente foi a Vegetação Nativa, e ILPF 1L foi o destaque negativo.

A relação entre compactação do solo, assim como, a resistência à penetração, e o teor de água do solo, são inversamente proporcionais, sendo este trabalho a comprovação desse fato, pelo qual, o tratamento que possui o menor teor de água é o mesmo que possui a maior RMP.

Também Luciano *et al*. (2012) atesta que o teor de água favoreceu a análise de RMP, tornando o solo mais plástico, sendo este o principal fator que compacta os solos agricultáveis, em virtude da ação lubrificante da água que reduz a ação de adesão e coesão, permitindo o deslizamento entre as partículas que os compõem, quando submetido à pressão, sendo a característica da textura do solo, facilitadora do processo.

Outro ponto a destacar, é a localização do tratamento ILPF 1L no local do estudo. Este tratamento está localizado no topo do relevo ondulado, sendo passível de ser afetado por condições adversas, principalmente, o relevo declivoso que promove a baixa taxa de infiltração, e pela ação das gotas de chuva serem o agente causador da desagregação e arraste das partículas ao longo do perfil de maior declive para menor declive, além de dificultar a retenção de água no solo e promover a lixiviação de nutrientes.

Figura 5. Teor de água no solo (g g^{-1}) nas profundidades analisadas em SIPAs. APTA, Andradina-SP, 2020.



Fonte: (MATOS, 2022).

Estudos apontam que a topografia do terreno expressa alto controle sobre os processos hidrológicos superficiais e ecossistemas, influenciando a precipitação, radiação solar, evaporação, escoamento superficial da água, umidade do solo e tipo de vegetação. As condições de fluxo de massa e energia, podem influir sobre a vegetação e sua sucessão, e esse fluxo pode ser influenciado pela topografia, através do conjunto de influências do aclive e declive, rugosidade e orientação do terreno. Sendo esses parâmetros topográficos determinantes para a exposição da paisagem, condicionando dessa forma, o microclima (DIXON, 1995).

Equitativamente, a Vegetação Nativa foi influenciada positivamente, similar ao verificado por Dixon (1995) pois este tratamento está localizado no ponto mais baixo do

relevo, e assim recebe e retêm o maior teor de água, dentre todos os tratamentos analisados. Além disso, a serapilheira está presente na camada superficial do solo, fornecendo material orgânico da decomposição dos restos vegetais, favorecendo os aspectos microbiológicos e retendo a água no solo.

4.5 Textura do Solo

A análise granulométrica foi realizada com a finalidade de complementar a análise de Grau de Floculação, em razão da textura do solo possuir baixa variabilidade espacial e ser considerada como a propriedade física que dificilmente sofre modificações no manejo e preparo do solo (Tabela 3).

Os valores médios de areia, silte e argila, demonstrados nesse trabalho resultaram em pequena alteração entre os componentes, em virtude da textura ser uma característica natural do solo.

Tabela 3. Distribuições de tamanho de partículas das áreas de SIPAs. APTA, Andradina, SP (2020).

Tratamentos	Argila (g kg $^{-1}$)	Areia (g kg $^{-1}$)	Silte (g kg $^{-1}$)
	Camada 0,0 a 0,05m		
ILP	86,0	780,7	133,2
ILPF 1L	91,8	854,1	54,0
ILPF 3L	93,5	809,7	96,6
Bosque	76,3	861,3	62,2
Pasto-controle	71,5	809,9	118,5
Vegetação Nativa	62,1	814,5	123,3
	Camada 0,05 a 0,10m		
ILP	99,6	770,1	130,2
ILPF 1L	124,3	765,6	110,0
ILPF 3L	100,6	808,7	90,6
Bosque	83,9	833,1	82,9
Pasto-controle	77,5	807,5	114,9
Vegetação Nativa	61,7	825,0	113,2
	Camada 0,10 a 0,20m		

ILP	144,6	754,9	130,4
ILPF 1L	138,6	757,5	103,7
ILPF 3L	107,8	808,2	82,9
Bosque	101,5	827,0	71,4
Pasto-controle	74,5	808,7	116,7
Vegetação Nativa	61,9	819,7	118,2

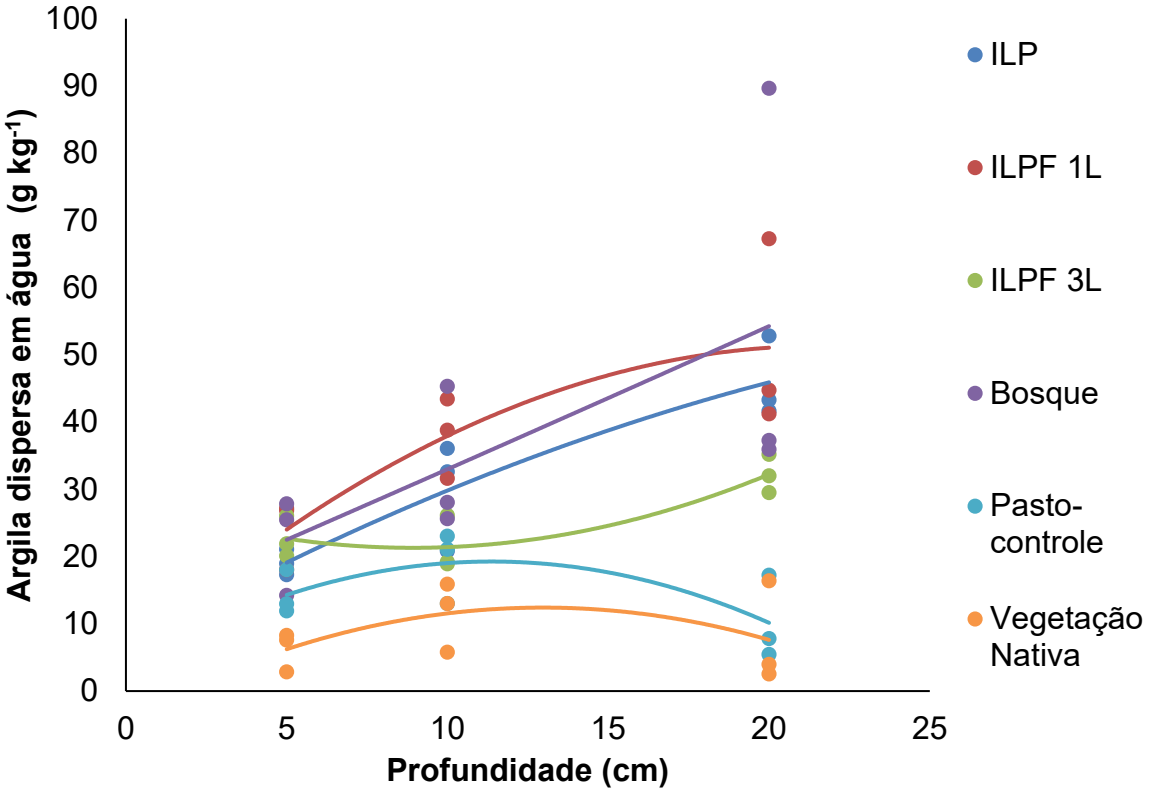
Fonte: (MATOS, 2022).

4.6 Argila Dispersa em Água e Grau de floculação

4.6.1 Argila Dispersa (ADA)

A ADA evidenciou a relação diretamente proporcional com a profundidade do perfil do solo, no tratamento ILPF 1L, expondo que quanto maior a profundidade do solo (>0,20m), maior o teor de ADA, indicando ser um solo com má estruturação. Enquanto a Vegetação Nativa e o Pasto-controle, apresentaram comportamentos semelhantes, de quanto maior a profundidade do solo, menor o valor de ADA, indicando ser um solo com boa estruturação (Figura 6 e Tabela 4).

Figura 6. Argila dispersa em água (ADA) dos SIPAs e as respectivas profundidades do solo. APTA, Andradina-SP, 2020.



Fonte: (MATOS, 2022).

No contexto geral, na média das camadas de solo analisadas, houve acréscimo da ADA em profundidade. Este fato ocorre em virtude da relação com o baixo teor de matéria orgânica (MO), concordando com Freitas *et al*. (2013) e Levinski (2014) justificando a veracidade desse estudo.

Na camada superficial (0-0,05m), constatou-se o menor valor de ADA, por estar relacionado ao maior aporte de MO nessa camada, visto que, o grau de dispersão da argila no solo é influenciado pela instabilidade estrutural ou manejo inadequado. Essa diminuição do ADA é efeito benéfico promovido pela MO no sistema, pela disponibilização de cargas elétricas e ação cimentante (AGNE & KLEIN, 2014).

Tabela 4. Coeficientes de regressão do teor de argila dispersa em água (ADA) em SIPAs. APTA, Andradina (SP), 2020.

TRATAMENTOS	EQUAÇÃO DA RETA	COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO
ILPF 1L	$y= -0,0983x^2 +4,2619x + 5,1657$	0,6768
ILPF 3L	$y= 0,0089x^2 -1,5893x + 28,401$	0,7549
ILP	$y= -0,0356x^2 +2,6767x + 6,6164$	0,8402
Bosque	$y= 0,002x^2 +2,0671x + 12,118$	0,4153
Vegetação Nativa	$y= -0,0972x^2 +2,523x – 3,9549$	0,1956
Pasto-controle	$y= -0,1224x^2 +2,7832x + 3,4444$	0,4324

Fonte: (MATOS, 2022).

O maior valor de ADA em ILPF 1L, se deve ao fato como relatou Ferreira (2010), que quanto mais ativa for a fração argila, maior será a adsorção da água gerando maior quantidade de argila dispersa na água. Além disso, Alleoni *et al*. (2009) constataram que a ADA pode estar relacionada com a estabilidade de agregados em água, quantidade e tipo dos cátions trocáveis, quantidade de agentes complexantes, minerais silicatados, força iônica, teores de óxido de Ferro e Alumínio, pH do solo.

Ademais, a argila dispersa na ILPF 1L promoveu a redução na água percolada no solo, em virtude da obstrução de poros por partículas finas que ficaram dispersas, como verificaram Albuquerque *et al*. (2003), reafirmando a correlação entre os resultados da infiltração de água com a ADA desse trabalho.

Em estudos realizados por Cruz *et al*. (2014), houve a relação inversamente proporcional entre GF e ADA, ou seja, quanto maior o valor da argila dispersa, menor será o grau de floculação. Além disso, a ADA e GF são fatores imprescindíveis na formação e estabilização dos agregados do solo. No trabalho dos autores citados, os resultados da ADA foram iguais entre floresta natural e pastagem cultivada há 30 anos (média de 6,8% na camada de 0-0,10m), corroborando com os dados do presente trabalho. Esses autores relataram o aumento da ADA ao longo da profundidade do perfil, sendo 8% na camada de 0,10-0,20m e 13% na camada de 0,20-0,40m.

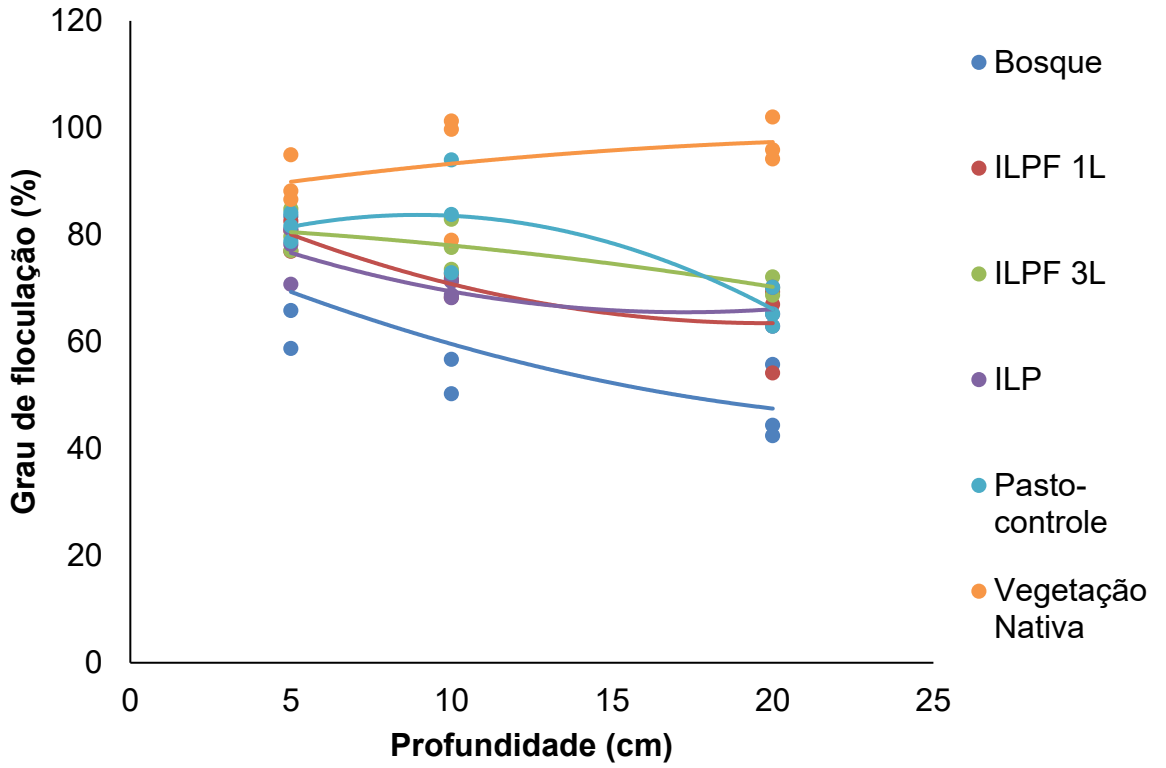
4.6.2 Grau de Floculação (GF)

No que se refere ao GF (Figura 7 e Tabela 5), os dados de Vegetação Nativa demonstraram que, quanto mais profundo o perfil do solo, maior o valor do GF, portanto além de apresentar qualidade física melhor, quando comparada ao Bosque, o grau de floculação da argila representa adequada formação e estabilização dos agregados do solo. A partir disso, o comportamento do GF foi reduzindo de acordo com a profundidade do solo (Figura 7).

Em termos abrangentes, a maioria dos ambientes ocorreram redução do GF conforme se aprofunda no perfil, especialmente após 0,05m.

Na camada de 0-0,05m, foram identificados valores médios de 70-100% de GF, enquanto de 0,05-0,10m, com 60-96% e de 0,10-0,20m com 50-100%, esses valores demonstram que camadas superficiais do solo possuem maior quantidade de MO e consequentemente, maior será o valor do GF. Em contrapartida, Cruz *et al*. (2014) observaram valores médios de 73% de GF na camada de 0-0,10m, 72% na camada 0,10-0,20m e 60% na camada de 0,20-0,40m, em floresta no Argissolo Amarelo, no estado de Roraima. Os autores associaram que, quanto maior o GF, maior será o teor de MO como identificado na superfície do solo. Portanto, o comportamento do solo neste trabalho é semelhante ao do solo em estudo, reafirmando os resultados encontrados.

Figura 7. Grau de floculação (GF) nos SIPAs e as respectivas profundidades do solo. APTA, Andradina (SP), 2020.



Fonte: (MATOS, 2022).

Tabela 5. Coeficientes de regressão do Grau de Floculação (GF) em SIPAs. APTA, Andradina (SP), 2020.

TRATAMENTOS	EQUAÇÃO DA RETA	COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO
ILPF 1L	$y = 0.0749x^2 - 2.9787x + 93.091$	0.7216
ILPF 3L	$y = -0.0184x^2 - 0.2231x + 82.079$	0.6767
ILP	$y = 0.0741x^2 - 2.5553x + 87.565$	0.6618
Bosque	$y = 0.0496x^2 - 2.6948x + 81.572$	0.5162
Vegetação Nativa	$y = -0.0182x^2 + 0.9514x + 85.619$	0.1779
Pasto-controle	$y = -0.1441x^2 + 2.5751x + 72.22$	0.6736

Fonte: (MATOS, 2022).

A diferenciação estrutural do solo gerada pela MO tem influências do tipo de material orgânico, tal como, as substâncias húmicas atuam sobre a estabilidade coloidal da suspensão de argilas (ALBUQUERQUE *et al*., 2003). A MO é mais atuante em camadas superficiais, em subsuperfície os íons Al^{+3} e H^{+} são os agentes floculantes (NGUETNKAM; DULTZ, 2014).

O resultado encontrado no Bosque, pode estar associado com o histórico da área cultivada, sendo que, anteriormente à implantação do experimento, havia pastagem e consequente pisoteio animal, favorecendo desse modo a compactação e posterior redução no GF do solo. Porém, presume-se que ao longo do tempo ocorra incremento no GF em consequência da área cultivada somente com Eucalipto, pois de acordo com Metzner *et al*. (2003), o solo não revolvido, a argila e a M.O. contribuem como agregantes na floculação.

4.7 Agregados do solo

4.7.1 Diâmetro Médio Ponderado

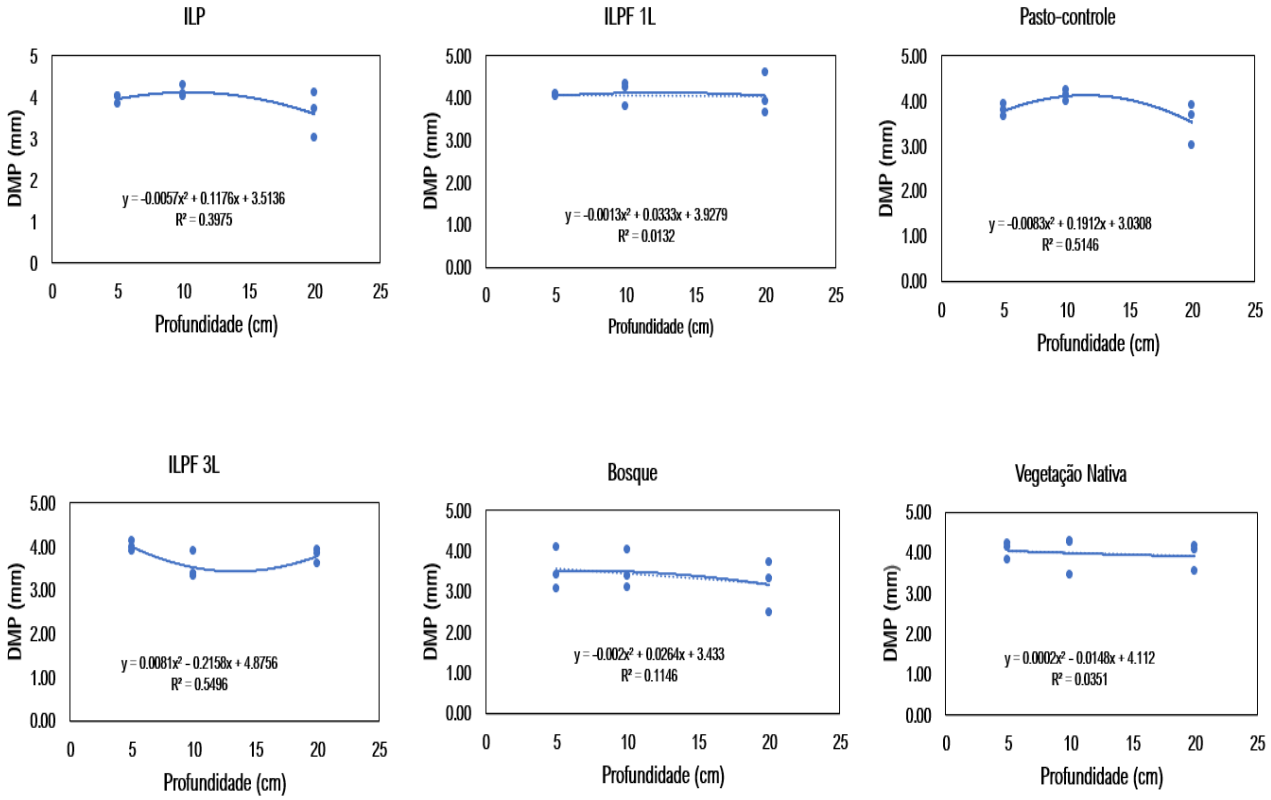
A mensuração do diâmetro médio ponderado (DMP) está representada na Figura 8.

Verifica-se que o DMP no ano de 2020 atingiu o valor máximo de 4mm e mínimo de 3mm em média. Os sistemas de cultivo tiveram resultados semelhantes, porém, o Pasto-controle com valor de até 4,3mm, na camada de 0,00-0,05 e 0,05-0,10m e ILPF 3L com 3,5mm, na camada de 0,00-0,05 e 0,05-0,10m se destacaram. Posteriormente houve redução do DMP em profundidade e igualando nas camadas de solo amostradas, entretanto, somente o ILPF 3L teve comportamento oposto.

Estudos realizados por Arevalo-hernandez *et al*. (2016) abordaram que não houve diferenças significativas entre profundidade e os tratamentos avaliados para a DMP, e Paiva e Araújo (2012) ressaltaram que os sistemas agrosilvipastoris se apresentaram como eficazes para evitar a erosão, corroborando com os dados desse trabalho.

Em comparativo a todos os tratamentos, os valores de DMP demonstram que este solo está se recuperando, ou seja, o DMP está semelhante aos valores da Vegetação Nativa. Outro fato importante é o tempo de instalação do experimento, que está sendo conduzido desde 2012, sendo que o longo período de análise desse experimento, viabilizou o incremento na qualidade das características físicas do solo.

Figura 8. Diâmetro médio ponderado (DMP) em SIPAs, nas camadas de solo amostradas, APTA, Andradina (SP), 2020.



Fonte: (MATOS, 2022).

É notório neste trabalho a presença da classe de macroagregados com tamanho médio de 4mm, sendo esse fato, um parâmetro norteador de condição estrutural desejável, pois agregados desse tamanho, estão associados com solos de alta atividade biológica e porosidade visível, permitindo o solo exercer suas funções adequadamente, contendo fertilidade e produtividade interessante agronomicamente (RALISCH *et al*., 2017).

A integração do pastejo, quando desenvolvida de modo adequado, propicia benefícios para a qualidade do solo e da água a longo prazo, como observado por Moraes *et al*. (2014b) que a produção de ácidos orgânicos solúveis em água promove a agregação do solo de acordo com o pastejo, favorecendo a aproximação de partículas finas em profundidade ao longo dos anos.

Em contraste, em estudo realizado por Cruz (2017), o autor afirmou que sistemas integrados de produção em Argissolo com duração de 8 anos, o DMP em sistema integrado, foram baixos e não diferiram estatisticamente nos tratamentos ILP, Floresta Nativa e IPF nas camadas de 0,00-0,10m. Na camada de 0,10-0,20m os tratamentos ILP e Pastagem,

apresentaram os maiores valores. Sendo que, os maiores valores de DMP nas camadas superficiais são indicadores de que a MOS promoveu efeitos benéficos para a agregação do solo, em virtude dos resíduos orgânicos.

O Diâmetro Médio Ponderado está relacionado à porcentagem dos agregados grandes e o Diâmetro Médio Geométrico retrata a estimativa do tamanho da classe de maior ocorrência entre os agregados. Em vista disso, quanto maior for o agregado, mais espaços porosos entre partículas, melhor será a taxa de infiltração, propiciando menor risco a erosão hídrica, pois tem maior capacidade de transporte do escoamento superficial (DEXTER, 1988; ŠIMANSKÝ, 2013; BOCUTI *ET AL*., 2019).

Essa informação acima, reforça o fato de que o ILPF 3L possui comportamento oposto aos demais tratamentos e está correlacionado com os dados de infiltração. Nas camadas de 0,00-0,05m e maiores que 0,20m, os agregados são maiores e se tornam menores na camada de 0,05-0,10m, em consequência disso a taxa de infiltração é afetada negativamente pelos agregados disponibilizarem pequenos espaços porosos no solo.

4.7.2 Índice de Estabilidade de Agregados (IEA)

Nas Figuras 9A, 9B e 9C constam os índices de estabilidade de agregados (IEA), respectivamente nas camadas de 0-0,05; 0,05-0,10 e 0,10-0,20m. Pelos resultados do Diâmetro Médio Ponderado dos agregados (Figura 8) verifica-se que em todas as profundidades analisadas houve boa estabilidade frente aos processos erosivos, em virtude das médias dos tratamentos, apresentarem 4mm, e sendo > 2 mm o limite considerado para determinar um solo estável de acordo com Angulo, Roloff e Souza (1984).

Ademais, pelo fato do DMP estar relacionado com a porcentagem de agregados grandes, nesse presente estudo é notório a maior ocorrência de macroagregados em todas das camadas do solo, desse modo, haverá mais poros e consequentemente melhor taxa de infiltração e menor perdas por erosão (DEXTER, 1988; ŠIMANSKÝ, 2013; BOCUTI *et al*., 2019).

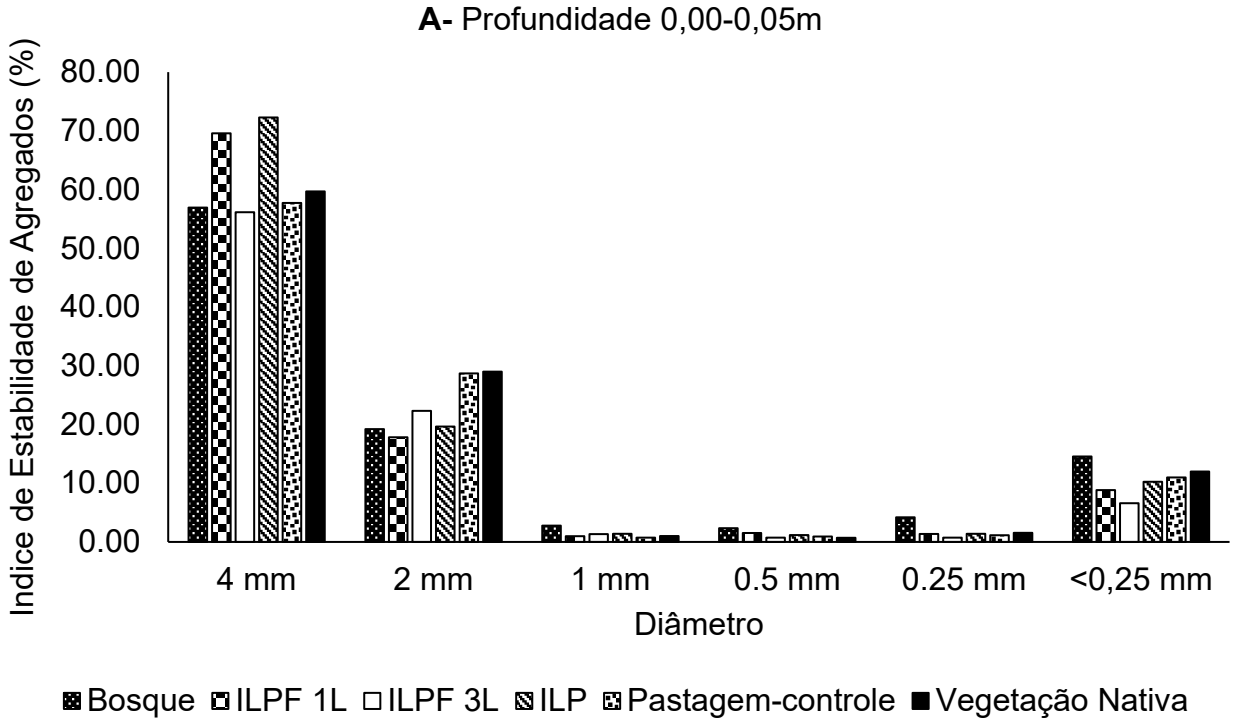
O IEA, apresentou o maior valor com 74% no ILP seguido pelo sistema ILPF 1L, e os demais tratamentos obtiveram em média 58%, na camada de 0,00-0,05m. Os componentes ILP e Pasto-controle promoveram efeitos benéficos nas camadas de 0,05-0,10cm com média de 70% de IEA, e em contrapartida o ILPF 3L demonstrou ter baixa estabilidade com 35% de IEA. Na camada de 0,10-0,20m o ILPF 3L seguido da Vegetação Nativa,

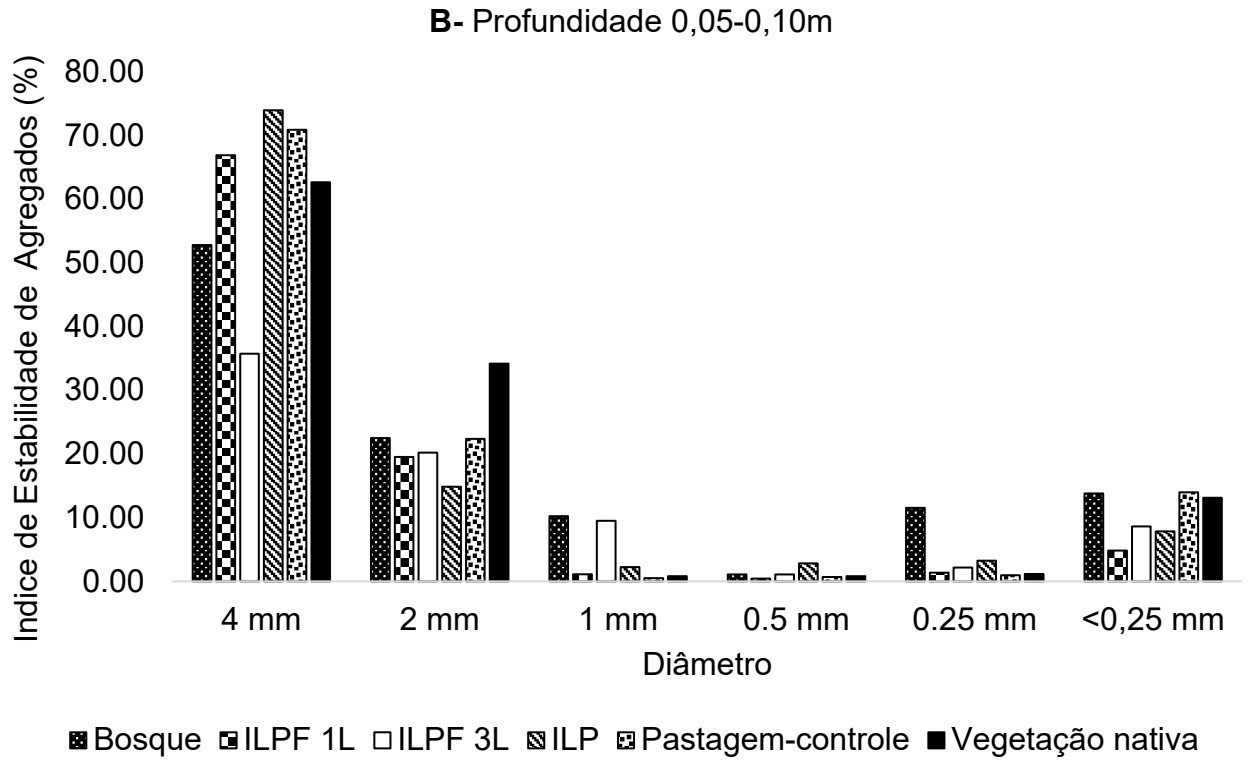
promoveram mais estabilidade nos agregados, com valores aproximados de 64% e o Bosque obteve 45% de estabilidade.

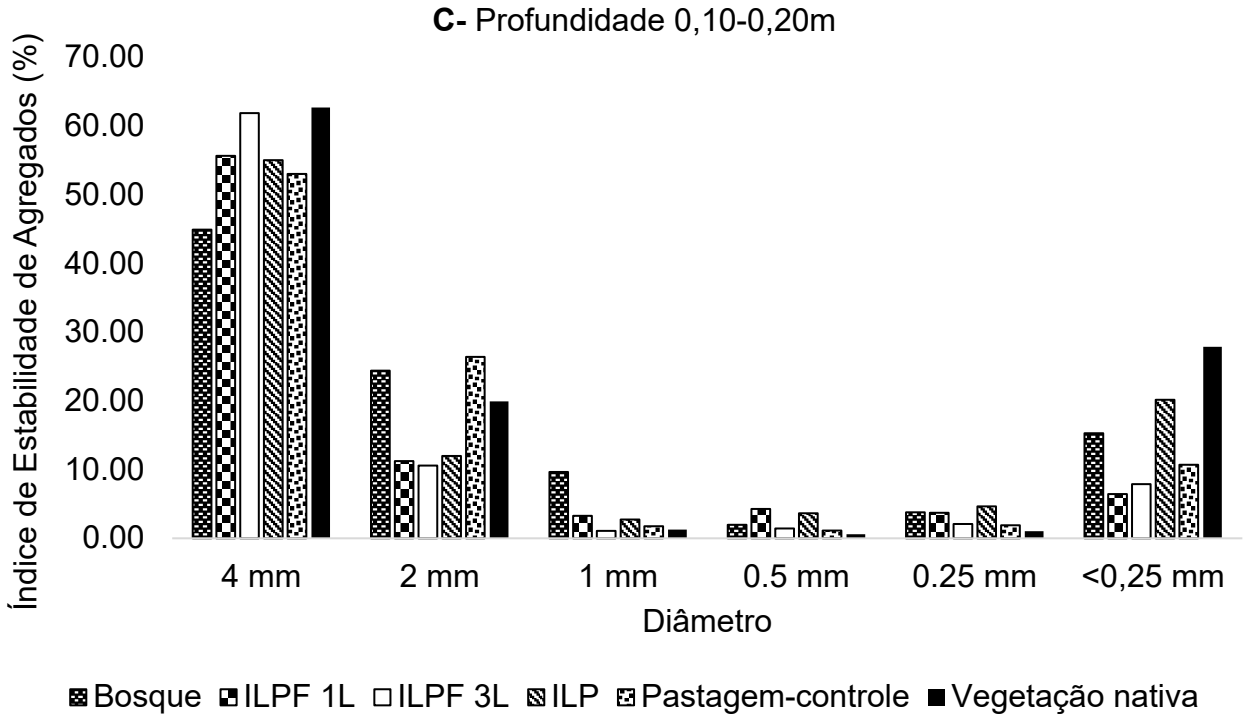
Esse índice de estabilidade varia de 0% até 100%, e considera-se que, valores mais próximos de 100% são solos que caracterizam agregados de alta coesão quando em contato com água. Pelo fato da maior quantidade de solo ficar retido nas peneiras de malha 4mm e 2mm, portanto, mais estabilizados, houve ausência ou solo em pequenas quantidades, nas malhas mais finas da peneira (Figura 9).

Na primeira camada do solo, de modo geral, foram observados maiores índices de estabilidade, uma vez que a MO fica mais concentrada nos primeiros centímetros do perfil do solo, e esta atua como agente cimentante para formar agregados e estabilizá-los (WENDLING *et al*., 2005; Matos *et al*., 2008).

Figura 9. Distribuição dos agregados por classe de tamanho em função dos sistemas e profundidades do solo, A:0,00-0,05m, B:0,05-0,10m e C:0,10-0,20m. APTA, Andradina (SP), 2020.







Fonte: (MATOS, 2022).

No diâmetro de 4mm, o ILPF 1L promoveu efeitos benéficos no IEA por ação do desenvolvimento das raízes de diversas espécies de plantas. O sistema radicular libera compostos, como o ácido poligalacturônico, que atua como estabilizador dos agregados atuando com forte ligação entre as partículas, através disso, reduzem a velocidade de umedecimento, protegendo-o desse modo da desagregação por água (RAGASSI, 2009). No processo de crescimento da zona radicular, ocorre a aproximação das partículas do solo por pressão exercida pelas raízes. Outra forma de agregação, é o momento em que a raiz absorve a água do meio promovendo o secamento da região e desse modo, aumenta a força de coesão entre partículas (ZONTA *et al*., 2006).

O sistema ILP se destacou positivamente na IEA em profundidade, principalmente nas camadas de 0,00-0,05cm e 0,05-0,10cm, no diâmetro de 4mm. Em razão do sistema radicular das Braquiárias serem vigorosos, profundos e fasciculados, são capazes de explorar locais pela qual as raízes da Soja e Milho normalmente não chegam, contribuindo de modo significativo para ciclagem de nutrientes que estão presentes no solo, gerando maior retorno econômico (CECCON, 2007). De acordo com Pereira *et al*. (2004) o sistema radicular das Braquiárias pode se desenvolver até 1 m de profundidade, além de liberarem maior concentração de exsudados quando comparados à leguminosas (SANTOS *et al*., 2012) e disponibilizam alto teor de carbono, melhoram a taxa de infiltração e retenção de água no solo, através da palhada incorporada no sistema (MACEDO, 2009).

O ILPF 3L demonstrou ter o menor IEA na camada de 0,05-0,10cm no diâmetro de 4mm, em virtude de proporcionar o menor teor de MO como exibido na análise de solo do presente trabalho. A MO é considerada agente cimentante das partículas de solo, e possuindo baixo teor no solo, a estabilidade dos agregados é prejudicada.

Nota-se na Figura 9C, que na profundidade de 0,10-0,20m o IEA é menor quando compara-se com a superfície do solo. Há relatos no trabalho de Suzuki *et al*. (2014) afirmando que o DMP dos agregados é reduzido de acordo com a profundidade do perfil de solo e consequentemente reduz a estabilidade dos agregados. Esse fato é contrastante com o DMP apresentado nesse presente estudo, pois em média obteve-se agregados de 4 mm, portanto pode-se inferir que a redução do IEA ocorreu pela redução os teores da MO em subsuperfície.

4.8 Fertilidade do Solo

Os resultados dos atributos químicos do solo nos seis ambientes analisados estão representados na Tabela 6.

De modo geral, a classificação dos teores de nutrientes foram baseados de acordo Raij *et al*. (1996). Apresentam altos teores a Acidez Potencial (H+Al), entretanto, também altos a SB (Soma de Bases) e a CTC (Capacidade de Troca Catiônica). Os teores de alto à médio, Ca (Cálcio), Mg (Magnésio), Al (Alumínio), m% (Saturação por Alumínio). Ficaram entre médio à baixo os valores da acidez (pH), Matéria Orgânica (MO), K (Potássio), V% (Saturação por Bases) e teores baixos de P (Fósforo).

Tabela 6. Atributos químicos do Argissolo em SIPAs, nas camadas de 0,00-0,05 m; 0.05-0,10m e 0,10-0,20m. APTA, Andradina, SP, 2020.

Tratamento	Atributos Químicos do Solo - 0,00-0,05 m											
	P - resina mg/dm³	MO g/ dm³	pH CaCl2	K mmolc/dm³	Ca mmolc/dm³	Mg mmolc/dm³	H+Al mmolc/ dm³	Al mmolc/dm³	SB mmolc/dm³	CTC mmolc/dm³	V %	m %
Pasto-controle	5.0	19.0	4.9	3.4	13.0	8.0	24.3	1.7	21.4	45.7	47.0	2.7
Vegetação Nativa	4.0	23.0	5.0	1.6	20.7	9.3	29.0	1.3	31.5	58.9	52.3	4.7
Bosque	5.7	23.0	5.0	3.5	12.7	11.0	24.0	1.0	27.2	51.2	54.0	3.3
ILP	7.0	21.3	5.1	2.2	13.0	12.0	19.3	0.0	25.9	45.9	56.0	0.0
ILPF 1L	5.7	21.3	4.7	2.4	11.0	11.0	27.0	2.0	24.4	51.4	47.3	7.7
ILPF 3L	11.7	21.7	4.7	2.9	15.3	11.0	27.0	2.7	27.3	63.2	48.3	9.3
Tratamento	Atributos Químicos do Solo - 0,05-0,10m											
	P - resina mg/ dm³	MO g/ dm³	pH CaCl2	K mmolc/dm³	Ca mmolc/dm³	Mg mmolc/dm³	H+Al mmolc/dm³	Al mmolc/dm³	SB mmolc/dm³	CTC mmolc/dm³	V %	m %
Pasto-controle	3.7	17.3	4.8	1.4	12.0	6.0	23.3	2.0	17.4	43.8	42.3	3.0
Vegetação Nativa	3.0	18.7	5.0	1.0	15.3	8.0	31.0	2.7	23.6	53.9	43.3	10.3
Bosque	4.3	13.7	4.6	3.7	7.3	6.3	24.7	4.0	17.3	42.0	42.3	16.0
ILP	4.3	17.0	5.2	1.1	13.0	7.3	18.0	1.3	21.1	38.7	50.7	3.1
ILPF 1L	5.3	17.0	4.2	1.4	7.3	6.3	27.0	2.0	16.9	49.3	47.7	8.3
ILPF 3L	4.3	14.7	4.3	1.6	4.7	7.7	38.0	9.3	11.9	51.8	24.0	43.7
Tratamento	Atributos Químicos do Solo - 0,10-0,20m											
	P - resina mg/ dm³	MO g/dm³	pH CaCl2	K mmolc/dm³	Ca mmolc/dm³	Mg mmolc/dm³	H+Al mmolc/dm3	Al mmolc/dm3	SB mmolc/dm3	CTC mmolc/dm3	V %	m %
Pasto-controle	3.3	17.0	5.3	1.2	12.3	6.3	22.3	1.7	17.6	43.3	55.0	1.7
Vegetação Nativa	3.0	15.7	4.6	0.9	18.0	7.7	25.3	2.3	26.8	49.9	50.3	4.0
Bosque	3.3	12.0	4.5	2.4	6.3	5.0	25.3	4.0	13.7	39.1	35.7	22.3
ILP	3.7	14.7	5.1	0.9	13.0	7.3	18.0	0.7	21.0	37.7	60.0	1.3
ILPF 1L	5.3	14.7	4.3	1.7	7.0	5.3	27.0	1.3	15.6	42.6	36.0	6.0
ILPF 3L	5.3	14.3	4.0	1.7	5.0	5.7	35.7	7.7	12.4	49.8	25.7	38.0

Fonte: (MATOS, 2022).

Em todas as camadas do solo, detectou-se efeito positivo do ILP sobre o pH, apresentando teor médio (RAIJ *et al*., 1996), porém nos demais tratamentos os valores ficaram muito baixos, demonstrando maior acidez. Isso pode ser explicado pela relação direta dos resíduos do sistema com o incremento de carbono no solo, desse modo, alto teor de carbono promoverá maior acidez (EBELING *et al*., 2008; MACHADO *et al*., 2014). Outra possibilidade a destacar é a influência do Al^{+3}, uma vez que o alumínio hidrolisado libera H^{+} na solução do solo, contribuindo para o aumento da acidez (SOUSA *et al*., 2007), confirmando nesse trabalho, a relação dos teores de alto a médio de Al^{+3} nos sistemas que possuem o pH mais ácido. É imprescindível citar que a última calagem foi realizada no ano 2012 época de instalação da área experimental, revelando a ausência de manejo do solo durante a época de análise do sistema, evidenciando a reacidificação do solo, refletindo em possíveis dificuldades no desenvolvimento radicular.

Todos os tratamentos exibiram maior quantidade de MO em superfície e decresceu de acordo com a profundidade do perfil. O Bosque e Vegetação Nativa, apresentaram influências positivas à MO com teor médio nas camadas superficiais, em virtude da adição de restos vegetais e animais, podendo inferir que o manejo aplicado proporcionou quantidades semelhantes de MO quando comparados com sistema sem alteração antrópica, considerado como condição ideal de solo, como afirma Hartman (2014) que externou que as técnicas de sistemas integrados exercem influência no acúmulo de MO, podendo aumentar, manter ou diminuir o estoque em comparativo à Vegetação Nativa. Os sistemas ILP, Pasto-controle e ILPF 1L promoveram efeitos positivos nas camadas de 0,05-0,10m e Pasto-controle na camada de 0,10-0,20m.

Os teores de P foram baixos em todos os sistemas e camadas, com exceção do ILPF 3L na camada 0,00-0,05m exibiu o maior teor. Os solos tropicais possuem como característica baixos teores de P em virtude de apresentarem alto grau de intemperização e baixa disponibilidade de P para as plantas, corroborando com os dados de Sandim (2012). É preciso ressaltar que a última adubação com P foi realizada em 2018 e desse modo, a falta desse nutriente no solo irá repercutir em deficiência nutricional nas plantas. Entretanto, é imprescindível citar que a ausência de reposição parcial ou total de nutrientes, por intermédio de adubação mineral ou

orgânica, ao longo do tempo, pode diminuir a disponibilidade para as plantas (COSTA *et al*., 2014)

Ademais, os teores de P decrescem de acordo com a profundidade, esse fato ocorre em virtude desse elemento ser encontrado em maior teor em superfície por ser pouco móvel no solo e, portanto, a ocorrência de lixiviação de P mesmo em solos arenosos é pouco pronunciado (NOVAIS, 2007). Em virtude disso, a maior concentração de P estar concentrada nas camadas superficiais, indica que ocorre a disponibilidade do mesmo por estar na área do sistema radicular, corroborando com os dados de Lanzarin (2018).

Em todas as camadas analisadas o sistema Bosque e o Pasto-controle se destacaram por apresentar o maior teor médio de K^{+}. Hipoteticamente, esse resultado se à ciclagem de nutrientes no Bosque e ao pastejo dos animais na área, pois há retorno de K via dejetos, principalmente por urina (FERREIRA, 2009). Pode-se notar que todos os sistemas exibem teores maiores de K em superfície e decresceram de acordo com a profundidade, assim, presume-se que esse nutriente esteja sendo lixiviado no perfil do solo. Essa situação condiz com os relatos de Lanzarin (2018) onde o autor afirma que o teor de argila é o fator principal para que não ocorra a lixiviação do K e o solo do presente estudo é classificado com Argissolo, com superfície (0 a 0,20m arenoso e argiloso apenas no horizonte B textural).

Em todas as camadas avaliadas, detectou-se efeito da Vegetação Nativa sobre o incremento dos teores de Ca e consequentemente na SB. Nas camadas de 0,05-0,10 e 0,10-0,20m, estão os maiores valores de CTC e Mg. O estudo de Reis (2022) é contraditório nos resultados, pois ele afirma que solos arenosos os teores de Ca e Mg demonstraram possuir baixo teor na camada de 0-20m na Mata Nativa e teor alto no sistema ILPF.

O ILP se destacou dentre todos os sistemas e camadas, nos atributos com baixos valores de H+Al, m%, Al^{+3} e CTC, e os valores mais altos de V%, Mg e pH. Os sistemas analisados demonstraram que a concentração de Al^{+3} foi crescente de acordo com a profundidade do perfil do solo, em vista disso, a calagem realizada no ano da implantação da área experimental reduziu a disponibilidade do Al^{+3} em subsuperfície, mas efeito residual já não foi aparente. O Al^{+3} é considerado elemento tóxico para as plantas e a presença em solos de cerrado brasileiro é fator intrínseco (REIS, 2022), porém nesse presente estudo, o baixo teor desse elemento no sistema

pode não afetar o desenvolvimento da cultura. Além disso, a calagem foi fonte de Mg, e auxiliou na correção do H^+ em decorrência do teor médio de pH.

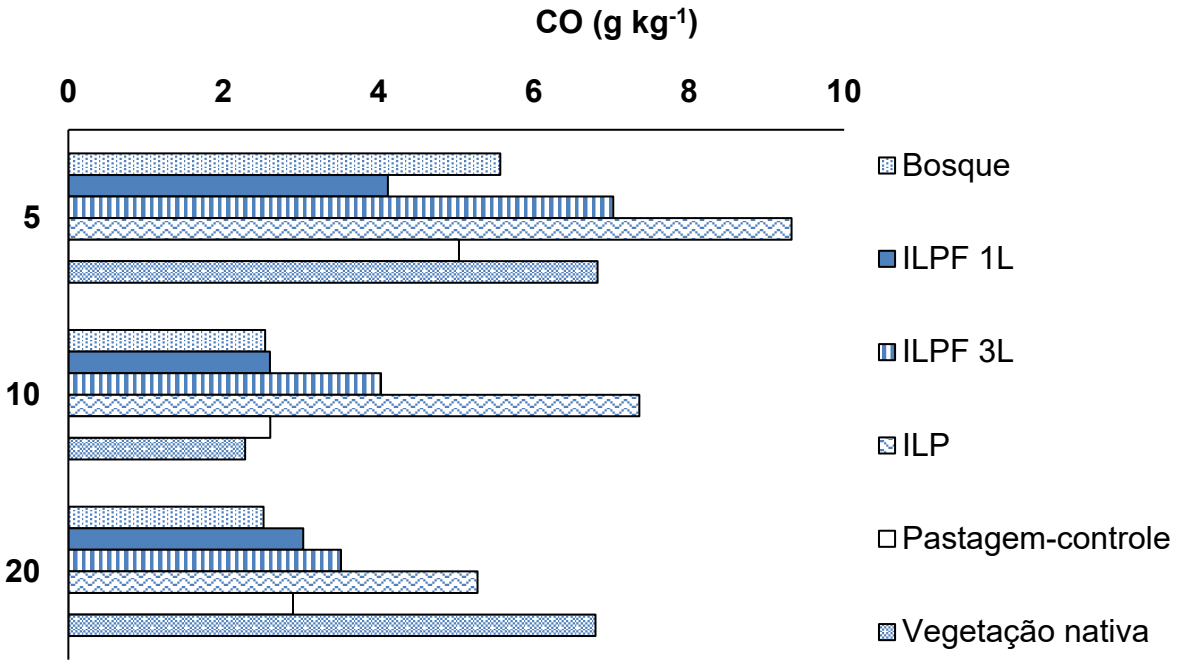
4.9 Fracionamento Físico da Matéria Orgânica

Na Figura 10 verifica-se a relação entre os sistemas integrados e o Carbono Orgânico (CO) que está inserida na fração pesada (FP) da MO e intimamente ligada à fração mineral do solo. Houve efeito dos ambientes e em profundidades do solo, onde a camada de 0 a 0,05m, local onde se encontra maior concentração de matéria orgânica no solo (MO), os valores na ILP foram superiores aos demais tratamentos, evidenciando que esse tratamento se destacou em relação à Vegetação Nativa, padrão incomum ao observado em estudos dessa natureza em solos tropicais. Além disso, o tratamento ILPF 3L obteve valor semelhante à Vegetação Nativa que é considerada área natural de referência de dados e semelhante ao verificado por Cruz (2017) também em Argissolo.

De modo geral, em todos os ambientes o CO decresceu significativamente a partir dos 0,10m de profundidade. Esses valores foram se tornando cada vez mais baixos conforme se aumentou a profundidade. Isso se deve aos constantes *inputs* de material orgânico (origem animal ou vegetal) na camada superficial do solo, porém com altas taxas de mineralização e oxidação da MO evitando o acúmulo em subsuperfície.

Um ponto importante a destacar da Vegetação Nativa, é referente ao comportamento do teor de CO na camada de 0,10 a 0,20m. É comumente encontrado na literatura que o teor de CO seja decrescente em profundidade e a RMP ser inversamente proporcional nesse atributo. Porém a Vegetação Nativa se distinguiu dos demais tratamentos, por demonstrar valor de CO semelhante ao teor encontrado em superfície (0,00-0,05m). Este fato reforça a afirmação de que essa relação entre os atributos é verdadeira, como demonstra a parábola do RMP da Figura 2**.** Nas camadas de 0,00-0,05m e 0,10-0,20m a parábola resultou em baixo RMP em virtude do alto teor de CO no solo, e na camada de 0,05-0,10m a RMP representou ser maior por consequência do baixo teor de CO.

Figura 10. Dados médios de Carbono Orgânico no solo (CO), nos ambientes de produção e profundidades do solo. APTA, Andradina (SP), 2020.



Fonte: (MATOS, 2022).

O acúmulo de MO afeta a maioria dos atributos biológicos do solo (KOPITTKE *et al*., 2017; SINGH e GUPTA, 2018), assim como os teores de nitrogênio, fósforo e enxofre, nos atributos químicos, ocorre o aumento da capacidade de troca catiônica (AWALE *et al*., 2017), nos atributos físicos, promove a redução das perdas por erosão (JENSEN *et al*., 2019), pois contribui positivamente na estruturação, agregação, retenção da umidade, porosidade, e reduz a resistência do solo à penetração e a densidade, resultando em melhores sistemas para recuperar solos degradados, que favorecem o incremento/manutenção dos teores de MO, assim como as pastagens manejadas corretamente (NEVES JÚNIOR, 2008).

No resultado referente ao sistema ILPF 3L, estudos de Tonucci *et al*. (2011), afirmaram que o acúmulo de CO no solo em sistemas integrados com espécies arbóreas, situadas no Cerrado brasileiro, proporcionou incremento na quantidade de carbono sequestrado. Esse fato ocorreu pela presença da maior diversidade radicular e maior produção de fitomassa (árvores, cultura anual e pastagem), e do mesmo modo Müller *et al*. (2010) constataram resultados semelhantes em sistema Silvipastoril misto com 10 anos implantado.

Na avaliação de resultados de CO entre as camadas de 0,05 a 0,10 e 0,10 a 0,20m os teores de CO houve semelhança entre tratamentos. Essas variações de CO em subsuperfície são, possivelmente, provenientes de resíduos remanescentes da vegetação natural do terreno, que foram depositados ao longo do tempo.

Comparando sistemas agroflorestais com cultivo de milho com preparo convencional com duração de 5, 10 e 15 anos, Ketema e Yiemer (2014) relataram o alto teor de água no cultivo de milho. Porém no decorrer do tempo, o sistema florestal apresentou valores médios superiores de teor de água disponível relacionando-se diretamente com o carbono orgânico, discrepante em parte dos resultados encontrados no presente estudo, pelo fato que o componente ILP demonstrou valores superiores de CO em relação à todos os tratamentos porém resultou em menor umidade do solo.

COLETA DE SOLO DO ANO DE 2022

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

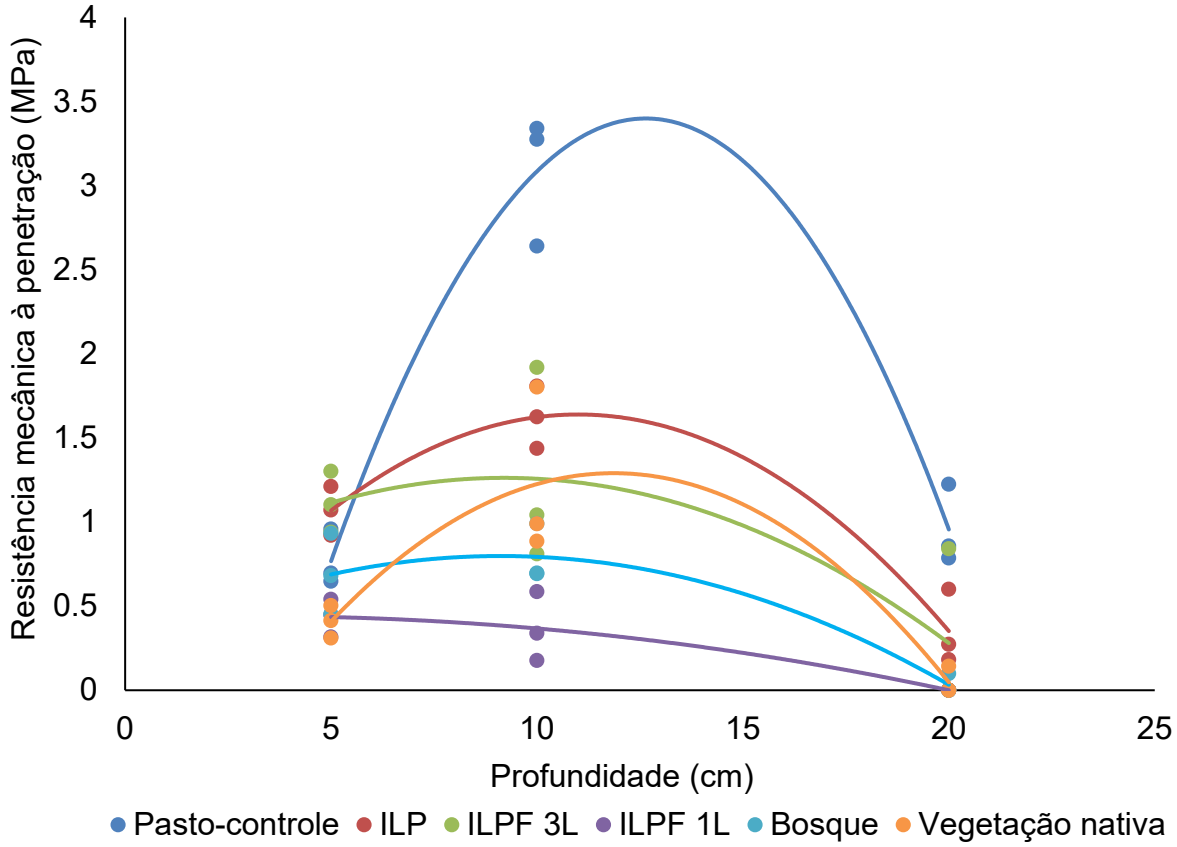
5.1 Resistência Mecânica do Solo à Penetração (2022)

O comportamento da RMP no ano de 2022 (10 anos após implantação dos sistemas), demonstrou que no tratamento ILPF 1L se destacou por possuir o menor valor, em virtude da RMP apresentar ponto máximo de 0.5 MPa na profundidade de 0,10-0,20m. Em contrapartida, o componente Pasto-controle apresentou os maiores valores de RMP pelo ponto máximo ser de 3,5 MPa na profundidade de 0,10-0,20m (Figura 11).

Nas camadas de solo amostradas os maiores valores de RMP foram identificados nas camadas inferiores (0,10-0,20m), e posteriormente foram reduzidas de acordo com a profundidade do perfil do solo (Figura 11 e Tabela 7).

O Pasto-controle teve maior resistência devido ao superpastejo que promoveu a compactação superficial. Além disso, no período analisado houve ausência de chuvas, portanto foram as condições ideais para avaliação da RMP. Ademais, a ausência de árvores e o pastejo inadequado contribuem significativamente para degradação do solo, reduzindo a fertilidade, alterando o regime de água do solo, com o aumento da compactação, acarreta em perdas de diversidade biológica e alta liberação de carbono orgânico do solo, que eventualmente influenciam negativamente a sustentabilidade dos sistemas integrados (VILLANUEVA-LÓPEZ *et al*., 2016), reafirmando os resultados desse estudo.

Figura 11. Resultados médios da RMP, nas camadas de 0.00-0.05, 0.05-0.10, 0.10-0.20m, nos SIPAs. APTA, Andradina (SP), 2022.



Fonte: (MATOS, 2022).

Com base nas pesquisas de Portugal (2016), outros fatores podem interferir na compactação do solo além da frequência e intensidade do pastejo, como o peso animal, características intrínsecas do solo, cobertura do solo, teor de matéria orgânica, manejo da pastagem, hábito de crescimento das plantas utilizadas e umidade do solo. Dessa forma, determinar a umidade do solo no momento da avaliação da RMP (BONINI; ALVES, 2012) é imprescindível para interpretar os resultados.

O ILPF 1L, resultou em menor resistência à penetração, da mesma forma, diversos estudos afirmaram que a produtividade da forragem e a qualidade do dossel das árvores diferem quando relacionados com pastagens abertas (PANG *et al*., 2019). A ausência ou presença da sombra de árvore, influência as condições da área, como temperatura do ar e solo, intensidade luminosa para produção de forrageira e habito dos animais no pastejo (FREITAS *et al*., 2020).

Tabela 7. Coeficientes de regressão da Resistência Mecânica à Penetração (RMP) em SIPAs. APTA, Andradina (SP), 2022.

TRATAMENTOS	EQUAÇÃO DA RETA	COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO
ILPF 1L	y = -0.0015x2 + 0.0096x + 0.4259	R² = 0.749
ILPF 3L	y = -0.0084x2 + 0.1548x + 0.5511	R² = 0.5778
ILP	y = -0.0159x2 + 0.3494x - 0.2821	R² = 0.9215
Bosque	y = -0.0065x2 + 0.1178x + 0.2612	R² = 0.8496
Vegetação Nativa	y = -0.0187x2 + 0.4446x - 1.3456	R² = 0.803
Pasto-controle	y = -0.0451x2 + 1.1399x - 3.8048	R² = 0.9553

Fonte: (MATOS, 2022).

De acordo com Santana *et al*. (2019), em observações de comportamento animal, o deslocamento de bovinos em SIPAs, mostram a influência da presença e densidade de componente arbóreo, características da pastagem, e condições ambientais visto que o componente arbóreo acaba sendo uma barreira para os animais se deslocarem.

Lima *et al*. (2010), constataram que quando há baixa umidade no solo a RMP é elevada, porém na avaliação de 2022, a camada 0,05-0,10m o tratamento ILPF 1L, constatou-se o menor teor de umidade e RMP dentre todos os tratamentos analisados. Na presença de uma linha de Eucalipto, o ambiente torna-se propício para o animal se beneficiar do conforto térmico da sombra nos momentos de ruminação e descanso, e as forrageiras são capazes de tolerar o sombreamento parcial promovido pelo Eucalipto. Além disso, comparando os estudos realizados por Àlvares *et al*. (2021), em que o gado dedica a maior parte do dia à ruminação e descanso sob a sombra das árvores, há influência positiva na produção de leite e carne, portanto, o solo não está compactado reafirmando os resultados dessa pesquisa.

Estudos realizados por Assis *et al*. (2015), relataram que o sistema ILPF com uma linha arbórea favoreceu melhorias na recuperação da qualidade do solo, comparativamente à pastagem degradada, do que o sistema ILPF com três linhas de Eucalipto, corroborando com os resultados deste trabalho.

Visto que o pastejo pode ser interpretado como prejudicial ao sistema solo, os animais ingerem a forragem, e por pisoteio podem contribuir para o encrostamento superficial que promoverá a degradação do solo, além da incerteza sobre a compactação do solo. Conforme Moraes *et al*. (2014b), o desenvolvimento de sistemas integrados, sob condições de pastejo correto, pode melhorar os atributos físico-químicos e biológicos do solo, além de incrementar nos teores de carbono e nitrogênio no solo, quando equiparado com local não pastejado.

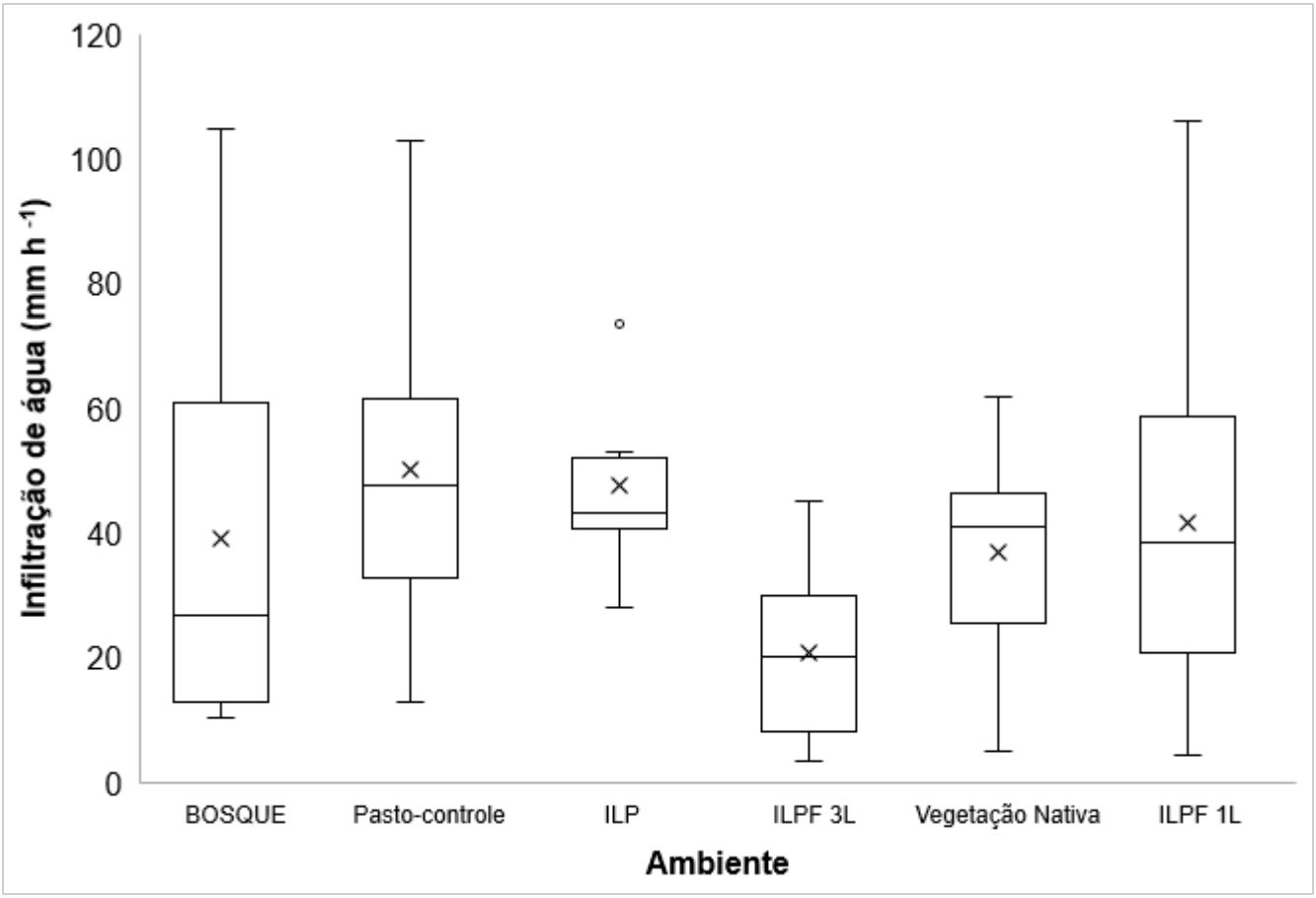
Salienta-se que, o sistema ILPF com 10 anos de implantado, pode ser uma opção menos prejudicial à estruturação do solo, uma vez que, após o estabelecimento do sistema, pode contribuir na reversão de processos degradativos (SILVA *et al*., 2014c). De acordo com Freitas *et al*. (2012) a evolução dos indicadores de qualidade física do solo sob sistema agroflorestal, justifica-se os resultados à maior deposição de resíduos orgânicos no solo e a decorrente manutenção da umidade no solo.

5.2 Infiltração de Água no Solo

Na Figura 12, às médias de infiltração de água no solo (INF), em mm^{-1} demonstram que a maioria dos valores estão dentro da taxa estável como determinado por Rawls *et al*., (1996), pois em solos de textura Areia franca e em áreas de pastagem é recomendável que esteja na faixa de 38,1 até 111,8 mm h^{-1} enquanto para áreas cultivadas deve estar entre 38,1 até 94,0 mm h^{-1}. Entretanto, deve-se destacar o tratamento ILPF 3L, por estar abaixo da média considerada estável.

A preferência dos locais de pastejo se deve a quantidade de forragem disponível para o animal, proporcionando ambiente favorável, como mencionado por Assis *et al*. (2015). O tratamento ILPF 3L com resultado inferior aos demais, pode ser por consequência do pisoteio animal que influenciou a compactação da superfície do solo (selamento), gerando consequentemente a redução na taxa de INF do solo, interferindo na degradação estrutural com a redução da macroporosidade, que é responsável pela percolação de água, e aumento da microporosidade.

Figura 12. Taxas de infiltração de água no solo da área de estudo, em APTA, Andradina (SP), 2022.



Fonte: (MATOS, 2022).

Apesar da pastagem receber pisoteio animal e ter pré disposição para reduzir a capacidade de INF, esse tratamento não apresentou baixa infiltração com o tempo de uso e manejo inadequado, pois a morte do sistema radicular em pastejo pode resultar em bioporos, importante na infiltração de água no solo. Também Gonçalves e Moraes (2012) verificaram que o solo possui boa manutenção da qualidade com manejo adequado, e segundo Cabral Filho *et al*. (2017) e Gomes Filho *et al*. (2019), a medida da taxa de infiltração da água no solo é considerado ideal, essa variável pode ser utilizada como indicativo da qualidade do solo.

A Vegetação Nativa é considerada como melhor ambiente, pois esse solo é considerado como modelo de qualidade físico-químico-biológico, e através disso, os demais tratamentos que possuem semelhanças na taxa de INF corroboram com as premissas de que o manejo e uso adequado, potencializa e conserva os atributos do solo.

5.3 Teor de Água do Solo

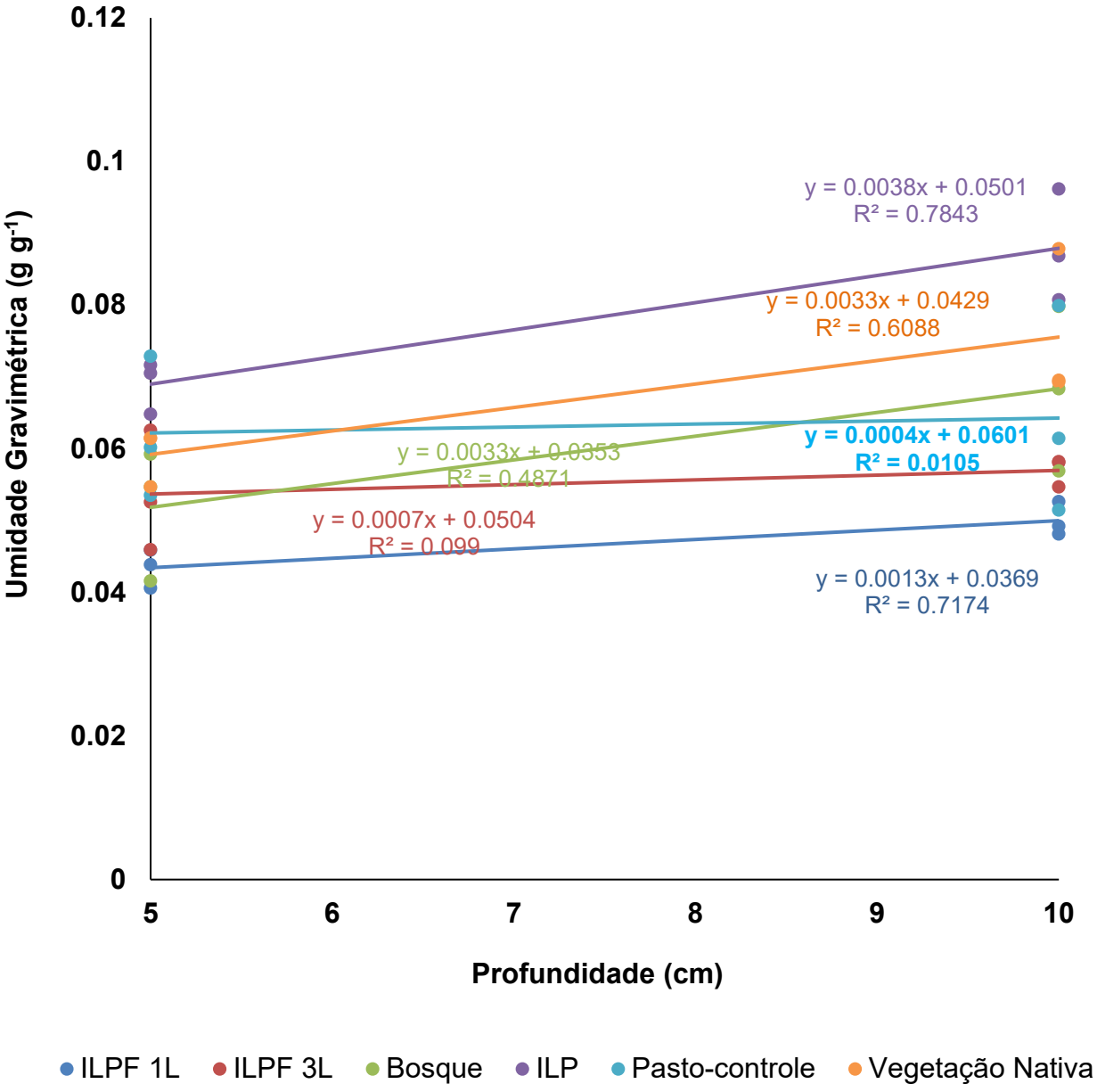
A umidade gravimétrica do solo (UG - Figura 13), mostra a interação entre tratamentos, suas respectivas umidades e profundidades. Em análise do ano de 2022, o tratamento que se destacou positivamente foi o ILP, enquanto a ILPF 1L apresentou o pior índice, com 0,04 g g^{-1} na profundidade de 0,00-0,05m. Os sistemas Vegetação Nativa e ILP apresentaram os melhores índices de umidade na profundidade de 0,00-0,05m com 0,06 g g^{-1} e 0,07 g g^{-1}, respectivamente.

Todos os tratamentos exibiram o comportamento de ter menor grau de umidade gravimétrica na camada superficial do solo e com acréscimo de umidade de acordo com a profundidade. Argissolos com textura franco arenosa, possui diferença textural ao longo do perfil, o que leva ao fato da concentração de água no solo ser diferente ao longo da profundidade do solo. Essa característica dos Argissolos também foi encontrado por Cunha *et al*., (2019), desse modo, a textura facilita a velocidade que o solo perde água que, do ponto de vista prático, implica na necessidade de manejo para contribuir na manutenção da umidade próxima da capacidade de campo, para fornecer condições ideais para o crescimento radicular e desenvolvimento das plantas (FREITAS; MELLONI; MELLONI, 2021).

O alto teor de UG do tratamento ILP, é consequência da presença de um denso sistema radicular, que auxilia na agregação das partículas de solo, e esse fato tem relação com o incremento na atividade da macrofauna e a ausência de preparo do solo durante o ciclo da pastagem (MARCHÃO *et al*., 2007).

Em relação à Vegetação Nativa, o grande aporte de serapilheira na camada superficial do solo, favoreceu a retenção da umidade, e pelo fato de estar localizada na região mais declivosa da área experimental, beneficiou o microclima úmido daquela região. Dessa maneira, Velasquez e Righes (2019) citaram que a decomposição da matéria orgânica, através das raízes e a atividade da macrofauna, formam canais no solo que favorecem a passagem de um volume de água maior pelo solo. Portanto, entre valores da condutividade hidráulica saturada, afirma-se que a presença da fauna e cobertura vegetal sobre o solo, são importantes na conservação da matéria orgânica do solo.

Figura 13. Teor de água no solo (g g^{-1}) nas profundidades de 0,00-0,05m, 0,05-0,10m e 0,10-0,20m. APTA, Andradina-SP, 2022.



Fonte: (MATOS, 2022).

Outro ponto importante a destacar, é a relação inversamente proporcional entre umidade do solo com os indicadores de RMP e infiltração, ou seja, os resultados estão diretamente relacionados e demonstram que a alta umidade do tratamento ILP, reduz a RMP e a taxa de infiltração, como demonstrado nos dados anteriores deste trabalho. Os dados da Vegetação Nativa se comportam de modo semelhante por possuírem alta umidade do solo.

É imprescindível a determinação da UG no momento da avaliação da RMP, como cita Bonini e Alves (2012), pois auxilia na interpretação adequada dos resultados encontrados. O ILPF 1L exibiu baixa variação no teor de UG nas camadas avaliadas, portanto, demonstramos que não houve influências da RMP e a taxa de INF pelo conteúdo de água no solo.

Porém, o ILPF 1L se encontra no topo do relevo íngreme, assim o terreno expressa alto controle sobre os processos hidrológicos superficiais e ecossistemas, influenciando a precipitação, radiação solar, evaporação, escoamento superficial da água, umidade do solo e tipo de vegetação. As condições de fluxo de massa e energia, podem influir sobre a vegetação e sua sucessão, e esse fluxo pode ser influenciado pela topografia, através do conjunto de influências do aclive e declive, rugosidade e orientação do terreno. Sendo esses parâmetros topográficos determinantes para a exposição da paisagem, condicionando dessa forma, o microclima (DIXON, 1995).

5.4 Textura do Solo

Na Tabela 8 constam os resultados médios da textura do solo nos diferentes sistemas. Identificou-se as distribuições dos tamanhos das partículas em todos os ambientes, foram de texturas arenosas nas camadas de 0,00-0,05; 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m.

Essa análise foi realizada com a finalidade de complementar a análise de Grau de Floculação, em razão da textura do solo possuir baixa variabilidade espacial e ser considerada como a propriedade física que dificilmente sofre modificações no manejo e preparo do solo.

Os valores médios de areia, silte e argila, demonstrados nesse trabalho resultaram em pequena alteração entre os componentes, em virtude da textura ser uma característica natural do solo.

Tabela 8. Distribuições de tamanho de partículas dos SIPAs, APTA, Andradina, SP (2022).

Tratamentos	Argila (g kg $^{-1}$)	Areia (g kg $^{-1}$)	Silte (g kg $^{-1}$)
	Camada 0,0 a 0,05m		
ILP	71,62	820,79	107,59
ILPF 1L	70,20	831,87	97,93
ILPF 3L	88,22	806,78	105
Bosque	122,16	776,49	101,34
Pasto-controle	102,81	769,45	127,74
Vegetação Nativa	61,66	832,73	105,61
	Camada 0,05 a 0,10m		
ILP	59,18	913,36	27,46
ILPF 1L	91,57	799,42	109,01
ILPF 3L	49,15	900,25	50,60
Bosque	82,94	823,55	93,51
Pasto-controle	120,95	748,82	130,20
Vegetação Nativa	67,63	835,54	96,83
	Camada 0,10 a 0,20m		
ILP	79,76	562,16	358,07
ILPF 1L	101,86	778,38	119,77
ILPF 3L	124,18	519,47	356,35
Bosque	86,26	849,08	64,67
Pasto-controle	104,18	769,83	125,99
Vegetação Nativa	76,09	829,80	94,11

Fonte: MATOS, 2022.

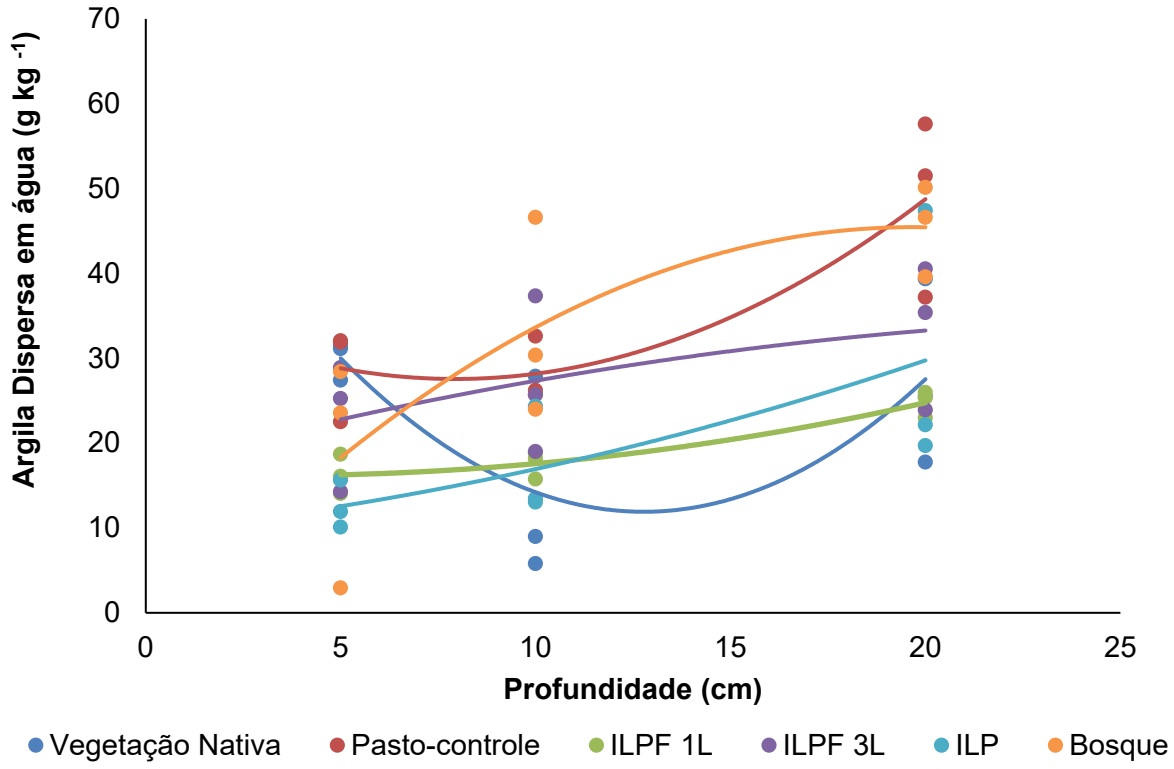
5.5 Argila Dispersa em Água e Grau de Floculação

5.5.1 Argila Dispersa em Água (ADA)

Houve incremento de ADA na profundidade a partir de 0,15m no perfil de todos os ambientes (Figura 14 e Tabela 9), sendo esta característica relacionada com a redução do teor de matéria orgânica, corroborando com os dados de Levinski (2014).

Além disso, o Argissolo possui como característica o horizonte sub-superficial do tipo Bt, ou seja, há presença de gradiente textural em profundidade ocorrendo um incremento na quantidade de argila. Pelo maior teor de argila em profundidade, consequentemente a quantidade de ADA também aumenta (ALVES *et al*., 2015), similar ao ocorrido na presente pesquisa.

Figura 14. Argila dispersa em água (ADA) nas respectivas profundidades dos manejos do solo. APTA, Andradina-SP, 2022.



Fonte: (MATOS, 2022).

Na camada de 0,00-0,05m o Bosque proporcionou o maior valor de ADA e com acréscimos de acordo com a profundidade do perfil do solo, sendo que esse comportamento segue até 0,20cm e vai decrescendo em profundidade.

Os valores do Bosque foram superiores aos encontrados no solo, na camada 0,00-0,20m, podendo demonstrar a maior movimentação da argila, em virtude do revolvimento superficial do solo, embora seja na implantação da área experimental, o mesmo não foi realizado no sistema de Vegetação Nativa. A prática do manejo

convencional do solo expôs o solo à menor proteção física, contribuindo para a maior dispersão das argilas.

Tabela 9. Coeficientes de regressão do teor de argila dispersa em água (ADA) em SIPAs. APTA, Andradina (SP), 2022.

TRATAMENTOS	EQUAÇÃO DA RETA	COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO
ILPF 1L	$y = 0.0303x^2 - 0.1913x + 16.466$	0.8571
ILPF 3L	$y = -0.0213x^2 + 1.2307x + 17.172$	0.2768
ILP	$y = 0.0269x^2 + 0.4727x + 9.5233$	0.4572
Bosque	$y = -0.1261x^2 + 4.9633x - 3.37$	0.6151
Vegetação Nativa	$y = 0.2994x^2 - 7.6477x + 60.754$	0.4479
Pasto-controle	$y= -0,1224x^2 +2,7832x + 3,4444$	0,4324

Fonte: (MATOS, 2022).

A Vegetação Nativa, proporcionou o menor valor de ADA na camada de 0,00-0,20m e houve redução em profundidade, o que pode indicar uma menor movimentação de argila nessa camada do solo, provavelmente devido ao não revolvimento superficial nesse tratamento. Outro fato a destacar, é a presença da matéria orgânica proveniente da serrapilheira, que viabiliza a disponibilização das cargas elétricas (AGNE; KLEIN, 2014), demonstrando através disso, que o solo está estável estruturalmente.

5.5.2 Grau de Floculação (GF)

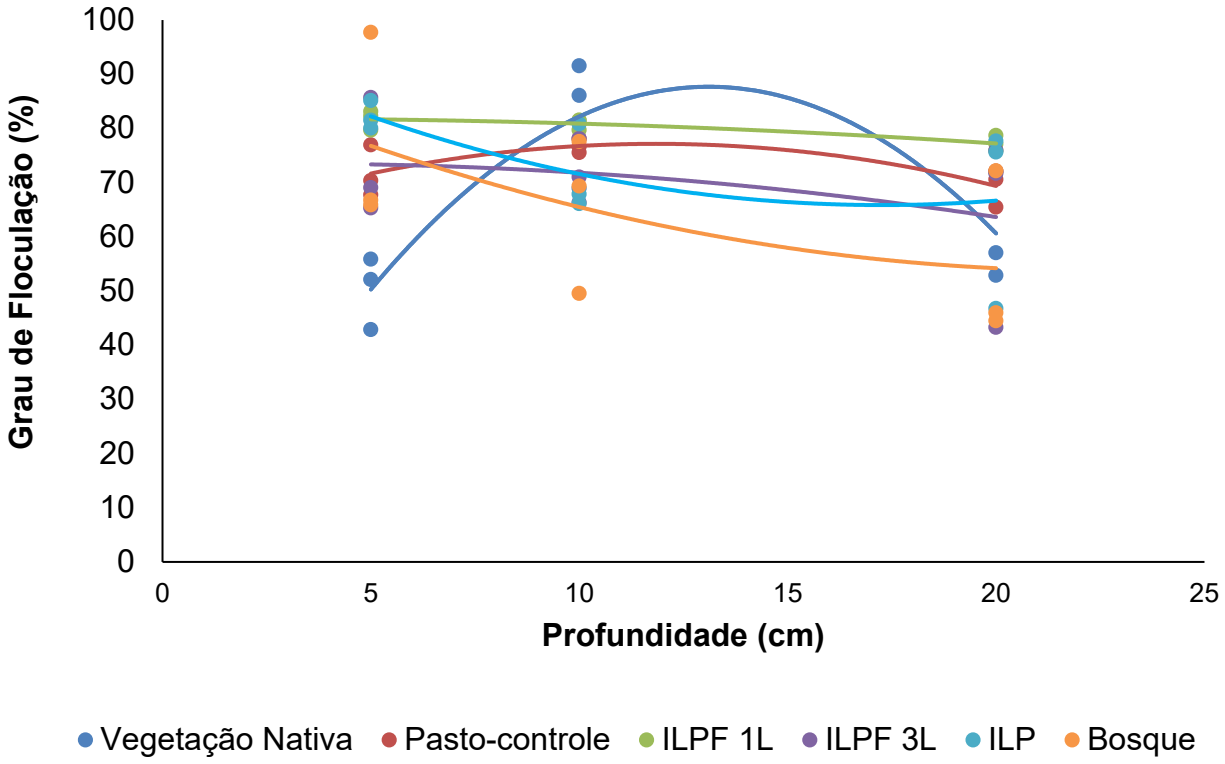
Tendo em vista que a ADA e GF são inversamente proporcionais, no presente estudo, essas variáveis se apresentaram do mesmo modo. Na figura 15, o maior e menor GF foram respectivamente na Vegetação nativa, com 90% na camada de 0,10-0,20m e no Bosque com 55% na camada de 0,10 a 0,20m.

Em geral, todos os ambientes analisados exibiram elevado GF principalmente em superfície e foi reduzindo de acordo com a profundidade (Figura 15 e Tabela 10).

O maior valor do GF do solo da Vegetação Nativa pode ser em razão da baixa dispersão das argilas. A ausência do revolvimento do solo nesse sistema, evidência,

em especial a matéria orgânica por atuar como principal agente floculante no solo (AMARO FILHO *et al*., 2008), aliado com as influências da mineralogia de argila (1:1) (VALE JÚNIOR, 2000; MELO, 2002; BENEDETTI, 2007) e a presença de Al^{3+} e H^{+} atuando como agente floculante (GASPARETTO *et al*., 2009), sendo considerado por Ferreira (2010) condição ótima para que ocorra a estabilização dos agregados do solo. Desse modo, o solo sob Vegetação Nativa demonstra ser mais resistente aos processos erosivos quando comparados aos demais tratamentos.

Figura 15. Grau de floculação (GF) do solo na profundidade de 0 a 0,20m. APTA, Andradina (SP), 2022.



Fonte: (MATOS, 2022).

Tabela 10. Coeficientes de regressão do Grau de Floculação (GF) em SIPAs. APTA, Andradina (SP), 2022

TRATAMENTOS	EQUAÇÃO DA RETA	COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO
ILPF 1L	$y = -0.0139x^2 + 0.0493x + 81.78$	0.7285
ILPF 3L	$y = -0.034x^2 + 0.2013x + 73.202$	0.1486
ILP	$y = 0.109x^2 - 3.7603x + 98.301$	0.3384
Bosque	$y = 0.0754x^2 - 3.3903x + 91.853$	0.3293
Vegetação Nativa	$y = -0.5692x^2 + 14.921x - 10.096$	0.7365
Pasto-controle	$y = -0.1169x^2 + 2.7697x + 60.751$	0.5408

Fonte: (MATOS, 2022).

O resultado do Bosque evidenciou o efeito do sistema de manejo adotado sobre o GF, relacionado ao histórico de preparo do solo da área. De acordo com Santos *et al*. (2012) o preparo do solo com grade aradora, tem como objetivo o revolvimento das camadas do solo, alterando a ADA e consequentemente o GF. Assim, o sistema convencional utilizado de modo inadequado, promoveu a desagregação do solo, principalmente, reduzindo os macroagregados por possuírem maior acúmulo de MO, ocasionando a oxidação da matéria orgânica, a consequente diminuição desse agente cimentante (MOTA; FREIRE; JÚNIOR, 2013).

5.6 Agregados do Solo

Os resultados expressos na Figura 16, referem-se às médias do DMP, via úmida, relacionados com os diferentes sistemas de manejo do solo, avaliados na profundidade de 0,00-0,05; 0,05-0,10 e 0,10-0,20m.

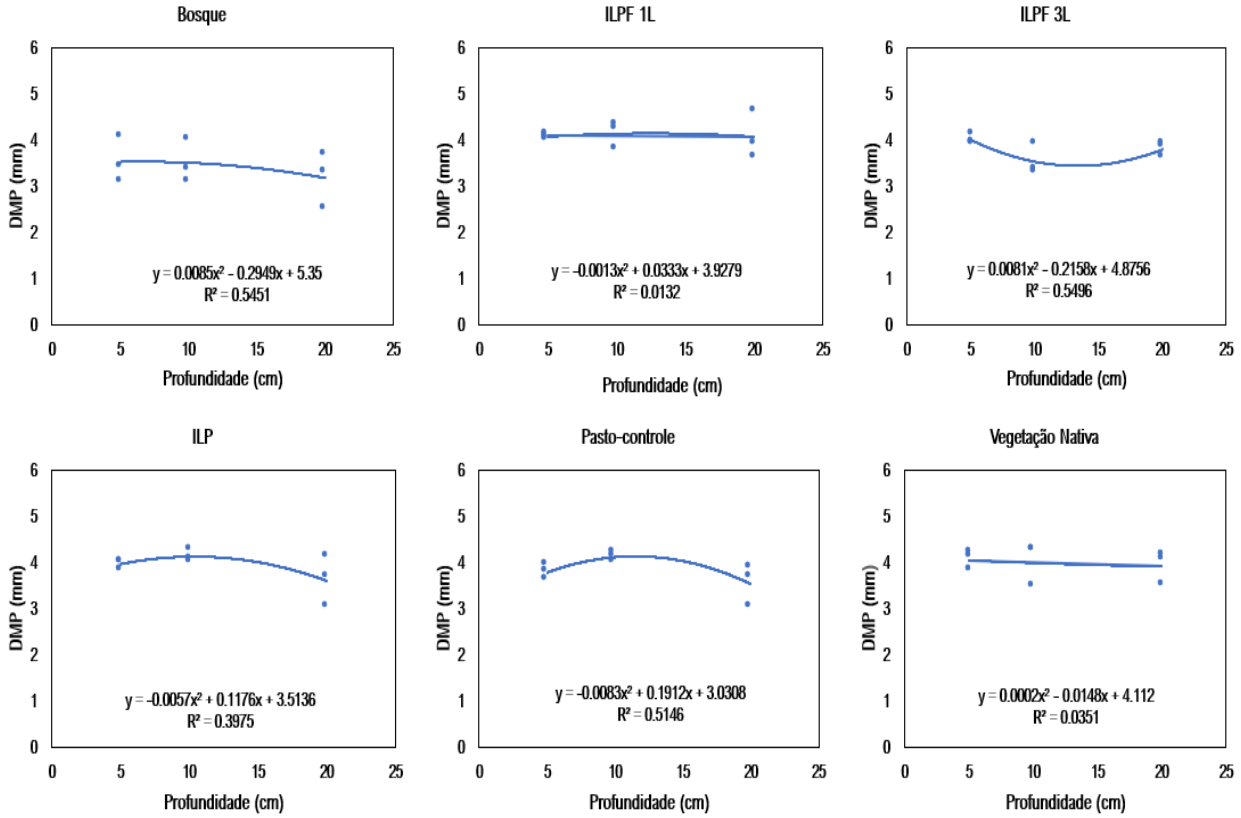
5.6.1 Diâmetro Médio Ponderado (DMP)

Os valores de DMP úmido variaram, em média entre 3 mm a 4 mm (Figura 16), em todos os tratamentos e profundidades. O DMP está relacionado com à porcentagem de agregados grandes e em vista disso, quanto maior for o agregado, haverá mais espaços porosos no solo, auxiliando na maior taxa de infiltração de água e promovem menor risco à erosão, pois requerem maior capacidade de transporte do

escoamento superficial (DEXTER, 1988; ŠIMANSKÝ, 2013; BOCUTI *et al*., 2019). Esse fato corrobora com os dados da taxa de infiltração de água desse mesmo trabalho, pois todos os tratamentos apresentaram valores médios da taxa de infiltração de água, exceto o ILPF 3L que se destacou negativamente.

Não houve influência dos sistemas de manejo nos tamanhos dos agregados em todas as camadas do solo (Figura 16). Fato corroborado com o trabalho de Monteiro (2021), porém, em trabalhos realizados por Levinski-Huf & Klein (2018), a presença de espécie arbórea melhora a agregação em Latossolo Vermelho após cinco anos de implantação do ILPF em relação ao ILP, com variações positivas encontradas na massa média de agregados, DMG e porcentagem de macroagregados.

Figura 16. Resultados das análises de DMP para os SIPAs. APTA, Andradina (SP), 2022.



Fonte: (MATOS, 2022).

Em todas as profundidades analisadas não houve diferenças nos tamanhos dos agregados, discordando com o verificado por Paudel *et al*. (2012), que constataram a maior agregação em profundidade do solo ocorre devido à implantação de sistemas

ILPF, sendo as raízes do componente arbóreo capazes de penetrar em maior profundidade e liberarem enzimas que favorecem o processo de agregação do solo.

A maior classe de agregados (2 a 4 mm), predominou em todos os tratamentos e camadas do solo. Diversos autores destacam a importância das gramíneas na agregação do solo, promovendo efeitos positivos em decorrência da maior incorporação da matéria orgânica, atuando como agente cimentante e contribuinte nas ligações entre partículas do solo (CAMPOS *et al*., 1995; SILVA; MIELNICZUK, 1998). Além disso, pelo longo período de instalação da área experimental favoreceu a presença de macroagregados no solo.

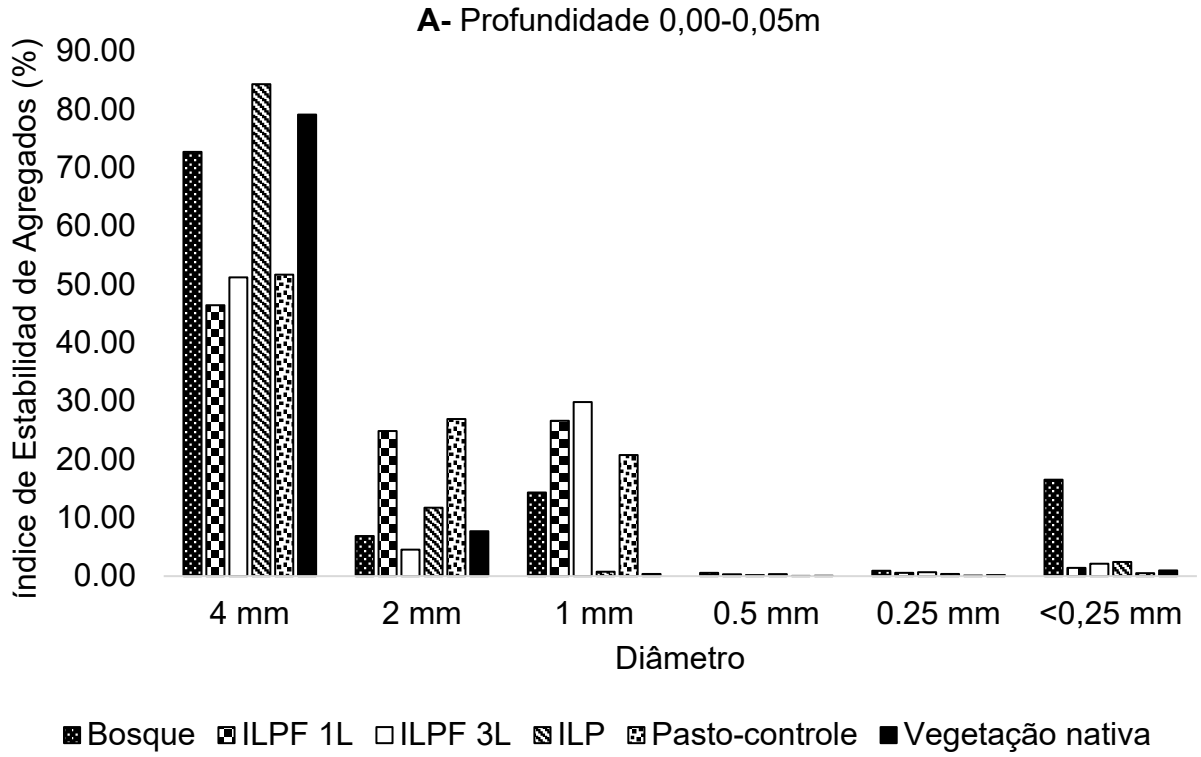
5.6.2 Índice de Estabilidade de Agregados (IEA)

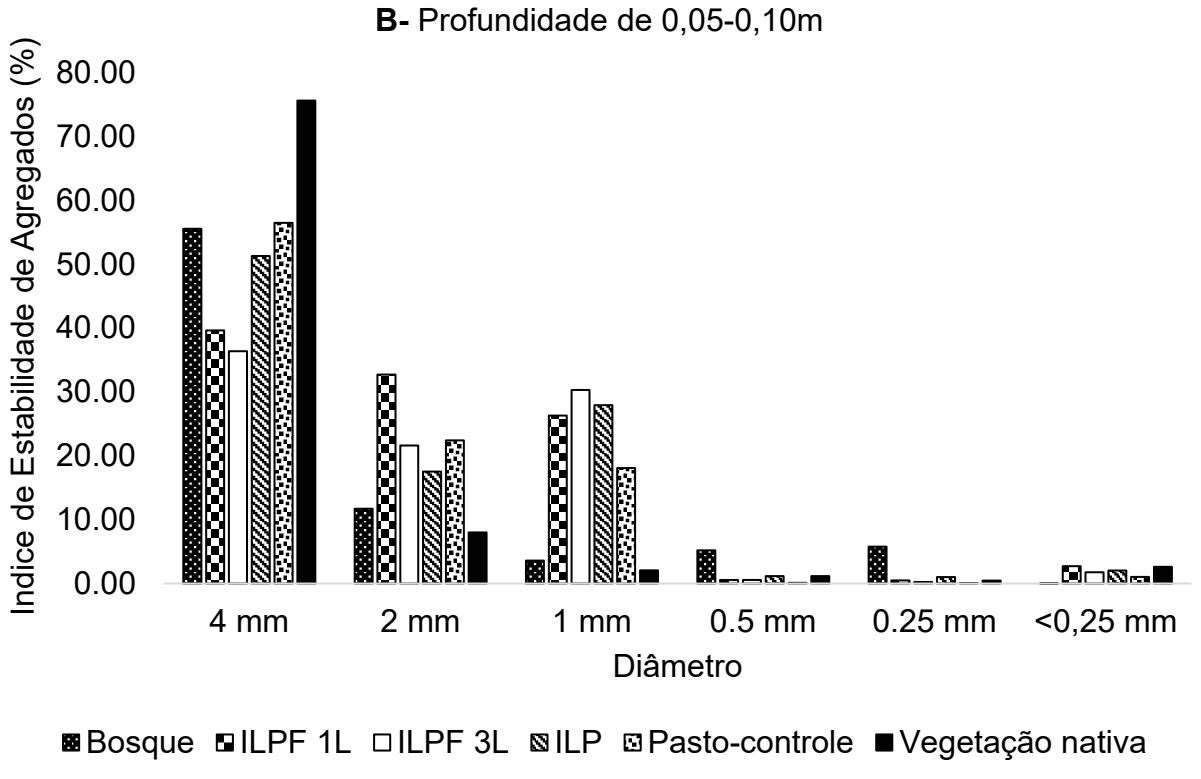
Na profundidade de 0,00-0,05m os IEA que se destacaram foram nos ambientes ILP, Vegetação Nativa e Bosque, 85%, 80% e 73%, respectivamente, na peneira de 4mm. Houve efeitos positivos da Vegetação Nativa sobre o IEA na profundidade de 0,05-0,10 e 0,10-0,20m, também na peneira de 4mm (Figura 17).

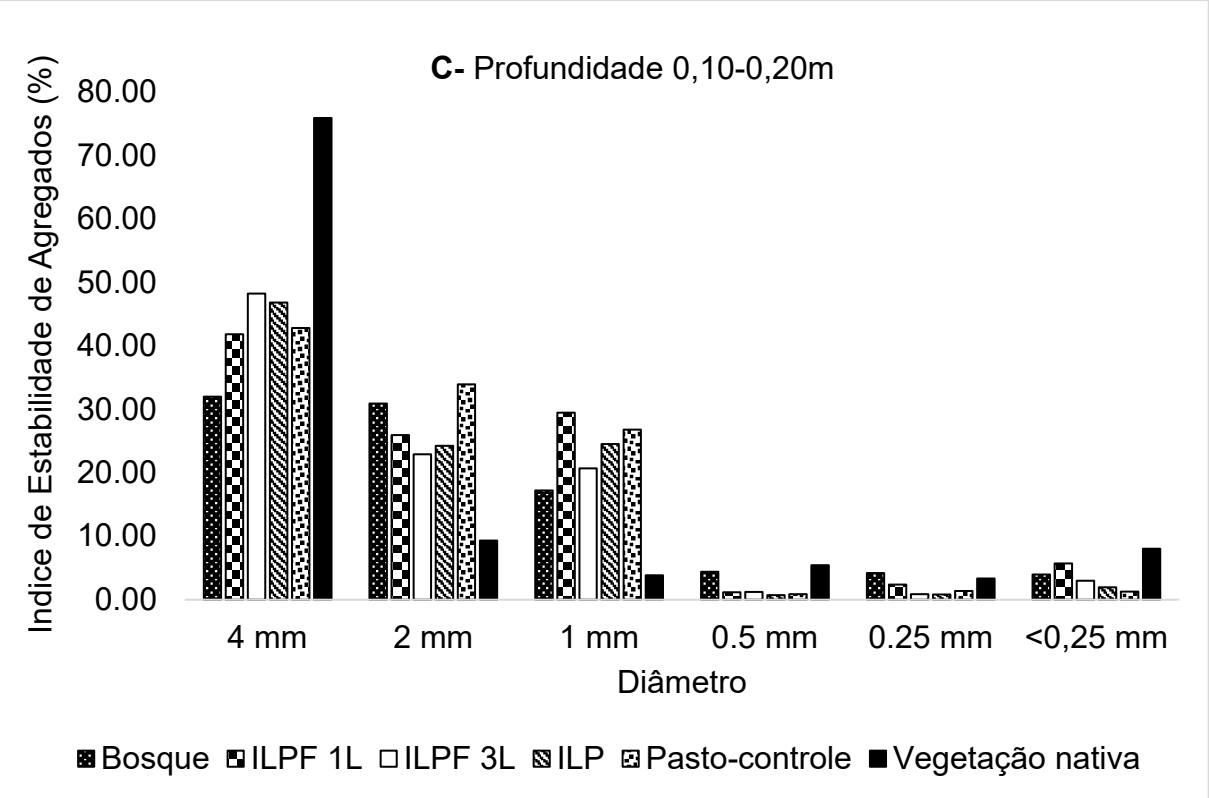
Em todas as profundidades do perfil do solo, o IEA da Vegetação Nativa se manteve praticamente estável, com 80%. Também em todas as profundidades, houve presença de solo nos diâmetros de 1mm e 2mm e são considerados macroagregados. Porém no presente estudo, houve baixo grau de estabilização dos agregados em todos os ambientes, apresentando-se em média 30%. Essa situação pode estar relacionada à evolução para agregados maiores, o que demanda maior período de análise do experimento.

Esse índice de estabilidade varia de 0% até 100%, e considera-se que, valores mais próximos de 100% são solos que caracterizam agregados de alta coesão quando em contato com água. Pelo fato da maior quantidade de solo ficar retido nas peneiras de malha 4, 2 e 1mm, portanto, mais estabilizados quanto aos demais, houve ausência ou solo solto em pequenas quantidades, nas malhas mais finas da peneira como demonstrado nas Figuras 17A, 17B e 17C.

Figura 17. Distribuição dos agregados por classe de tamanho em função dos sistemas de manejo e profundidade do solo. APTA, Andradina (SP), 2022.







Fonte: MATOS, 2022.

Os sistemas ILP e o Bosque proporcionaram IEA semelhantes à Vegetação Nativa, na camada superficial do solo. Pela análise do solo que foi descrita no tópico 5.8 denominado Fertilidade do Solo, identifica-se que esses sistemas exibiram teores semelhantes de MO, desse modo, diversos autores salientaram que a MO contribui de modo importante na agregação, atuando como agente cimentante entre as partículas de solo (FERREIRA; FILHO; FERREIRA, 2010). Ademais, é relevante o tempo de instalação do experimento, visto que as propriedades físicas do solo podem ser alteradas ao longo dos anos.

O sistema radicular bem desenvolvido das gramíneas, tornaram o sistema ILP de maior destaque entre os tratamentos. Segundo Cruz *et al*. (2014) os tratamentos Floresta Natural e Pastagem em um Argissolo Amarelo apresentou resultados semelhantes nos agregados com 4 a 2mm e IEA de 59,22%, na profundidade de 0,10-0,20m e 0,20-0,40m.

Em comparativo, Souza (2010) também observou dados semelhantes entre Pastagem e Floresta Natural (área de transição), em um Argissolo Vermelho Amarelo, com IEA de 90% nas malhas de 4 a 2mm, corroborando com os dados dessa

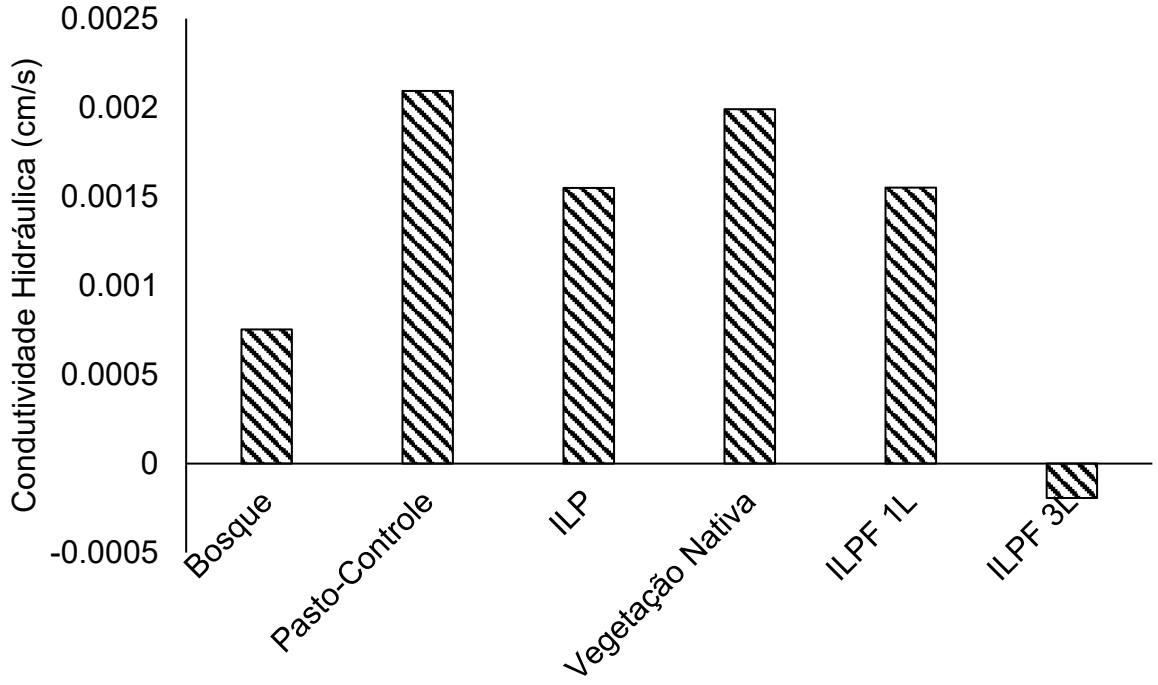
pesquisa. Em análise desses resultados pode-se inferir que a houve predominância de macroagregados estáveis, refletindo boa estruturação do solo proveniente da mata nativa e pasto.

É notório em todos os sistemas na profundidade de 0,10-0,20m e diâmetro de 4mm, a baixa estabilidade dos agregados, demonstrando médias inferiores à 50%. Por estarem na faixa de solo em que os implementos agrícolas são capazes de adentrar, considera-se que o manejo do solo, revolveu as camadas mais profundas. Através disso, o manejo promove a destruição e pulverização estrutural do solo, diminuindo os agregados em classes menores, afetando negativamente a porosidade total do solo e demais propriedades ligadas à percolação da água no solo e aeração (CRUZ, 2017). Associado a esses aspectos, o revolvimento do solo expõe a MO na superfície, local este de maior aeração, ocasionando a oxidação (RIGOLIN *et al*., 2013).

5.7 Condutividade Hidráulica de Solo Não Saturado

Sendo o valor de $K(\Theta)$, a condutividade hidráulica não saturada do solo, em geral, quase todos os tratamentos afetaram positivamente, porém os sistemas Pasto-controle e Vegetação Nativa demonstraram alta $K(\Theta)$, não saturada dentre todos os sistemas integrados e o ILPF 3L mostrou ser o único resultado inferior aos demais (Figura 18).

Figura 18. Valores médios de condutividade hidráulica em Argissolo não saturado. APTA, Andradina (SP), 2022.



Fonte: (MATOS, 2022).

A condutividade hidráulica não saturada foi reduzida no ILPF 3L por efeito das linhas do Eucalipto exercerem efeito no comportamento animal, ou seja, o componente arbóreo disponibilizou sombra para o gado, promovendo conforto térmico naquela área, desse modo, houve impacto negativo do pastejo do gado no local.

Além disso, as copas dos Eucaliptos reduzem a incidência solar sobre a pastagem, impactando na fotossíntese e posteriormente limitam o desenvolvimento da planta. Também Bell *et al*. (2011) e Hunt *et al*. (2016) obtiveram resultados semelhantes, onde eles ressaltaram que o pastejo causa danos em locais principalmente associado à baixa cobertura do solo gerando distúrbios na camada superficial do solo. Pesquisas de Allan *et al*. (2016) afirmaram que uma pastagem na Austrália, o pisoteio animal reduziu em 38% da cobertura vegetal, em razão da alta taxa de lotação, o que deixa o solo mais exposto aos impactos das gotas de chuva e consequente baixa taxa de infiltração da água.

Como demonstramos anteriormente, houve baixa taxa de infiltração de água no ILPF 3L. Desse modo, é importante salientar que o solo compactado afeta

negativamente a infiltração e refletirá na condutividade hidráulica e no teor de água no solo, por serem atributos físicos interligados. De acordo com Rakkar e Blanco-Canqui (2018) a diminuição na infiltração pode ocorrer perdas de água por evaporação em virtude da redução da vegetação que recobre o solo, e desse modo, afeta o armazenamento de água no solo.

É notório a influência da Vegetação Nativa e Pasto-controle por se destacarem entre os sistemas. Presume-se que o sistema poroso do solo aliou a textura arenosa e o tipo de sistema radicular. Em solos arenosos há predomínio de macroporos e tem por finalidade drenar e aerar o solo, e através disso, disponibilizam maior movimento da água no perfil do solo. O capim Marandu apresenta como característica morfológica, raízes profundas e vigorosas, e quando se decompõem, fornecem MO e abre canalículos no subsolo favorecendo a maior percolação da água. Em relação à Vegetação Nativa, o alto teor de MO proporcionado pela serrapilheira e a vasta diversidade de sistema radicular na área favoreceram o aumento da macroporosidade que posteriormente refletiu na maior condutividade hidráulica.

5.8 Fertilidade do Solo

Os resultados dos atributos químicos do solo nos seis ambientes analisados estão representados na Tabela 11. Os resultados analíticos, de modo geral, foram altos para Soma de Bases (SB) e Capacidade de Troca Catiônica (CTC). Os valores de alta a médio para pH, Cálcio (Ca) e Acidez Potencial (H+Al); de alto a baixo para Magnésio (Mg), médio para Alumínio (Al), de médio a baixo para Matéria Orgânica (MO), Saturação por Bases (V%) e Potássio (K) e baixos teores de Fósforo (P), segundo a classificação de Raij *et al*. (1996).

A análise do solo evidenciou que os teores de Ca, em sua maioria, são mais altos que Mg e K, em virtude da sua maior disponibilidade proveniente dos materiais introduzidos na área de estudo e possuir característica de afinidade com superfícies trocáveis no solo, fato também foi observado por Aquino (2014). O Bosque demonstrou ser o tratamento com maior teor entre os tratamentos na camada de 0,00-0,05m, em seguida, o ILP nas camadas de 0,05-0,10 e 0,10-0,20m. Este resultado está relacionado com o aporte de MO no solo, proveniente da deposição de material

vegetal (SILVA *et al*., 2012; RIBEIRO *et al*., 2019; BUTZKE *et al*., 2020) ou animal na área.

Os teores de K foram médios na camada de 0,00-0,10m e os tratamentos que se destacaram foram Vegetação Nativa e Bosque. O P está com baixo teor em todas as camadas do solo e tratamentos. O Mg se encontra com teor alto na camada de 0,00-0,05m no ambiente Bosque, teor médio no ILP em 0,05-0,10m e baixo na Vegetação Nativa 0,10-0,20m. Esses resultados são discrepantes para P e K e confirmam os teores de Mg, dos trabalhos de Silva *et al*. (2012) e Ribeiro *et al*. (2019), que ao avaliarem o estoque de serrapilheira, sob manejo agroflorestal, esta foi capaz de acrescentar os teores de P, K e Mg na superfície do solo comparando com o sistema de Vegetação Nativa. O sistema Vegetação Nativa está inserido em uma reserva biológica, localizada na transição entre a Floresta Estacional Semidecidual e o Cerrado, portanto esse local não houve interferências antrópicas, isso explica a alta quantidade de serrapilheira no local.

O solo refletiu o pH com acidez elevada (RAIJ *et al*., 1996), fato esse em decorrência de intensas precipitações que aconteceram ao longo dos anos, associadas ao terreno ondulado característico de Argissolos, e pelo longo período de exposição do solo devido à atividade pecuária da área, são precursores da lixiviação dos nutrientes, favorecendo dessa forma, a permanência dos cátions H^{+} e Al^{3+} no complexo de troca. Os valores de pH possuem relação inversamente proporcional ao Al^{+3} ou seja, quanto mais alto o valor de pH menor será o Al^{+3}. Essa relação ocorreu em todas as camadas e tratamentos analisados. Ademais, os resultados estão abaixo da faixa considerada ideal agronomicamente (5,5-6,5) portanto, a absorção dos nutrientes, é afetada negativamente. O ILPF 1L se destacou como o mais ácido entre todos os tratamentos e profundidades estudadas

Tabela 11. Atributos químicos do Argissolo em SIPAs, nas camadas de 0,00-0,05; 0.05-0,10; e 0,10-0,20m. APTA, Andradina, SP, 2022.

Tratamento	Atributos Químicos do Solo - 0,00-0,05 m											
	P - resina mg/dm³	MO g/dm³	pH CaCl2	K mmolc/dm³	Ca mmolc/dm³	Mg mmolc/dm³	H+Al	Al	SB	CTC mmolc/dm³	V %	m %
Pasto-controle	4.7	20.3	4.8	1.6	10.0	6.7	29.0	2.0	17.9	46.9	38.3	10.7
Vegetação Nativa	5.7	25.7	5.1	2.0	8.4	8.3	27.7	1.0	22.0	49.6	45.0	4.7
Bosque	5.7	23.3	5.2	2.1	16.7	9.7	21.7	0.7	28.5	50.1	57.3	2.7
ILP	6.7	24.7	4.9	1.1	13.0	8.3	24.0	1.7	21.1	45.1	46.7	7.3
ILPF 1L	7.7	23.3	4.5	1.2	9.9	8.0	28.0	2.7	19.8	47.8	41.3	12.7
ILPF 3L	6.7	24.0	4.8	1.7	11.0	9.3	25.0	1.7	24.7	49.7	48.0	7.7
Tratamento	Atributos Químicos do Solo - 0,05-0,10 m											
	P - resina mg/dm3	MO g/dm³	pH CaCl2	K mmolc/ dm³	Ca mmolc/ dm³	Mg mmolc/ dm³	H+Al	Al	SB	CTC mmolc/ dm³	V %	m %
Pasto-controle	3.0	16.7	4.7	1.4	10.0	4.7	26.0	2.0	16.0	42.0	38.3	11.3
Vegetação Nativa	3.7	17.3	4.6	1.4	7.3	5.0	30.0	2.0	13.7	43.7	31.3	12.7
Bosque	3.7	15.7	4.7	1.9	10.0	5.3	23.0	2.3	17.2	40.2	44.0	13.3
ILP	5.0	21.7	5.0	1.0	14.0	7.3	21.7	1.0	22.3	44.0	50.3	4.7
ILPF 1L	6.7	17.3	4.4	1.1	9.3	5.7	27.0	3.7	16.1	43.1	37.3	18.7
ILPF 3L	5.0	17.0	4.8	1.6	10.0	6.3	31.0	3.3	17.9	48.9	36.0	17.3
Tratamento	Atributos Químicos do Solo - 0,10-0,20 m											
	P - resina mg/ dm³	MO g/ dm³	pH CaCl2	K mmolc/ dm³	Ca mmolc/ dm³	Mg mmolc/ dm³	H+Al	Al	SB	CTC mmolc/ dm³	V %	m %
Pasto-controle	2.3	15.0	4.8	1.2	10.3	4.7	23.3	2.0	16.2	39.6	41.0	11.0
Vegetação Nativa	2.7	13.7	4.6	1.1	6.3	3.7	24.3	2.3	11.1	35.4	31.3	18.0
Bosque	2.7	12.0	4.7	1.5	9.3	4.3	20.3	2.0	15.1	35.5	43.7	11.3
ILP	4.3	16.7	5.1	0.9	13.3	7.0	18.0	0.3	21.3	39.3	54.0	2.0
ILPF 1L	5.0	16.3	4.6	1.1	9.7	6.0	24.7	3.0	16.8	41.4	41.0	15.3
ILPF 3L	3.7	14.7	4.8	1.5	9.3	5.0	26.0	3.0	15.8	41.8	37.7	17.0

Fonte: (MATOS, 2022).

O teor de MO decresceu de acordo com a profundidade do solo em todos os tratamentos, em consequência da deposição proveniente de material orgânico de origem vegetal ou animal nas camadas superiores do solo. Verificou-se que a MO está relacionada com a CTC em todas as camadas e tratamentos. Possivelmente, a MO contribuiu para os valores da CTC, por ser o componente do solo que influencia, nas perdas por lixiviação e problemas com salinidade. A Vegetação Nativa demonstrou possuir o maior teor de MO na camada de 0,00-0,05m, seguido pelo ILP nas camadas de 0,05-0,10m e 0,10-0,20m. Esses resultados corroboram com os dados de GF, ADA, RMP e UG desse mesmo trabalho, em que há ligação entre os atributos químicos com os atributos físicos do solo. De acordo com Costa *et al*. (2015), as características químicas do solo em sistemas integrados é resultado do maior aporte de resíduos decompostos na camada superficial do solo, que disponibilizam nutrientes no sistema, estimulando a atividade biológica.

Os valores de Al^{3+} e m% está mediano e alto, respectivamente, para todas as profundidades e tratamentos. Considerando-se esses valores, há em todos os sistemas problemas de toxidez por Alumínio. Aproximadamente 70% de solos brasileiros possuem como característica a acidez e possuem a capacidade de reduzir o potencial de produção das culturas, em virtude da alta concentração de Al^{3+} solúvel (QUAGGIO, 2000), e a presença desse elemento no solo, causa danos à planta, inibindo o alongamento radicular (CHANDRAN *et al*., 2008) e reduz a absorção dos nutrientes (ABREU Jr. *et al*., 2003). Ademais, o resultado de H+Al possui relação positiva com Al^{3+}, pois corresponde à soma de Al^{3+} com os íons de hidrogênio que foram adsorvidos aos coloides do solo (EBELING *et al*., 2008).

A CTC, SB e H+Al, estão relacionados diretamente em razão de serem interdependentes para determinação dos atributos químicos do solo, dessa forma, corresponderam com altos teores. A CTC em todos os tratamentos e profundidades analisadas foram classificadas como altas. O Bosque se destacou com maior valor nas camadas de 0,00-0,05m, e a ILPF 3L nas camadas de 0,05-0,10 e 0,10-0,20m. A SB foi classificada como média a alta em todos os tratamentos e profundidades analisadas. O Bosque se destacou com maior SB na camada de 0,00-0,05m e a ILP nas camadas de 0,05-0,10 e 0,10-0,20m. Enquanto que a H+Al foi alta em todos os tratamentos e profundidades analisadas. O Pasto-controle destacou-se com maior

acidez potencial na camada de 0,00-0,05m e ILPF 3L nas camadas de 0,05-0,10m e 0,10-0,20m.

Sobre o V% os valores médios representam a baixa fertilidade natural nos tratamentos analisados, sendo considerado um solo distrófico. Na camada de 0,00-0,05m, a V% foi superior no Bosque e nas camadas de 0,05-0,10 e 0,10-0,20m estão classificados como médios no ILP. Essa relação entre V% e Al^{3+} é inversa, em consequência da capacidade de Al^{3+} em ocupar as cargas do complexo do solo, reduzindo a possibilidade da CTC em fixar maior quantidade de bases trocáveis que favorece a SB.

O ILPF 1L se destacou em todas profundidades com baixo teor de P, porém esse atributo demonstrou estar com baixos teores em todos os tratamentos e profundidades. Os solos tropicais são caracterizados pelos baixos teores de P disponível e alto grau de intemperismo (BONSER *et al*., 1996; ROCHA *et al*., 2005). É comumente encontrado no Brasil, solos ácidos que promovem a deficiência em P e essa baixa disponibilidade e o reduzido aporte de P orgânico proveniente de resíduos decompostos no perfil superficial do solo, aumentam os problemas de deficiência.

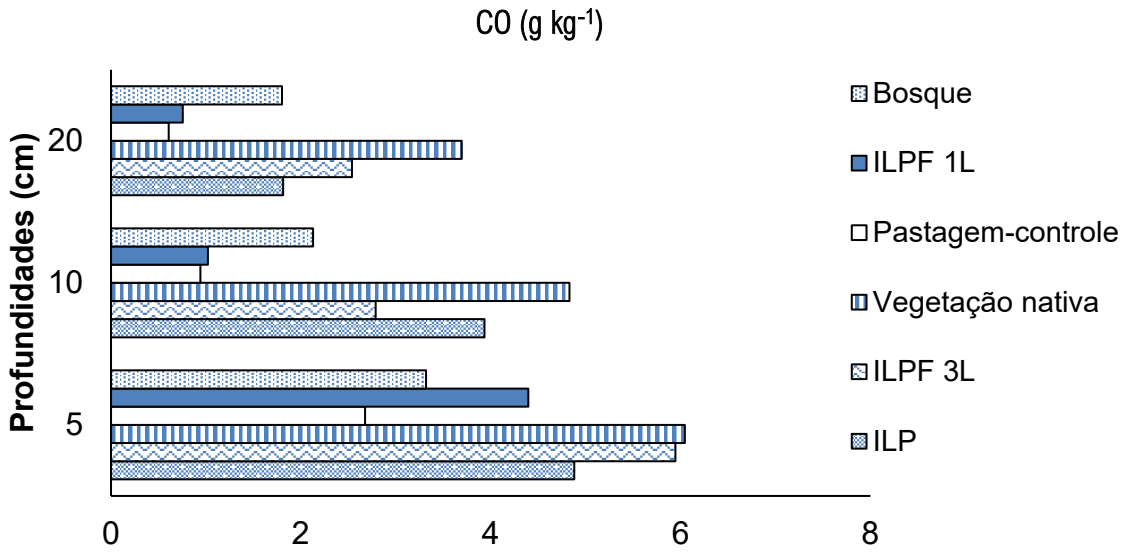
5.9 Fracionamento Físico da Matéria Orgânica

O Carbono Orgânico (CO) está inserida na fração pesada (FP) da MO e intimamente ligada à fração mineral do solo, e estudos relatam que a FP é pouco transformada pelo uso e manejo do solo em curto espaço de tempo. Desse modo, o CO da Vegetação Nativa apresentou uma ciclagem de nutriente mais lenta (Figura 19) similar os verificados por Bayer *et al*. (2004) e Santos *et al*. (2012). Em consequência disso, o conteúdo de CO pode estar em alto grau de decomposição e estabilização, especialmente pelas interações entre as partículas minerais (BALDOCK; SKEJMSTAD, 2000).

A área de Vegetação Nativa não teve interferências antrópicas e o acúmulo de MO proveniente da serrapilheira favoreceram o alto teor de CO em comparação aos demais sistemas. Silva e Mendonça (2007), afirmaram que sistemas que tiveram pouco revolvimento do solo, se beneficiaram com o incremento do CO da FP-areia no ambiente, sendo essa fração formada por diversos resíduos vegetais ou proveniente de outros materiais que se adeririam à superfície das partículas, sendo facilmente propenso à ação de microrganismos, em comparação às demais FP. Nessa mesma

linha de estudo, resultados distintos foram encontrados por Gazolla *et al*. (2015) onde analisaram diferentes sistemas de cultivo, sendo o ILP o sistema que se destacou por conter maior teor de CO na superfície do solo e teor semelhante ao Cerrado nativo, em subsuperfície.

Figura 19. Dados médios de Carbono Orgânico no solo (CO), nos sistemas e profundidades do solo. APTA, Andradina (SP), 2022.



Fonte: MATOS, 2022.

A fração facilmente oxidável da MO é considerada um indicador de qualidade do sistema de manejo do solo, e em virtude da sensibilidade dessa fração, conclui-se que este compartimento seja capaz atuar como indicador de qualidade para avaliar os sistemas de manejos (CONCEIÇÃO *et al*., 2005; LIMA *et al*., 2008; SANTOS *et al*., 2012; SANTOS *et al*., 2013), então a partir disso, podemos presumir que o melhor tratamento foi a Vegetação Nativa dentre todos os sistemas.

Em todas as camadas avaliadas o Pasto-controle obteve o menor teor de CO (Figura 19), isso se deve especialmente pelo local do presente estudo estar situada na região tropical, sendo afetado diretamente por ser um solo cultivado por pasto degradado, onde ocorre a rápida decomposição da MO em virtude das altas temperaturas do ambiente. Temperaturas elevadas em solo degradado, onde presume-se que tenha ausência ou baixa cobertura superficial de palhada, a

temperatura influencia negativamente o solo, pois reduz o teor de água e a capacidade de absorver nutrientes, assim como constatado por Ashagrie *et al*. (2007).

Além disso, outra possibilidade de redução de CO a destacar, é atividade microbiológica que está relacionada com a redução da MO. Os microrganismos realizam a oxidação dos materiais orgânicos que foram expostos após o manejo convencional do solo (SPACCINI *et al*., 2006). Também Cardelli *et al*. (2012) salientaram que, assim como o conteúdo e a qualidade da MO, a bioquímica é afetada, especialmente quando o sistema natural é modificado para pastagem ou demais culturas.

6 ESTUDOS COMPARATIVOS DA ANÁLISE MULTIVARIADA

Para a análise multivariada, os dados foram submetidos à análise de componentes principais para os atributos químicos e físicos do solo, nos anos de 2020 e 2022 (Tabela 12).

Tabela 12. Análise de componentes principais para os atributos químicos e físicos do solo dos anos de 2020 e 2022 em SIPAS.

PCA	2020		2022	
	Dim 1	Dim 2	Dim 1	Dim 2
Autovalor	10,14	5,35	7,2	4,87
Variância explicada (%)	46,09	24,33	32,71	22,13
Variância acumulada (%)	46,09	70,42	32,71	54,84

As correlações entre as variáveis analisadas e o diagrama de autovetores do ano de 2020, estão representadas nas Figuras 20 e 21, respectivamente. Com base nos resultados obtidos pela técnica de Análise de Componentes Principais (PCA-Biplot), a Dimensão 1 (Dim1) explica 46,1% da variância total e a Dimensão 2 (Dim2) explica 24,3% do conjunto de dados total (Figura 21). Presume-se então, que o conjunto das dimensões 1 e 2, explicam 70,4% da variância total observada dos dados originais, sendo o restante 29,6% são referentes à fatores insignificantes das análises.

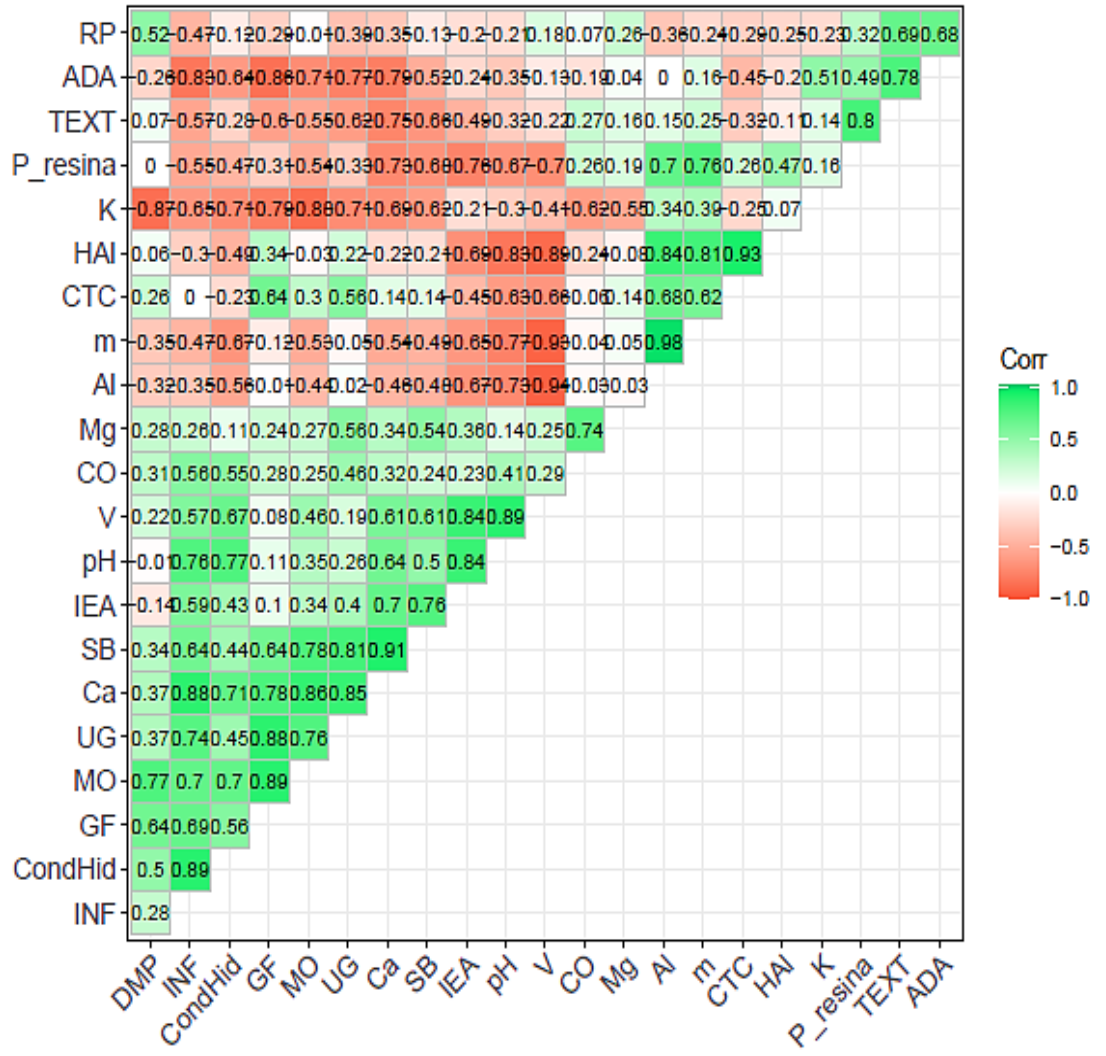


Figura 20. Correlação das variáveis analisadas nas áreas de estudo sob diferentes sistemas de manejo e Vegetação Nativa em um Argissolo Vermelho Amarelo distrófico, na profundidade de 0,0-0,20m. APTA, Andradina (SP), 2020.

Coeficientes de correlação entre atributos do solo em APTA, Andradina (SP). CondHid: condutividade hidráulica não saturada; pH: potencial hidrogeniônico; Ca: cálcio; Mg: magnésio; Al: alumínio; H+Al: Acidez Potencial; P_resina: fósforo; K: potássio; CTC: capacidade de troca de cátions; V%:saturação por bases; CO: carbono orgânico; m%: Saturação por Alumínio; MO: Matéria Orgânica; SB: Soma de Bases; INF:Infiltração de água; RP: Resistência mecânica à Penetração; UG:Umidade Gravimétrica; GF:Grau de Floculação; ADA: Argila dispersa em água; TEXT: Textura; DMP:Diâmetro Médio Ponderado; IEA: Índice de Estabilidade de Agregados, Cor verde intenso: alta correlação, Cor vermelho intenso: baixa correlação. **Fonte:** MATOS (2022), gráfico gerado pelo R Core Team, 2021.

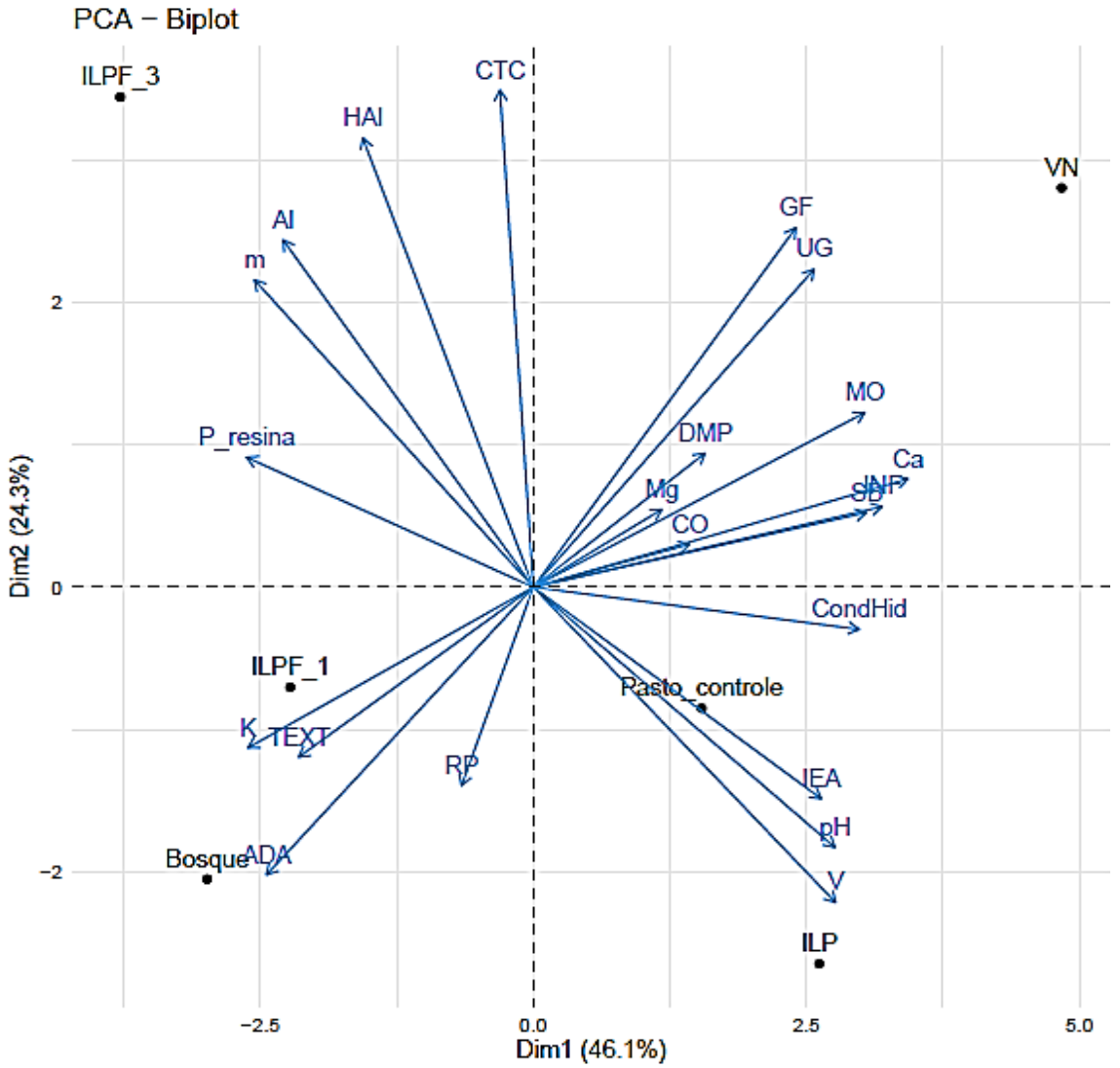


Figura 21. Diagrama de autovetores do ano de 2020 dos atributos físicos e químicos, na camada 0,0-0,20m de um Argissolo Vermelho distrófico submetido a diferentes usos. APTA, Andradina (SP).

CondHid: condutividade hidráulica não saturada; pH: potencial hidrogeniônico; Ca: cálcio; Mg: magnésio; Al: alumínio; H+Al: Acidez Potencial; P_resina: fósforo; K: potássio; CTC: capacidade de troca de cátions; V%:saturação por bases; CO: carbono orgânico; m%: Saturação por Alumínio; MO: Matéria Orgânica; SB: Soma de Bases; INF:Infiltração de água; RP: Resistência mecânica à Penetração; UG:Umidade Gravimétrica; GF:Grau de Floculação; ADA:Argila dispersa em água; TEXT: Textura; DMP:Diâmetro Médio Ponderado; IEA: Índice de Estabilidade de Agregados. **Fonte:** MATOS (2022), gráfico gerado pelo R Core Team, 2021.

O tratamento Vegetação Nativa, que está agrupado à direita do gráfico na Dim 1, está compartilhando altos valores das variáveis Grau de Floculação, Umidade Gravimétrica, Matéria Orgânica, Cálcio, Infiltração de Água no solo, Soma de Bases, Magnésio, Diâmetro Médio Ponderado e Carbono Orgânico, as quais possuem correlações positivas (Figura 20 e Figura 21) e podem ser atribuídas à serrapilheira

na superfície do solo, que contribui para o incremento da MO (Tabela 6) (TOSCAN *et al*., 2017) e consequentemente há maior disponibilidade de Ca e Mg, o que contribui para o incremento no teor da SB (Tabela 6). Além disso, o alto teor da UG do tratamento VN (Tabela 13), é favorecida em virtude da serapilheira atuar como agente físico na retenção da umidade do solo, evita a erosão e melhora os atributos físicos (HOLANDA *et al*., 2015). O grupo formado pelos sistemas ILPF_1 e Bosque (caracterizado pela coordenada negativa no eixo) estão compartilhando baixos valores para DMP, Mg e CO.

O grupo formado pelos sistemas ILP e Pasto_controle à direita do gráfico (Figura 20) na Dim1 (caracterizado por uma coordenada positiva no eixo) está compartilhando altos valores para IEA, pH, V% e CondHid e baixos valores para a CTC, H+Al, Al, m% e P_resina, comprovando os dados da Figura 19, por estarem de modo ortogonal ao quadrante do Pasto_controle e ILP, onde foram observadas correlações negativas entre m% e V%. Na Tabela 6, verifica-se o baixo teor de CTC na ILP e Pasto_controle. De acordo com os estudos de Loss *et al*. (2014), os sistemas integrados favoreceram o IEA em comparação ao monocultivo, corroborando com os resultados deste trabalho.

O tratamento localizado no canto superior, à esquerda do gráfico (Figura 21) na Dim2 (na coordenada positiva do eixo) representa o sistema ILPF_3, e apresentou altos valores para CTC e H+Al. Eles estão relacionados diretamente em razão da acidez potencial (H+Al) ser constituinte da CTC, contribuindo aos dados da alta correlação encontrada na figura 19.

O grupo formado por Pasto_controle e ILP está compartilhando altos valores para CondHid, IEA, pH e V%, e valores baixos de CTC, H+Al, Al^{+3}, m% e P_resina (Figura 21). Presume-se que solos com Al^{+3} trocável apresente altos teores de acidez potencial (H+Al) pois esses elementos apresentam correlação positiva em virtude da acidez potencial ser constituída do total de H^{+} e Al^{+3} (SILVA *et al*., 2006).

Em comparação aos anos de 2016 e 2020, houveram alterações ao longo do tempo nos atributos químicos e físicos deste experimento. Verifica-se que os atributos pH, Ca, SB e RMP nos tratamentos: Bosque, ILP, ILPF 1L e ILPF 3L não apresentavam diferenças significativas (Tabela 1), sendo que em 2020, o Bosque e ILPF_1 estão inseridos na coordenada negativa do gráfico PCA (Figura 21) compartilhando correlação alta entre os vetores da RP e baixa correlação para os

vetores da SB e Ca. Desse modo, os atributos físicos e químicos diminuíram a qualidade estrutural desses sistemas, podendo haver situação crítica no desenvolvimento do sistema radicular e absorção de nutrientes.

A UG do ano de 2020 está maior que 2016, portanto houve acréscimo da umidade do solo no decorrer do tempo (Tabela 1). Pode-se citar que no ano de 2020, o solo possuía baixo conteúdo de água nas camadas superficiais, em virtude da região da área experimental ter passado por veranicos, fato também mencionado por Assis *et al*. (2009). O baixo teor de matéria orgânica, é fator confirmado no quadrante oposto na coordenada positiva (Figura 21).

Em 2016, não foram observadas diferenças significativas para o pH entre os tratamentos (2016), no entanto, em 2020, o sistema ILP apresentou coordenada positiva para pH (Figura 21). Isso pode ser explicado pela relação direta dos resíduos do sistema com o incremento de carbono no solo, desse modo, alto teor de carbono promoverá menor acidez (EBELING *et al*., 2008; MACHADO *et al*., 2014). Quanto ao ILPF_3 (à esquerda no gráfico, da Figura 20), localizada de modo oposto ao ILP, caracteriza-se por uma coordenada positiva no eixo, está compartilhando valor baixo para pH, exibindo maior acidez no solo, fato esse afirmado na Tabela 6.

O tratamento ILP em 2020 apresentou redução significativa dos valores de P_resina, MO, Mg, UG e INF, conforme pode ser observado no quadrante inferior à direita do gráfico (Figura 21). Essa redução de valores, pode ser visualizada na Tabela 6, enquanto em 2016 (Tabela 1, os valores de P_resina e MO, eram superiores e os valores de Mg, UG e INF não diferiram dos demais tratamentos ILPF_3, ILPF_1 e Bosque. Desse modo, entende-se que estes atributos foram reduzidos ao longo do tempo.

O teor de K foi diferente no tratamento Bosque (no ano de 2016) em relação aos demais tratamentos (Tabela 1), e apresentou na PCA de 2020, na coordenada negativa, à esquerda do gráfico (Figura 21), novamente, altos teores de K para o tratamento Bosque. Portanto, pode-se concluir que o teor de K manteve-se constante durante o período de 2016 a 2020 (Tabela 6).

As correlações entre as variáveis analisadas e o diagrama de autovetores do ano de 2022, estão nas Figura 22 e Figura 23, respectivamente. De acordo com a Figura 22, a PCA dos atributos físicos e químicos do solo do segundo ano de pesquisa foi extraído o componente da Dimensão 1 (Dim1) que explica 32,7% da variabilidade

do conjunto de dados e a Dimensão 2 (Dim2) explica 22,1% do conjunto de dados. Então, o conjunto das dimensões 1 e 2, resultam em 54,8% das análises da variação útil total e as estimativas dos valores adequados dos eixos a serem analisados sugerem apenas os eixos portadores de informações importantes e como consequência, a interpretação ficará apenas a eles.

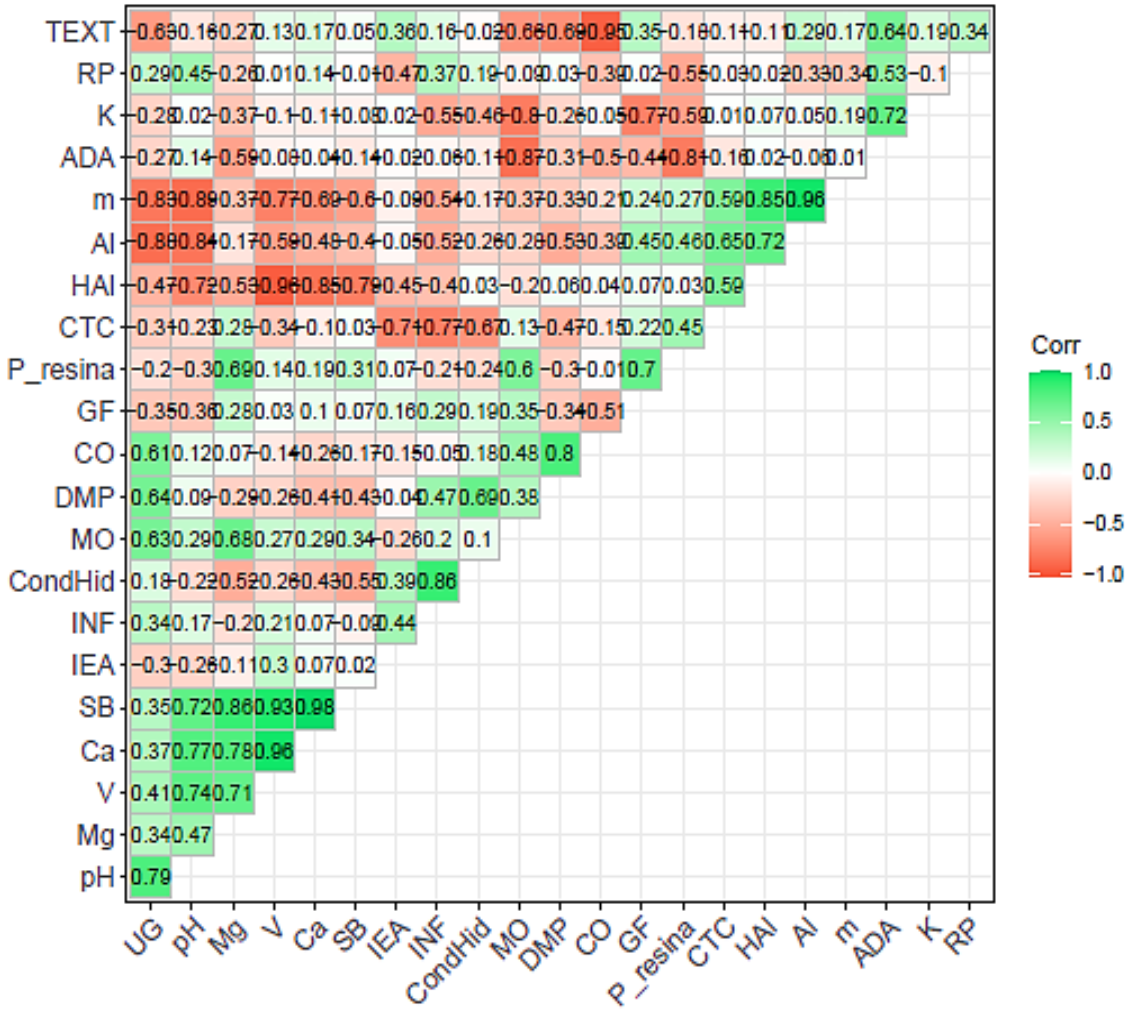


Figura 22. Correlação das variáveis analisadas nas áreas de estudo sob diferentes sistemas de manejo e Vegetação Nativa em um Argissolo Vermelho amarelo distrófico, na profundidade de 0,0-0,20m. APTA, Andradina (SP), 2022.

Coeficientes de correlação entre atributos do solo em APTA, Andradina (SP). CondHid: condutividade hidráulica não saturada; pH: potencial hidrogeniônico; Ca: cálcio; Mg: magnésio; Al: alumínio; H+Al: Acidez Potencial; P_resina: fósforo; K: potássio; CTC: capacidade de troca de cátions; V%:saturação por bases; CO: carbono orgânico; m%: Saturação por Alumínio; MO: Matéria Orgânica; SB: Soma de Bases; INF:Infiltração de água; RP: Resistência mecânica à Penetração; UG:Umidade Gravimétrica; GF:Grau de Floculação; ADA: Argila dispersa em água; TEXT: Textura; DMP:Diâmetro Médio Ponderado; IEA: Índice

de Estabilidade de Agregados, Cor verde intenso: alta correlação, Cor vermelho intenso: baixa correlação. **Fonte:** MATOS (2022), gráfico gerado pelo R Core Team, 2021.

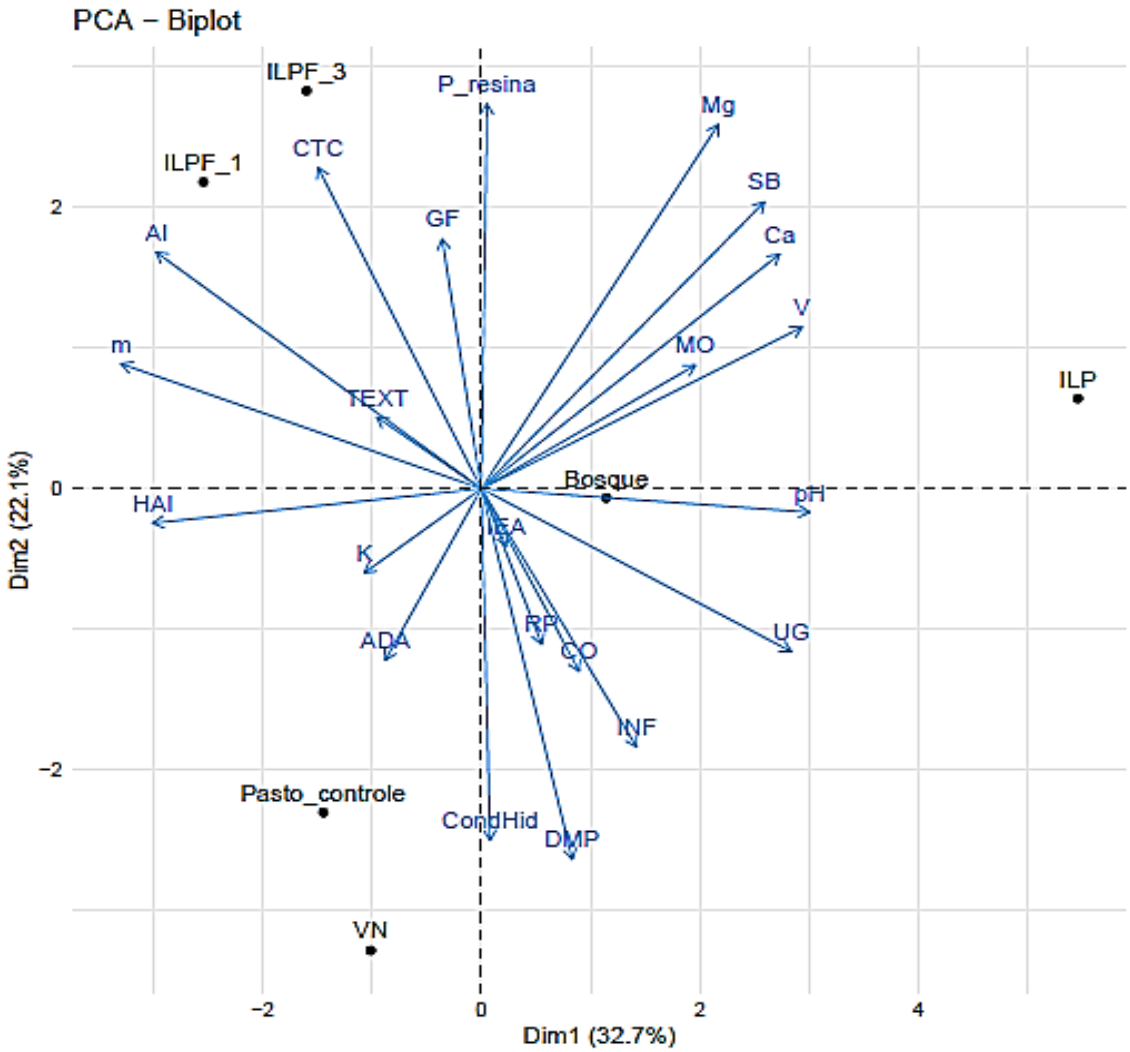


Figura 23. Diagrama de autovetores do ano de 2022 dos atributos físicos e químicos e da camada 0,0-0,20m de um Argissolo Vermelho distrófico submetido a diferentes usos. APTA, Andradina (SP).

Atributos: CondHid: condutividade hidráulica não saturada; pH: potencial hidrogeniônico; Ca: cálcio; Mg: magnésio; Al: alumínio; H+Al: Acidez Potencial; P_resina: fósforo; K: potássio; CTC: capacidade de troca de cátions; V%:saturação por bases; CO: carbono orgânico; m%: Saturação por Alumínio; MO: Matéria Orgânica; SB: Soma de Bases; INF:Infiltração de água; RP: Resistência mecânica à Penetração; UG:Umidade Gravimétrica; GF:Grau de Floculação; ADA: Argila dispersa em água; TEXT: Textura; DMP:Diâmetro Médio Ponderado; IEA: Índice de Estabilidade de Agregados. **Fonte:** MATOS (2022), gráfico gerado pelo R Core Team, 2021.

Em comparativo dos anos de 2020 e 2022, observa-se que o tratamento ILP (agrupado à direita do gráfico na Dim1) está compartilhando correlação positiva com as variáveis Mg, SB, Ca, P_resina, MO e V%, em 2022 representado pela Tabela 11.

Sendo este último componente fortemente correlacionado também no ano de 2020 (Tabela 6). Além disso, esses atributos (Mg, SB, Ca, P_resina, MO e V%), são diretamente e fortemente relacionados entre si e inversamente relacionados ao GF, CTC, Al, m% e TEXT, que estão representados à esquerda do gráfico, também localizada na Dim1. O Al apresentou correlação forte e positiva com m% e negativa com a MO (Figura 23). De acordo com Salton *et al*. (2014) e, Sulc e Franzluebbers (2014) os resíduos vegetais que estão na superfície de solos com manejo conservacionista, como os SIPAS (Sistemas Integrados de Produção Agropecuária), incrementam o teor de MO no solo, corroborando com os resultados desta pesquisa. Além disso, a *Urochloa* possui capacidade de adicionar MO, incrementando Carbono e Nitrogênio no solo (SIGNOR *et al*., 2018).

O grupo situado no canto superior, à esquerda do gráfico (na coordenada negativa da Dim1) representa o sistema ILPF_3 e ILPF_1, onde as variáveis CTC, GF, Al, m% e TEXT são diretamente relacionadas entre si. Além disso, em 2020, o ILPF_3 também demonstrou correlação positiva com CTC, Al e m%, assim como também foi demonstrado na Tabela 6, portanto, entende-se que o tratamento ILPF_3 é efetivo para manter esses atributos químicos. O grupo localizado na parte inferior, à esquerda do gráfico (coordenada negativa da Dim1) composto por VN e Pasto_controle está compartilhando baixos teores para Mg, SB, Ca, V% e MO. Porém no ano de 2020 a VN apresentou alta correlação com Mg, SB e Ca assim como foi verificado na Tabela 6, porém evidencia-se que nesse ambiente possa ter ocorrido um distúrbio de natureza não antrópica, pois é um local que não houve manejo do solo, em todos os anos analisados. Nesse caso, possivelmente, possa ter ocorrido assoreamento do solo pelo fato do elevado grau de inclinação do terreno (aproximadamente 6%). A correlação forte e negativa do K e ADA com a MO (Figura 22), correlaciona-se com os resultados encontrados da Figura 23.

Em relação à Dim2, o grupo localizado no canto superior à esquerda, do gráfico (coordenada positiva, Figura 23) demonstra os altos valores da ILPF_3 e ILPF_1, para GF, CTC, Al, m%, como confirmado também pela Tabela 11, com correlação baixa para TEXT. Na parte inferior do gráfico (coordenada negativa) o Bosque apresentou baixos valores de CTC, GF, TEXT, Al e m%, o que pode justificar a correlação forte e negativa do Al e m% com pH (Figura 22). Além do pH, as variáveis UG, INF, CO, DMP,

CondHid, RP e IEA também apresentaram altos valores no Bosque, bem como valor semelhante ao de RP no ano de 2020 (Tabela 13).

Em comparativo ao ano de 2016 com 2022, é notório as modificações que ocorreram no solo quanto aos atributos químicos e físicos. Inicialmente os atributos: pH, Ca, SB e RP nos tratamentos Bosque, ILP, ILPF_1 e ILPF_3 não foram significativos (Tabela 1), sendo que em 2022, o Bosque que está situado à direita do gráfico, caracterizada por uma coordenada fortemente positiva, com alto valor para pH, médio para RMP, e redução para os atributos Ca e SB no solo (Tabela 11). Quanto ao ILP, possui coordenada fortemente positiva com altos valores para SB e Ca. Afirmando que esses teores se mantiveram no sistema durante os anos de estudo. Porém o ILPF_1 e ILPF_3 estavam localizados no quadrante oposto ao Bosque e ILP, consequentemente, compartilharam valores baixos para os atributos descritos.

Pela PCA do ano 2022, o sistema ILP apresentou alta correlação de P_resina, MO, Mg e baixo teor da UG e INF por estar localizado no quadrante oposto. Em comparação com os dados da Tabela 1 (ano 2016), o tratamento ILP apresentou valores significativamente altos para P_resina, MO, Mg, UG e INF em relação ao Bosque, e semelhante aos demais tratamentos. Desse modo, pode-se inferir que os teores de MO e Mg permaneceram elevados (Tabela 11), enquanto os teores de UG e INF foram reduzidos no tratamento ILP.

Na Tabela 1 (ano 2016), o K mostrou-se significativamente elevado no tratamento Bosque, em relação aos demais tratamentos, enquanto pela PCA do ano de 2022 os valores para o K estavam fortemente negativo na coordenada, à esquerda do gráfico, para os tratamentos Pasto_controle e VN (Figura 23). Dessa forma, sugere-se que o teor de K esteja baixo em todos os tratamentos. No entanto, os tratamentos Pasto controle e VN não foram analisados no ano de 2016, por isso, não há comparativos para melhor compreender se este atributo está ou não diminuindo nesses tratamentos.

7 CONCLUSÃO

No ano de 2020, o sistema que elevou ou conservou os atributos físicos do Argissolo, de modo geral, foi Pasto-controle com resultados semelhantes à Vegetação Nativa, sendo esta, considerada a área modelo padrão por não possuir interferência antrópica.

Nos atributos químicos, a ILP foi mais expressiva na melhoria da qualidade do solo quando comparado aos demais, porém vale destacar que a Vegetação Nativa também demonstrou benefícios ao sistema.

Depois de mais de dez anos de instalação dos sistemas (2022), houve efeitos benéficos na qualidade física do solo, com destaque para a ILP, o Pasto-controle e a Vegetação Nativa.

Em relação à fertilidade do solo, a melhor eficiência dos sistemas Bosque, ILP e Vegetação Nativa por preservar ou aumentar a qualidade química do solo.

Quanto à análise multivariada (PCA), houve oscilações nos atributos físicos e químicos, melhorando principalmente a estrutura do solo. O sistema Integração Lavoura Pecuária se destacou na melhoria da qualidade do solo quando comparado aos demais, em ambos os anos, comprovando, portanto, que os sistemas integrados mantêm a qualidade ambiental e sustentabilidade agrícola.

A PCA das áreas sob o ILPF_1 e ILPF_3 mantiveram a qualidade física e química do solo, dez anos após sua instalação.

A PCA do Bosque contribuiu com mudanças significativas positivas na qualidade física e química ao longo do tempo.

Comparando as PCAs dos anos de 2020 e 2022 a Vegetação Nativa e Pasto_controle reduziram a qualidade físico-química do solo.

REFERÊNCIAS

ABREU JR, C.H.; MURAOKA, T.; LAVORANTE, A.F. Relationship between acidity and chemical properties of Brazilian soils. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 60, n. 2, p. 337-343, 2003.

ABREU, A. C. B. **Estudo de solos para aplicações em Geotecnia**. 2020. 57 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Faculdade de Ciências, Universidade do Porto, Porto, 2020.

ADHIKARY, S.; BISWAS, B.; PRIYA, A. Conservation Agriculture: An Efficient Tool to Overcome the Drawbacks of Conventional Agricultural System towards Sustainable Crop Production. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, [s. l.], v. 9, n. 7, p. 1333–1340, 2020.

AGNE, S.A.A.; KLEIN, V.A Matéria orgânica e atributos físicos de um Latossolo Vermelho após aplicação de dejetos de suínos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n.7, p. 720-726, 2014.

ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; ERNANI, P. R.; MAFRA, A. L.; FONTANA, E. C. Aplicação de Calcário e Fósforo e Estabilidade da Estrutura de um Solo Ácido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 5, p. 799-806, 2003.

ALLAN, C.J.; JONES, B.; FALKINER, S.; NICHOLSON, C.; HYDE, S.; MAUCHLINE, S.; FERRIER, D.A.; WARD, P.; SIDDIQUE, K.H.M.; FLOWER.K.C. Light grazing of crop residues by sheep in a Mediterranean-type environment has little impact on following no-tillage crops Eur. **Journal. Agronomy**, Australia, v. 77, p. 70-80, 2016.

ALLEONI, L.R; MELLO, J.W.V.; ROCHA, W.S.D. Eletroquímica, adsorção e troca iônica no solo. In: VANDER, F.M.; ALLEONI, L.R.F. (Eds.). Química e Mineralogia do Solo: Parte II-Aplicações. 1.ed. Viçosa, **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, p.100-164, 2009.

ÁLVAREZ, F.; CASANOVES, F.; SUÁREZ, J.C.; PEZO, D. The effect of diferente levels of tree cover on milk production in dual-purpose livestock systems in the humid tropics of the Colombian Amazon region. **Agroforestry Systems**, v. 95, n. 1, p. 93-102, 2021.

ALVEMAR, H.; ANDERSON, H.; PEDERSEN, H. H. Profitability of controlled traffic in grass silage production - economic modelling and machinery systems. Advances in Animal Biosciences, Dinamarca, v. 8, n. 2, p.749-753, 2017.

ALVES, A. S.; LORI, P.; SILVA, R. B.; BENTO, M. S.; NAKAMURA, R. GAVA, J. L. **Floculação e dispersão da argila em solos cultivados com Eucalipto**. 2015. 54 f.TCC (Graduação em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista" Júlio de Mesquita Filho", Registro, 2015.

AMARO FILHO; J; ASSIS JÚNIOR, R. N.; MOTA, J. C. A. Estrutura do solo In: Física do solo-conceitos e aplicações. 1º ed. Fortaleza: Imprensa Universitária, Cap. 5, p. 289, 2008.

AMELUNG, W.; BOSSIO, D.; DE VRIES, W.; KÖGEL-KNABNER, I.; LEHMANN, J.; AMUNDSON, R.; BOL, R.; COLLINS, C.; LAL, R.; LEIFELD, J.; MINASNY, B.; PAN, G.; PAUSTIAN, K.; RUMPEL, C.; SANDERMAN, J.; VAN GROENIGEN, J. W.; MOONEY, S.; VAN WESEMAEL, B.; WANDER, M.; CHABBI, A. Towards a global-scale soil climate mitigation strategy. **Nature Communications**, [s. l.], v. 11, n. 1, p. 5427, 2020.

ANGULO, R. J.; ROLOFF, G.; SOUZA, M. L. P. Correlação entre diferentes formas de determinação e representação da estabilidade e resistência dos agregados do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Londrina, v.8, p.7-12, 1984.

AQUINO, R. E. **Características de atributos do solo em ambientes da região sul do estado do amazonas**. 2014. 95 F. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2014.

ARAGÃO, A.; CONTINI, E. O agro no Brasil e no mundo: Uma síntese do período de 2000 a 2020. Embrapa. 2021. Disponível em: https://www.embrapa.br/documents/10180/62618376/O+AGRO+NO+BRASIL+E+NO+MUNDO.pdf/41e20155-5cd9-f4ad-7119-945e147396cb.

AREVALO-HERNANDEZ, C. O.; PAIVA, A Q.; MIZUKI, T; ALMEIDA, A. J. G.; UZêDA, M C.; MATOS, E. N. de. Aspectos físicos da qualidade do solo sob sistemas agroflorestais e pastagem no sul da bahia, Ilhéus, v. 28, n. 1, p. 55-64, **Agrotropica**, 2016.

ASHAGRIE, Y.; ZECH, W.; GUGGENBERGER, G.; MAMO, T. Soil aggregation and total and particulate organic matter following conversion of native forests to continuous cultivation in Ethiopia. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 94, n. 1, p.101–108, 2007.

ASSIS, P. C. R.; STONE, L. F.; MEDEIROS, J. C.; MADARI, B. E.; DE OLIVEIRA, J. M.; WRUCK, F. J. Physical attributes of soil in integrated crop-livestock-forest systems. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 4, p. 309–316, 2015.

ASSIS, R. L.; LAZARINI, G. D.; LANÇAS, K. P.; CARGNELUTTI FILHO, A. Evaluation of soil resistance to penetration in different soils with varying moisture contentes. **Engenharia Agrícola**. v. 29, n. 4, p. 558–568, 2009.

AULER, A. C.; GALETTO, S.; HENNIPMAN, F.S.; GUNTZEL, E.D.; GIAROLA, N.S.; FONSECA, A.F. Soil structural quality degradation by the increase in grazing intensity in integrated crop-livestock system Bragantia,v. 76, n. 4, p. 550-556, 2017.

AULER, A.C.; MIARA, S.; PIRES, L.F.; FONSECA, A.F.; BARTH, G. Soil physico-hydrical properties resulting from the management in integrated production systems. **Rev. Ciênc. Agronômica**, v.45, n. 5, p. 976-989, 2014.

AWALE, R.; EMESON, M. A.; MACHADO, S. Soil organic carbon pools as early indicators for soil organic matter stock changes under different tillage practices in Inland Pacific Northwest. **Frontiers in Ecology and Evolution**, United States, v. 5, p. 96, 2017.

BALBINO, L. C.; BARCELLOS, A. de O.; STONE, L. F.; EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Marco referencial integração lavoura-pecuária-floresta / Reference document crop-livestock-forestry integration / editors, Luiz Carlos Balbino, Alexandre de Oliveira Barcellos, Luís Fernando Stone. Brasília, DF: Embrapa, 2011.

BALBINOT JUNIOR, A.A.; MORAES, A.; VEIGA, M.; PELISSARI, A. & DIECKOW, J. Integração lavoura-pecuária: intensificação de uso de áreas agrícolas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 6, p.1925-1933., 2009.

BALDOCK, J. A.; SKJEMSTAD, J. O. Role of the soil matrix and minerals in protecting natural organic materials against biological attack. **Organic Geochemistry**, Oxford, v. 31, n. 2000, p. 697-710, 2000.

BALDOTTO, R.M.; DEISS, L.; VIEIRA, E.M.; SOUZA, D.O.; BALDOTTO, L.E.B. MORAES, A.D.; CARVALHO, P.C.F.; CRUSCIOL, C.A.C.; LANG, C.R.; PARIZ, C.M.; Estoque e frações de carbono orgânico e fertilidade de solo sob floresta, agricultura e pecuária. **Revista Cere**, Viçosa, v. 62, n.3, p. 301-309, 2015.

BARRETO, A. B.; TAVARES, D. D; SILVA, P. L. F.; OLIVEIRA, F. P.; MARTINS, A. F.; PEREIRA, W. E. Argila dispersa em água e grau de floculação de um Latossolo sob gramíneas no Brejo da Paraíba (Brasil). **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, Brejo do Paraíba, v. 7, n. 3, p. 010-019, 2019.

BAYER, C.; AMADO, T.J.C.; TORNQUIST, C.G.; CERRI, C.E.C.; DIECKOW, J.; ZANATTAJ.A. & NICOLOSO, R.D.S. Estabilização do carbono no solo e mitigação das emissões de gases de efeito estufa na agricultura conservacionista. **Tópicos Ciência do Solo**, v. 7, p. 55-118, 2011.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 7, p. 677-683, 2004.

BELL, L.W.; KIRKEGAARD, J.A.; SWAN, A.; HUNT, J. R.; HUTH, N.I.; FETTELL, N. A. Impacts of soil damage by grazing livestock on crop productivity. **Soil and Tillage Research**, Australia, v. 113, p. 19-29, 2011.

BENEDETTI, U. G. **Estudo detalhado dos solos do campus do cauamé da UFRR, Boa Vista, Roraima.** 2007. 91 f. Dissertação-(Mestrado em Recursos Naturais) - Universidade Federal de Roraima, Roraima, 2007.

BIGARDI, L.R**. Árvores na pastagem melhoram a qualidade do solo e de forragens**. 2016. 73 f. Dissertação (Mestrado em Agroecologia) - Universidade Federal de Viçosa,Viçosa, 2016.

BLANCO-CANQUI, H.; HERGERT, G.W.; NIELSEN, R.A. Cattle manure application reduces soil's susceptibility to compaction and increases water retention after 71 years. **Soil Science Society of America Journal**, Nebraska, v. 79, p. 212-223, 2015.

BLANCO-CANQUI, H.; RUIS, S. J. No-tillage and soil physical environment. **Geoderma**, [s. l.], v. 326, p. 164–200, 2018.

BOCUTI, E.D., AMORIM, R.S.S., SANTOS, T.G., DI RAIMO, L.A. DI L., PEREIRA, H.G. Erodibilidade entre sulcos e sua relação com atributos de solos do Cerrado. **Revista de Ciências Agrárias**, Cuiabá, v. 42, n. 1 p. 68-78, 2019.

BONANOMI, G.; DE FILIPPIS, F.; ZOTTI, M.; IDBELLA, M.; CESARANO, G.; AL-ROWAILY, S.; ABD-ELGAWAD, A. Repeated applications of organic amendments promote beneficial microbiota, improve soil fertility and increase crop yield. **Applied Soil Ecology**, [s. l.], v. 156, p. 103714, 2020.

BONINI, C. S. B.; ALVES, M. C. Qualidade física de um Latossolo Vermelho em recuperação há dezessete anos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.16, n. 4, p. 329-336, 2012.

BONSER, A. M.; LYCH, J. P.; SIEGLINDE, S. Effect of phosphorus deficiency on growth angle of basal roots in Phaseolus vulgaris. **New Phytologist**, v. 132, n. 2, p. 281-288, 1996.

BORMANN, H.; KLAASSEN, K. Seasonal and land use dependent variability of soil hydraulic and soil hydrological properties of two Northern German soils. **Geoderma**, Alemanha, v.145, n. 3-4, p. 295-302, 2008.

BOTELHO, R. G. M.; SILVA, A. S. Bacia hidrográfica e qualidade ambiental. Reflexões sobre a geografia física do Brasil. Rio de Janeiro, Bertrand, p. 153-192, 2004.

BRANKATSCHK, G.; FINKBEINER, M. Crop rotations and crop residues are relevant parameters for agricultural carbon footprints. **Agronomy for Sustainable Development**, [s. l.], v. 37, n. 6, p. 58, 2017.

BREWER, K.; GAUDIN, A.C.M. Potential of crop-livestock integration to enhance carbon sequestration and agroecosystem functioning in semi-arid croplands. **Soil Biology And Biochemistry**, Califórnia, 107936, 2020.

BRIEDIS, C.; DE MORAES SÁ, J. C.; LAL, R.; TIVET, F.; FRANCHINI, J. C.; DE OLIVEIRA FERREIRA, A.; DA CRUZ HARTMAN, D.; SCHIMIGUEL, R.; BRESSAN, P. T.; INAGAKI, T. M.; ROMANIW, J.; GONÇALVES, D. R. P. How does no-till deliver carbon stabilization and saturation in highly weathered soils? **Catena**, [s. l.], v. 163, p. 13–23, 2018.

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

BUTZKE, A. G.; OLIVEIRA, T. K.; PAULA, A. E. B.; FIUZA, S. S.: Fertilidade e carbono orgânico do solo em sistemas agroflorestais de duas décadas compostos de castanheira, cupuaçuzeiro e pupunheira na Amazônia Ocidental. **Revista de Ciências Agrárias**, Jaboticabal, v.48, n.2, p.160-169, 2020.

CABRAL FILHO, C.F.; CUNHA, F.N.; SILVA, N.F.; TEIXEIRA, M.B.; SANTOS, L.N.S.; VIEIRA, G.S. Water infiltration rate in distroferric red latosol under different

cropping systems**. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.11, n.3, p. 1371 - 1381, 2017.

CAMPOS, B. C.; REINERT, D. J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J. PETRERE, C. Estabilidade Estrutural de um Latossolo Vermelho Escuro Distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v. 19, p. 121-126, 1995.

CARDELLI R., MARCHINI F., SAVIOZZI A. Soil organic matter characteristics, biochemical activity and antioxidant capacity in Mediterranean land use systems. **Soil and Tillage Research**, Itália, v. 120, p. 8-14, 2012.

CECCON, G. Milho safrinha com solo protegido e retorno econômico em Mato Grosso do Sul. **Revista Plantio Direto**, v. 16, n.97, p. 17-20, 2007.

CHANDRAN, D.; SHAROPOVA, N.; VANDENBOSCH, K.A.; GARVIN, D.F; SAMAC, D.A. Physiological and molecular characterization of aluminum resistance in Medicago truncatula. **BMC Plant Biology**, USA, v. 8, n. 89, p. 1-17, 2008.

CHAPLOT, V.; COOPER, M. Soil aggregate stability to predict organic carbon outputs from soils.**Geoderma**, v. 243–244, p. 205-213, 2015.

CONCEIÇÃO, P. C.; AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. Soil organic matter and other atributes as indicators to evaluate soil quality in conservation systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo.** v. 29, n. 5, p. 777-788, 2005.

COSTA, N. R.; ANDREOTTI, M. BUZETTI, S.; LOPES, K. S. M.; SANTOS, F. G. DOS; PARIZ, C. M. Acúmulo de macronutrientes e decomposição da palhada de braquiárias em razão da adubação nitrogenada durante e após o consórcio com a cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 4, p. 1223-1233, 2014.

COSTA, N.R.; ANDREOTTI, M.; LOPES, K.S.M.; YOKOBATAKE, K.L.; FERREIRA, J.P.; PARIZ, C.M.; BONINI, C. dos S.B.; LONGHINI, V.Z. Atributos do solo e acúmulo de carbono na integração lavoura-pecuária em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, n. 3, p.852-863, 2015.

COWIE, A. L.; ORR, B. J.; CASTILLO SANCHEZ, V. M.; CHASEK, P.; CROSSMAN, N. D.; ERLEWEIN, A.; LOUWAGIE, G.; MARON, M.; METTERNICHT, G. I.; MINELLI, S.; TENGBERG, A. E.; WALTER, S.; WELTON, S. Land in balance: The scientific conceptual framework for Land Degradation Neutrality. **Environmental Science & Policy**, Australia, v. 79, n. 32, p. 25–35, 2018.

CRUZ, D. L. S. **Influência dos sistemas integrados de produção nas características químicas e físicas de um argissolo**. 2017. 128 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, 2017.

CRUZ, D. L. S.; VALE JÚNIOR, J. F.; CRUZ, P. L. S.; CRUZ, A. B. S. NASCIMENTO, P. P. R. Atributos físico-hídricos de um Argissolo Amarelo sob floresta e savana naturais convertidas para pastagem em Roraima. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Roraima, v. 38, n. 1, p. 307-314, 2014.

CUI, Z.; HUANG, Z.; WANG, Y.; QIAN, J.; WU, G. Soil water deficit was effectively alleviated by higher water infiltration after the short-term forestland-to-farmland conversion in semi-arid area. **Journal Of Hydrology**, China, v. 610 p. 127893, 2022.

CUI, Z.; WU, G. L.; HUANG, Z.; LIU, Y. Fine roots determine soil infiltration potential than soil water content in semi-arid grassland soils**. Journal. Hydrology**, China, p.578, 2019.

CUNHA, L. R. A.; SILVA, J. O.; OLIVEIRA, F. P.; TAVARES, D. D.; SILVA, P. L. F; MARTINS, A. F. Resistência à penetração em um latossolo sob diferentes condições de uso no agreste da Paraíba. **Revista Educamazônia**, v. 23, n. 2, p.4 140-153, 2019.

DALMAGO, G. A.; BERGAMASCHI, H.; BERGONCI, J. I.; KRUGER, C. A. M.; COMIRAN, F.; HECKLER, B. M. M. Retenção e disponibilidade de água às plantas, em solo sob plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,** Campina Grande, v. 13, p. 855–864, 2009.

DE BOER, I.J.M.; VAN ITTERSUM, M.K.Circularity in agricultural production. **Wageningen University and Research**, p. 1-74, 2018.

DE MORAES, A.; CARVALHO, P. C. de F.; ANGHINONI, I.; LUSTOSA, S. B. C.; COSTA, S. E. V. G. de A.; KUNRATH, T. R. Integrated crop–livestock systems in the Brazilian subtropics. **European Journal of Agronomy**, Paraná, v. 57, p. 4–9, 2014.

DE OLIVEIRA FERREIRA, A.; AMADO, T. J. C.; RICE, C. W.; RUIZ DIAZ, D. A.; BRIEDIS, C.; INAGAKI, T. M.; GONÇALVES, D. R. P. Driving factors of soil carbon accumulation in Oxisols in long-term no-till systems of South Brazil. **Science of The Total Environment**, [s. l.], v. 622–623, p. 735–742, 2018.

DE SOUZA, D. C. **Sistema Integração Lavoura-Pecuária-Floresta e a neutralização dos gases de efeito estufa**. 2021. 31 f. TCC (Graduação em Zootecnia) pontifícia universidade católica de goiás escola de ciências médicas e da vida, Goiânia, p. 31, 2021.

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

DING, G.C.; PRONK, G.J.; BABIN, D.; HEUER, H.; HEISTER, K.; KOGEL-KNABNER, I.; SMALLA, K. Mineral composition and charcoal determine the bacterial community structure in artificial soil. **FEMS Microbioloy Ecology**, Alemanha, v. 86, n. 1, p. 15-25, 2013.

DIXON, T. H. SAR Interferometry and Surface Change Detection. University of Miami, Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Sciences, RASMAS TR 95-003, 1995.

DÖBERT, T.F.; BORK, E.W.; APFELBAUM, S.; CARLYLE, C.N.; CHANG, S.X.; HATRI-CHHETRI, U.; SOBRINHO, L.S.; THOMPSON, R.; BOYCE, M.S. Adaptive multi-paddock grazing improves water infiltration in Canadian grassland soils. **Geoderma**, v. 401, p. 9, 2021.

DOLLINGER, J.; JOSE, S. Agroforestry for soil health. Agroforestry Systems, [s. l.], v. 92, n. 2, p. 213–219, 2018.

DOMINGUES, M. S.; ANDRIGHETTO, C.; LUPATINI, G. C.; MATEUS, G. P.; ARANHA, A. S. ONO, R. K.; SHIGUEMATSU, M. M. S.; GIACOMINI, P. V.; SEKIYA, B. M. Growth and yield of corn forage intercropped with marandu grass in an agrosilvopastoral system with eucalyptus. **Semina: Ciências Agrárias,** Londrina, v. 38, n. 6, p. 3669-3680, 2017.

EBELING, A. G.; ANJOS, L. H. C. DOS; PEREZ, D. V.; PEREIRA, M. G.; VALLADARES, G. S. Relação entre acidez e outros atributos químicos em solos com teores elevados de matéria orgânica. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 2, p. 429-439, 2008.

FALKER. PenetroLOG - Medidor Eletrônico de Compactação do Solo. Disponível em: https://www.falker.com.br/produto-penetrolog-medidor-compactacao.php.

FAO alerta sobre degradação de um terço dos solos do planeta. 2021. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2021/12/1773222>. Acesso em: 13 dez. 2021.

FAUST, D. R.; KUMAR, S.; ARCHER, D. W.; HENDRICKSON, J. R.; KRONBERG, S. L.; LIEBIG, M. A. Integrated Crop-Livestock Systems and Water Quality in the Northern Great Plains: Review of Current Practices and Future Research Needs. **Journal of Environmental Quality**, [s. l.], v. 47, n. 1, p. 1–15, 2018.

FERREIRA, E. V. O. **Dinâmica de Potássio em sistema de Integração Lavoura-Pecuária em plantio direto sob intensidades de pastejo**. 2009. 73 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS, 2009.

FERREIRA, M.M. Caracterização física do solo. In: JONG VAN LIER, Q. J.V., ed. Física do solo. Viçosa, MG: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, p.1-27, 2010.

FERREIRA, R. R. M.; FILHO, J. T.; FERREIRA, V. M. Efeitos de sistemas de manejo de pastagens nas propriedades físicas do solo**. Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 31, n. 4, p. 913-932, 2010.

FESS, T. L.; BENEDITO, V. A. Organic versus Conventional Cropping Sustainability: A Comparative System Analysis. **Sustainability**, [s. l.], v. 10, n. 1, p. 272, 2018.

FILHO, F. G.; NETO, M. F.; FERNANDES, C. dos S.; DIAS, N. da S.; CUNHA, R. R. Da; MESQUITA, F. de O. Efeitos do manejo sustentável da Caatinga sob os atributos físicos do solo. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Mossoró, v. 38, p. 1-5, 2018.

FISCHER, C.; ROSCHER, C.; JENSEN, B.; EISENHAUER, N.; BAADE, J.; ATTING ER, S.; SCHEU, S.; WEISSER, W.W.; SCHUMACHER, J.; HILDEBRANDT, A.; HECTOR, A. How do earthworms, soil texture and plant composition affect infiltration along an experimental plant diversity gradient in grassland? **Plos One,** v. 9, n. 6, p. 1-13, 2014.

FRANZLUEBBERS, A. J. Water infiltration and soil structure related to organic matter and its stratification with depth. **Soil Tillage and Research**, USA, v. 66, p. 197-205, 2002.

FREITAS, de I.C.; RIBEIRO, J.M.; ARAÚJO, N.C.A.; SANTOS, M.V.; SAMPAIO, R. A.; FERNANDES, L.A.; MÍSTICO, A.; FEIGL, B.J.; PELLEGRINO, C.C.E.; FRAZÃO, L.A. Agrosilvopastoral systems and well-managed pastures increase soil carbon stocks in the Brazilian Cerrado. **Rangeland Ecology e Management**, v. 736, n. 6, p.776-785, 2020.

FREITAS, I. C.; MELLONI, E., G., P.; MELLONI, R. Agregação de solo em pastagens sob diferentes índices de qualidade e sua influência na infiltração de água. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 4, 1972-1986, 2021.

FREITAS, I.C. de.; SANTOS, F.C.V.dos.; CUSTÓDIO FILHO, R. de. O.; SILVA, N.R. da. A.; CORRECHEL, V. Resistência à penetração em Neossolo Quartzarênico submetido a diferentes formas de manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n.12, p. 1275-1281, 2012.

FREITAS, I.C. de.; SANTOS, F.C.V.dos.; CUSTÓDIO FILHO, R. de. O.; SILVA, R.B da.;CORRECHEL, V. Agroecossistemas de produção familiar da Amazônia e seus impactos nos atributos do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n.12, p. 1310-1317, 2013.

FREITAS, K.S.; ARMINDO, R.A.; PIRES, L.F.; JUNIOR, S.R. A method to determine the soil bulk density of undisturbed samples with non-isodiametric shape. Soil and Tillage Research, USA, v. 191, p. 344-352, 2019.

GABRIEL, J. L.; GARRIDO, A.; QUEMADA, M. Cover crops effect on farm benefits and nitrate leaching: Linking economic and environmental analysis. **Agricultural Systems**, [s. l.], v. 121, p. 23–32, 2013.

GARRETT, R.D.; NILES, M.T.; GIL, J.D.B.; GAUDIN, A.; CHAPLINKRAMER, R.; ASSMANN, A.; ASSMANN, T.S.; BREWER, K.; DEFACCIO CARVALHO, P.C.; CORTNER, O.; DYNES, R.; GARBACH, K.; KEBREAB, E.; MUELLER, N.; PETERSON, C.; REIS, J.C.; SNOW, V.; VALENTIM, J. Social and ecological analysis of commercial integrated crop livestock systems: current knowledge and remaining uncertainty. **Agricultural Systems**, v. 155, p. 136-146, 2017.

GASPARETTO, E. C.; BARIDA, J. A.; CARNEIRO, M.; SCARIOT, J. J.; TABOLKA, C. L. Grau de floculação da argila de um Latossolo Vermelho utilizado com lavoura e mata nativa. **Synergismus Scyentifica**, Pato Branco, v. 4, n. 1, p.1-3, 2009.

GAZOLLA, P. R.; GUARESCHI, R. F.; PERIN, A.; PEREIRA, M. G.; ROSSI, C. Q. Frações da matéria orgânica do solo sob pastagem, sistema plantio direto e integração lavoura-pecuária. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 36, n. 2, p. 693-704, 2015.

GODSEY, L.; MERCER, E.; GRALA, R.; GRADO, S.; ALAVALAPATI, J. Agroforestry Economics and Policy (2 edition), North American Agroforestry: An Integrated Science and Practice. **American Society of Agronomy**, Madison, p. 315-337, 2009.

GOMES FILHO, R.R.; SANTOS, I.L.; PEDROTTI, A.; CARVALHO, C.M.; AGUIAR NETTO, A.O.; CARVALHO, L.L.S. Análise do comportamento de modelos para ajuste da velocidade de infiltração em diferentes usos de solo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v.12, n.4, p.2755-2760, 2018.

GONÇALVES, F.C.; MORAES, M.H. Porosidade e infiltração de água do solo sob diferentes sistemas de manejo. **Irriga**, Botucatu, v.17, n.3, 2012.

GOUEL, C.; GUIMBARD, H. Nutrition Transition and the Structure of Global Food Demand. **American Journal of Agricultural Economics**, EUA, v. 101, n. 2, p. 383–403, 2019.

GOULD, I.J.; QUINTON, J.N.; WEIGELT, A.;DEDEYN, G.B.; BARDGETT, R.D.; SEA BLOOM, E. Plant diversity and root traits benefit physical properties key to soil function in grasslands. **Ecology Letters**, v.19, n.9, p. 1140-1149, 2016.

HANSEN, N. C.; ALLEN, B. L.; BAUMHARDT, R. L.; LYON, D. J. Research achievements and adoption of no-till, dryland cropping in the semi-arid U.S. Great Plains. **Field Crops Research,** Nebraska, v. 132, p. 196–203, 2012.

HARGREAVES, P.R.; PEETS, S.; CHAMEN, W. C. T.; WHITE, D.R.; MISIEWICZ, P.A.; GODWI, R.J. Improving grass silage production with controlled traffic farming (CTF): agronomics, system design and economics **Precision Agriculture**, UK, v. 20, p. 260-277, 2019.

HARTMAN, D.C. **Dinâmica do carbono e agregação do solo influenciada pelo uso de fósforo em sistema integrado de produção agropecuária**. 2014. 91 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual de Ponta Grossa. Ponta Grossa, 2014.

HOLANDA, A.C.; FELICIANO, A.L.P.; MARANGON, L.L.; FREIRE, F.J.; HOLANDA, E.M. Decomposição da serrapilheira foliar e respiração edáfica em um remanescente de caatinga na paraíba. **Revista. Árvore**, Paraíba, v 39, n. 2, p. 245-254, 2015.

HUNT, J.R.; SWAN, A.D.; FETTELL, N.A.; BREUST, P.D.; MENZ, I.D.; PEOPLES, M .B.; KIRKEGAARD, J.A. Sheep grazing on crop residues do not reduce crop yields in no-till, controlled traffic farming systems in an equi-seasonal rainfall environment **Field Crops Research**, Amsterdam, v.196, n. 49, p. 22-32, 2016.

JAT, H. S.; DATTA, A.; CHOUDHARY, M.; SHARMA, P. C.; YADAV, A. K.; CHOUDHARY, V.; GATHALA, M. K.; JAT, M. L.; MCDONALD, A. Climate Smart Agriculture practices improve soil organic carbon pools, biological properties and crop productivity in cereal-based systems of North-West India. **Catena**, [s. l.], v. 181, p. 1-12, 2019.

JENSEN, J. L.; SCHJØNNING, P.; WATTS, C. W.; CHRISTENSEN, B. T.; PELTRE, C.; MUNKHOLM, L. J. Relating soil C and organic matter fractions to soil structural stability. **Geoderma**, v. 337, p. 834-843, 2019.

JIA, X.; ZHAO, C.; WANG, Y.; ZHU, Y.; WEI, X.; SHAO, M. Traditional dry soil layer index method overestimates soil desiccation severity following conversion of cropland into forest and grassland on China's Loess Plateau. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, China, v. 291, p. 106794, 2020.

JÓNSSON, J. Ö. G.; DAVÍÐSDÓTTIR, B.; JÓNSDÓTTIR, E. M.; KRISTINSDÓTTIR, S. M.; RAGNARSDÓTTIR, K. V. Soil indicators for sustainable development: A transdisciplinary approach for indicator development using expert stakeholders. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Iceland, v. 232, p. 179–189, 2016.

KETEMA, H.; YIEMER, F. Soil property variation under agroforestry based conservation tillage and maize based conventional tillage in Southern Ethiopia. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 141, p. 25-31, 2014.

KOCHIIERU, M.; FEIZIENE, D; FEIZA, V.; VOLUNGEVICIUS, J.; VELYKIS, A.; SLEPETIENE, A.; DEVEIKYTE, I.; SEIBUTIS, V.Freezing-thawing impact on aggregate stability as affected by land management, soil genesis and soil chemical and physical quality. **Soil And Tillage Research**. Lithuania, v. 203, p. 104705. 2020.

KOPITTKE, P. M.; DALAL, R. C.; FINN, D.; MENZIES, N. W. Global changes in soil stocks of carbon, nitrogen, phosphorus, and sulfur as influenced by long-term agricultural production. **Global change biology**, Australia, v. 23, n. 6, p. 2509-2519, 2017.

KOPITTKE, P. M.; MENZIES, N. W.; WANG, P.; MCKENNA, B. A.; LOMBI, E. Soil and the intensification of agriculture for global food security. **Environment International**, [s. l.], v. 132, p. 105078, 2019.

LAL, R. A system approach to conservation agriculture. **Journal of Soil and Water Conservation**, EUA, v. 70, n. 4, p. 82A-88A, 2015. b.

LAL, R. Sequestering carbon and increasing productivity by conservation agriculture. **Journal of Soil and Water Conservation**, EUA, v. 70, n. 3, p. 55A-62A, 2015. a.

LAMPURLANÉS, J.; PLAZA-BONILLA, D.; ÁLVARO-FUENTES, J.; CANTERO-MARTÍNEZ, C. Long-term analysis of soil water conservation and crop yield under different tillage systems in Mediterranean rainfed conditions. **Field Crops Research**, Spain, v. 189, p. 59–67, 2016.

LANZARIN, R**. Comportamento de potássio e fósforo no solo em um sistema de integração lavoura-pecuária com adubação de sistemas**. 2018. 52 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Agronomia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2018.

LEHMAN, B.E. **Agronomic Assessment of Grazing Method of Corn Residues on Cow Performance, Residue Utilization, Crop Yield, and Soil Properties**. 2015. 92 f. Thesis. Submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Animal Sciences in the Graduate College of the University of Illinois at Urbana-Champaign, 2015

LEUNG, A.K.; GARG, A.; COO, J.L.; NG, C.W.W.; HAU, B.C.H. Effects of the roots of Cynodon dactylon and Schefflera heptaphylla on water infiltration rate and soil hydraulic conductivity **Hydrological Process**, v. 29, n. 15, p. 3342-3354, 2015.

LEVINSKI, F. **Matéria orgânica e propriedades físicas de um Latossolo Vermelho em Sistema de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta**. 2014. 133 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2014.

LEVINSKI-HUF, F.; KLEIN, V. A. Organic matter and physical properties of a Red Latosol under an integrated crop-livestock-forestry system. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.48, n.3, p.316-322, 2018.

LI, X.; PETERSEN, S.O.; SØRENSEN, P.; OLESEN, J.E. Effects of contrasting catch crops on nitrogen availability and nitrous oxide emissions in an organic cropping system. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Denmark, v. 199, p. 382-393, 2015.

LI, Y.; LI, Z.; CUI, S.; JAGADAMMA, S.; ZHANG, Q. Residue retention and minimum tillage improve physical environment of the soil in croplands: A global meta-analysis. **Soil and Tillage Research**, China, v. 194, p. 104292, 2019.

LIBARDI, P.L.; MELO FILHO, J.F. Análise exploratória e variabilidade dos parâmetros da equação da condutividade hidráulica, em um experimento de perfil instantâneo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 30, n. 2, p. 197-206, 2006.

LIMA, C. G. R.; CARVALHO, M. P.; NARIMATSU, K. C. P.; SILVA, M. G.; QUEIROZ, H. A. Atributos físico-químicos de um Latossolo do cerrado brasileiro e sua relação com características dendrométricas do eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Ilha Solteira, v.34, p.163-173, 2010.

LIMA, C. L. R.; PILLON, C. N.; SUZUKI, L. E. A. S.; CRUZ, L. E. C. Atributos físicos de um Planossolo Háplico sob sistemas de manejo comparados aos do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 5, p. 1849-1855, 2008.

LOSS, A.; RIBEIRO, E. C.; PEREIRA, M. G.; C OSTA, E. M. Atributos físicos e químicos do solo em sistemas de consórcio e sucessão de lavoura, pastagem e silvipastoril em Santa Teresa, ES. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 5, p. 1347-1357, 2014.

LUCIANO, R. V.; ALBUQUERQUE, J. A.; COSTA, A.; BATISTELLA, B.; WARMLING, M. T. Atributos físicos relacionados à compactação de solos sob vegetação nativa em região de altitude no Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Lages, v. 36, n. 6, p. 1733-1744, 2012.

MACEDO, M. C. M. Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Campo Grande, v. 38, p. 133-146, 2009.

MACEDO, M. C. M.; DE ARAÚJO, A. R. Sistemas de produção em integração: alternativa para recuperação de pastagens degradadas. Embrapa, Brasília, p. 295-317, 2019.

MACHADO, L. V.; RANGEL, O. J. P.; MENDONÇA, E. S.; MACHADO, R. V.; FERRARI, J. L. Fertilidade e compartimentos da matéria orgânica do solo sob diferentes sistemas de manejo. **Coffee Science**, Lavras, v. 9, n. 3, p. 289-299, 2014.

MAKATE, C.; WANG, R.; MAKATE, M.; MANGO, N. Crop diversification and livelihoods of smallholder farmers in Zimbabwe: adaptive management for environmental change **Springerplus**,Uganda, v. 5, p. 1135, 2016.

MANDAL, A.; MANI, P. Conservation Techniques for Modern Agriculture. **Satsa Mukhapatra**, índia, v. 24, p. 2020.

MANZIONE, R.L.; SOLDERA, B.C.; PAES, C.O.; WENDLAND, E.E. Analyses of water table depths variations in an outcrop area of the Guarani Aquifer System in Brotas/ SP-Brazil. **Irriga**, Brotas, v. 1, n. 1, p. 186-197, 2015.

MARCHÃO, R.L.; BALBINO, L.C.; SILVA, E.M. da; SANTOS JUNIOR, J. de D.G. dos; SÁ, M.A.C. de; VILELA, L.; BECQUER, T. Qualidade física de um Latossolo Vermelho sob sistemas de integração lavoura pecuária no Cerrado**. Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Planaltina, v.42, n. 6, p.873-82, 2007.

MARCHINI, D. C., LING, T. C., ALVES, M. C., CRESTANA, S., SOUTO FILHO, S. N., ARRUDA, O. G, 2015. Matéria orgânica, infiltração e imagens tomográficas de Latossolo em recuperação sob diferentes tipos de manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 6, p. 574–580, 2015.

MATOS, E.S.; SÁ MENDONÇA, E.; LEITE, L.F.C. & GALVÃO. J.C.C. Estabilidade de agregados e distribuição de carbono e nutrientes em Argissolo sob adubação orgânica e mineral. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 9, p. 1221-1230, 2008.

MELO, V. F. **Solos e indicadores de uso agrícola em Roraima: Áreas indígena Maloca do Flechal e de colonização do Apiaú**. 2002. 161 f. Tese (Doutorado)- Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

METZNER, A. F.; CENTURION, J. F.; MARCHIORI JÚNIOR, M. Relação entre grau de floculação e atributo do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO. ANAIS. p. 29, Botucatu, 2003.

MHETE, M.; EZE, P.N.; RAHUBE, T.O.; AKINYEMI, F.O. Soil properties influence bacterial abundance and diversity under different land-use regimes in semi-arid environments **Scientific African**, Botswana, v. 7, p.e 00246, 2020.

MINER, G. L.; DELGADO, J. A.; IPPOLITO, J. A.; STEWART, C. E.; MANTER, D. K.; DEL GROSSO, S. J.; FLOYD, B. A.; D'ADAMO, R. E. Assessing manure and inorganic nitrogen fertilization impacts on soil health, crop productivity, and crop quality in a continuous maize agroecosystem. **Journal of Soil and Water Conservation**, Colorado, v. 75, n. 4, p. 481–498, 2020.

MONTEIRO, L. C. Disponibilidade de forragem de brachiaria brizantha (Syn. *Urochloa brizantha*) cv Piatã e atributos do solo em sistema integrado. 2021. 67 F. Tese (Doutorado Curso Agronomia) - Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Aquidauana, 2021.

MORAES, A.; CARVALHO, P. C. F.; LUSTOSA, S. B. C.; LANG, C. R.; DEISS, L. Research on integrated crop-livestock systems in Brazil. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 45, p. 1024 – 1031, 2014b.

MOREIRA, W.H.; JUNIOR, E.B.; PETEAN, L.P.; TORMENA, C.A.; ALVES, S.J.; COSTA, M.A.T. & FRANCO, H.H.S. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho Distroférrico em sistema de integração lavoura-pecuária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campo Mourão, v. 36, n. 2, p. 389-400, 2012.

MOTA, J. C. A.; FREIRE, A. G.; ASSIS JÚNIOR, R. N. de. Qualidade física de um cambissolo sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.l.], v. 37, n. 5, p. 1196-1206, 2013.

MUGANDANI, R.; MWADZINGENI, L.; MAFONGOYA, P. Contribution of Conservation Agriculture to Soil Security. **Sustainability**, Africa, v. 13, n. 17, p. 9857, 2021.

MÜLLER, M. D.; FERNANDES, E. N.; CASTRO, C. R. T. de; PACIULLO, D. S. C.; ALVES, F de F. Estimativa de acúmulo de biomassa e carbono em sistema agrossilvipastoril na zona da mata mineira. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Brasília, n. 60, p. 11–17, 2010.

MUÑOZ-ROJAS, M.; ERICKSON, T. E.; DIXON, K. W.; MERRITT, D. J. Soil quality indicators to assess functionality of restored soils in degraded semiarid ecosystems. **Restoration Ecology**, Austrália, v. 24, n. S2, p. S43–S52, 2016.

NAIK, A. P., GHOSH, B., PEKKAT, S. Estimating soil hydraulic properties using mini disk infiltrometer. ISH **Journal of Hydraulic Engineering**, India, v.25, n. 1, p.62–70, 2018.

NASCENTE, A. S.; YUNCONG, L.; CRUSCIOL, C. A. Soil aggregation, organic carbono concentration, and soil bulk density as affected by cover crop species in a not-tillage system. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Santo Antônio de Goiás, v.39, p. 871-879, 2015.

NEMES, A.; RAWLS, W.J.; PACHEPSKY, Y.A. Influence of organic matter on the estimation of saturated hydraulic conductivity. **Soil Science Society of America Journal**, v. 69, n. 4, p. 1330-1337, 2005.

NETO, J.A.C. **Interpolação espacial da resistência do solo à penetração em áreas cultivadas com cana de açúcar sob diferentes condições de colheita.** 2018. 42 f. TCC (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal da Paraíba, Areia-Pb, 2018.

NEVES JÚNIOR, A. F. **Qualidade Física de solos com Horizonte Antrópicos (TERRA Preta de índio) na Amazônia Central**. 2008. 93 f. Tese (Doutorado)- Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2008.

NGUETNKAM, J. P.; DULTZ, S. Clay dispersion in typical soils of north camerron as a function of pH and electrolyte concentration. **Land degradation & development**, v. 25, n. 2, p. 153-162, 2014.

NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F. F.; REINALDES L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES J. C. L. **Fertilidade do solo**. 3 ed. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 1017, 2007.

OKOLO, Chukwuebuka C.; GEBRESAMUEL, Girmay; ZENEBE, Amanuel; HAILE, Mitiku; EZE, Peter N. Accumulation of organic carbon in various soil aggregate sizes under different land use systems in a semi-arid environment. **Agriculture, Ecosystems & Environment,** Ethiopia, v. 297, p. 106924-0, 2020.

ONU.Observatório para impulsionar redução nas emissões de metano é lançado | As Nações Unidas no Brasil.2021. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/156667-observatorio-para-impulsionar-reducao-nas-emissoes-de-metano-e-lancado, https://brasil.un.org/pt-br/156667-observatorio-para-impulsionar-reducao-nas-emissoes-de-metano-e-lancado>. Acesso em: 27 jan. 2022.

ONU.População mundial deve aumentar para 9,7 bilhões em 2050. Disponível em: < https://brasil.un.org/pt-br/83427-populacao-mundial-deve-chegar-97-bilhoes-de-pessoas-em-2050-diz-relatorio-da-onu>. Acesso em: 22 mar. 2022.

OREFICE, J.; CARROLL, J.; CONROY, D.; Ketner, Leanne. Silvopasture practices and perspectives in the Northeastern United States. **Agroforestry Systems**, USA, v. 91, p.149–160, 2017.

PAGE, K. L.; DANG, Y. P.; DALAL, R. C. The Ability of Conservation Agriculture to Conserve Soil Organic Carbon and the Subsequent Impact on Soil Physical, Chemical, and Biological Properties and Yield. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, Australia, v. 4, n. 31, 2020.

PAGE, K. L.; DANG, Y. P.; DALAL, R. C.; REEVES, S.; THOMAS, G.; WANG, W.; THOMPSON, J. P. Changes in soil water storage with no-tillage and crop residue retention on a Vertisol: Impact on productivity and profitability over a 50 year period. **Soil and Tillage Research**, Holanda, v. 194, n. 60, p. 104319, 2019.

PAIVA, A. Q.; ARAUJO, Q. R. Fundamentos do manejo e da conservação dos solos na região produtora de cacau da Bahia. In: Valle, R. R. ed. Ciência, tecnologia e manejo do cacaueiro. 2 ed. Ilhéus, BA, CEPLAC. pp.115-134, 2012.

PALM, C.; BLANCO-CANQUI, H.; CLERCKC, F.; GATERE, L.; GRACE, P. Conservation agriculture and ecosystem services: an overview. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 187, p. 87-105, 2014.

PANG, K.; SAMBEEK, J.W.V.; NAVARRETE-TINDALL, N.E.; CHUNG-HO, L.; JOSE, S.; GARRETT, H.E. Responses of legumes and grasses to non-moderate, and dense shade in Missouri, USA. I. Forage yield and its species-level plasticity. **Agroforestry Systems**, v. 93, p. 11-24, 2019.

PARRON, L. M.; GARCIA, J. R.; OLIVEIRA, E. B. de; BROWN, G. G.; PRADO, R. B. (Ed.). Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica. Brasília, DF: **Embrapa**, 2015.

PAUDEL, B. R.; UDAWATTA, R. P.; KREMER, R. J.; ANDERSON, S. H. Soil quality indicator responses to row crop, grazed pasture, and agroforestry buffer management. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v.84, p. 311-323, 2012.

PAZ-FERREIRO, J.; FU, S. Biological Indices for Soil Quality Evaluation: Perspectives and Limitations. **Land Degradation & Development**, [s. l.], v. 27, n. 1, p. 14–25, 2016.

PEREIRA, A.P.; REZENDE, J.O.; CARVALHO, S.R.L.C.; FERNANDES, J.C. Poder de penetração de raízes de leguminosas e gramíneas em solos coesos dos tabuleiros costeiros. **Revista Bahia Agrícola**, v.6, p.2–8, 2004.

POLIDORO, J.C.; FREITAS, P.L.; HERNANI, L.C.; ANJOS, L.H.C.; RODRIGUES, R. A. R. R.; CESÁRIO, F.V.; ANDRADE, A. G.; RIBEIRO, J.L. The impact of plans, policies, practices and technologies based on the principles of conservation agriculture in the control of soil erosion in Brazil. **Authorea**, Rio de Janeiro, 2020.

PORTUGAL, N.R.N. **Compactação do solo por atividades agropecuárias**. 2016. 27 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso - Especialização em Tecnologia em Gestão Ambiental) - Faculdade de Educação e Meio Ambiente, Ariquemes, 2016.

PRADHAN, A.; CHAN, C.; ROUL, P. K.; HALBRENDT, J.; SIPES, B. Potential of conservation agriculture (CA) for climate change adaptation and food security under rainfed uplands of India: A transdisciplinary approach. **Agricultural Systems**, v. 163, p. 27–35, 2018.

PROJETO MAPBIOMAS. Mapeamento Anual de Cobertura e Uso da Terra do Brasil. Coleção 6. Disponível em: Opção Qualidade de Pastagem da plataforma da coleção 6 do MapBiomas, 2021.

PULIDO, M.; SCHNABEL, S.; CONTADOR, J. F. L.; LOZANO-PARRA, J.; GÓMEZ-GUTIÉRREZ, Á. Selecting indicators for assessing soil quality and degradation in rangelands of Extremadura (SW Spain). **Ecological Indicators**, Espanha, v. 74, p. 49–61, 2017.

QUAGGIO, J.A. Acidez e calagem em solos tropicais. Campinas. Instituto Agronômico, p. 111, 2000.

R CORE TEAM. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Version 4.1.0. Vienna. 2021.

RABBI, S.M.F.; WILSON, B.R.; LOCKWOOD, P.V.; DANIEL, H.; YOUNG, I.M. Aggregate hierarchy and carbon mineralization in two Oxisols of New South Wales, Australia. **Soil and Tillage Research**, Australia, v. 146, p. 193-203, 2015.

RABOT, E.; WIESMEIER, M.; SCHLÜTER, S.; VOGEL, H.-J. Soil structure as an indicator of soil functions: A review. **Geoderma**, Alemanha, v. 314, p. 122–137, 2018.

RAGASSI, F. C. **Sistema de preparo profundo de solo e sucessão de gramíneas para o plantio da batata**. 2009. 82 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agronômico e Fundação IAC, (Boletim técnico, 100), p. 255,1996.

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

RAIJ, V. B. *et al*. **Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas – IAC, 285 p. Boletim Técnico, 100, 1997.

RAKKAR, M. K.; BLANCO-CANQUI, H. Grazing of crop residues: Impacts on soils and crop production. Agriculture, Ecosystems & Environment. v. 258, p. 71-90, 2018.

RALISH, R.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J.C.; TOMAZI, M.; HERNANI, L.C.; MELO, A.S.; SANTI, A.; MARTINS, A.L.S.; BONA, F.D. Diagnóstico rápido da Estrutura do Solo-DRES. **Embrapa** Soja, Londrina, p. 65, 2017.

RAWLS, W.J.; DAVID, G.; VAN MULLEN, J.A.; WARD, T.J. Infiltration. In: ASCE. Hydrology Handbook. 2.ed. New York: ASCE, p.75-124. Manuals and Report on Engineering Practice, 28, 1996.

REGELINK, I. C.; STOOF, C. R.; ROUSSEVA, S.; WENG, L.; LAIR, G. J.; KRAM, P.; NIKOLAIDIS, N. P.; KERCHEVA, M.; BANWART, S.; COMANS, R. N. J. Linkages between aggregate formation, porosity and soil chemical properties. **Geoderma**, [s. l.], v. 247–248, p. 24–37, 2015.

REIS, A. D. S. **Atributos físicos e químicos do solo sob diferentes sistemas de manejo em áreas de ecótono Cerrado – Amazônia**. 2018. 61 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal Do Tocantins Campus Universitário De Gurupi, Gurupi, 2018.

REIS, J. C. C. **Qualidade química do solo em sistema de integração lavoura, pecuária e floresta e em diferentes sistemas de uso da terra em morrinhos – Goiás**. 2022. 26 f. TCC (Graduação em Agronomia) - Instituto Federal de Ciência e Tecnologia Goiano, Morrinhos, 2022.

REYNOLDS, W. D.; BOWMAN, B. T.; DRURY, C. F.; TAN, C. S.; LU, X. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. **Geoderma**, Canada, v. 110, n. 1-2, p. 131–146, 2002.

RIBEIRO, J.M.; FRAZÃO, L.A.; CARDOSO, P.H.S.; OLIVEIRA, A.L.G.; SAMPAIO, R.A.; FERNANDES, L.A.: Fertilidade do solo e estoque de carbono e nitrogênio sob sistemas agroflorestais no Cerrado Mineiro. **Ciência Florestal**, Santa Maria v.29, n.2, p.913-923. 2019.

RIGOLIN, I. M.; DOS SANTOS, C. H.; CALONEGO, J. C.; TIRITAN, C. S. Estoque de carbono do solo em sistemas vegetais com manejo agrícola diferenciado no oeste paulista. **Colloquium Agrariae**, [S.l.], v. 9, n. 2, p. 16-29, 2013.

ROCHA, A. T.; DUDA, G. P.; NASCIMENTO, C. W. A.; RIBEIRO, M. R. Fracionamento de fósforo e avaliação de extratores de P-disponível em solos da ilha de Fernando de Noronha. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Jaboatão dos Guararapes, v. 9, n. 2, p. 178-184, 2005.

ROESCH-MCNALLY, G. E.; ARBUCKLE, J. G.; TYNDALL, J. C. Barriers to implementing climate resilient agricultural strategies: The case of crop diversification in the U.S. Corn Belt. **Global Environmental Change**, USA, v. 48, p. 206–215, 2018.

ROESE, A.D.; RIBEIRO JUNIOR, P.J.; MIO, L.L.M. Microclimate in agrosilvopastoral system enhances powdery mildew severity compared to agropastoral and non-integrated crop **Tropical Plant Pathology**, Curitiba, v. 42, n. 5, p. 382-390, 2017.

ROESE, A.D.; VIDAL, G.S. ZEVIANI, W.M.; MORAES, A.; MIO, L.L.M. Agricultural diversification reduces the survival period of Sclerotinia sclerotiorum sclerotia **European Journal of Plant Pathology**, v. 151, p. 713-722, 2018.

ROESE, A.D.; ZIELINSKI, E.C.; MIO, L.L.M. Plant diseases in afforested crop-livestock systems in Brazil. **Agricultural Systems**, Curitiba, v. 185, p. 102935, 2020.

SALTON, J.C.; MERCANTE, F.M.; TOMAZI, M.; ZANATTA, J.Á.; CONCENÇO, G.; SILVA, W.M.; RETORE, M. Integrated crop-livestock system in tropical Brazil: Toward a sustainable production system. **Agriculture Ecosystem Environment**, Amsterdan. v. 190, p. 70-79, 2014.

SÁNCHEZ-ROMERO, R.; BALVANERA, P.; CASTILLO, A.; MORA, F.; GARCÍA-BARRIOS, L. E.; GONZÁLEZ-ESQUIVEL, C. E. Management strategies, silvopastoral practices and socioecological drivers in traditional livestock systems in tropical dry forests: An integrated analysis. **Forest Ecology and Management**, USA, v. 479, p. 118506, 2021.

SANDIM, A. S. **Disponibilidade de fósforo em função da aplicação de calcário e silicatos em solos oxídicos**, 2012. 99 f. Dissertação (mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu, 2012.

SANTANA, E. A. R.; ANDRIGHETTO, C.; MATEUS, G. P.; ARANHA, A. S.; LUPATINI, G. C.; MEIRELLES, P. R. L.; ARANHA, H. S.; SANTOS, J. M. F.; LUZ, P. A. C.; TRIVELIN, G. A. Padrão de deslocamento de bovinos nelore em sistemas integrados de produção agropecuária. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 71, n. 1, p. 353- 356, 2019.

SANTANA, J.; LIMA, E.; KOMATSU, R.; SILVA, W.; RIBEIRO, M. I. Caracterização física e química de solo em sistemas de manejo plantio direto e convencional. **Enciclopédia biosfera**, Imperatriz, v. 15, n. 27, p. 1-21, 2018.

SANTOS, D. C.; FARIAS, M. O.; LIMA, C. L. R.; KUNDE, R. J.; PILLON, C. N.; FLORES, C. A. Fracionamento químico e físico da matéria orgânica de um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 5, p. 838–844, 2013.

SANTOS, D. C.; LIMA, C. L. R.; KUNDE, R. J.; CARVALHO, J. S.; ABEIJON, L. M.; PILLON, C. N. Agregação e proteção física da matéria orgânica em planossolo 65, háplico sob diferentes sistemas de manejo. **Bioscience Journal,** Uberlândia, v. 28, n. 1, p. 54-63, 2012.

SANTOS, D. de C.; GUIMARÃES JÚNIOR, R.; VILELA, L.; PULROLNIK, K.; BUFON, V. B.; FRANÇA, A. F. de S. Forage dry mass accumulation and structural characteristics of Piatã grass in silvopastoral systems in the Brazilian savannah. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, [s. l.], v. 233, p. 16–24, 2016.

SANTOS, D.S.; ARRUDA, E.M.; MORAES, E.R.; FRANCO, F.O.; ARAÚJO, J.R.; RESENDE, T.M.; BORGES, E.N. & RIBEIRO, B.T. Atributos físicos e matéria orgânica de áreas de Latossolo utilizadas para atividade pecuária no bioma cerrado. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 4, p. 500-508, 2012.

SANTOS, G. G.; SILVEIRA, P. M.; MARCHÃO, R. L.; PETTER, F. A.; BECCQUER, T. Atributos químicos e estabilidade de agregados sob diferentes culturas de cobertura em Latossolo do cerrado**. Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 11, p. 1171-1178, 2012.

SANTOS, H. G.; JOCOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBREARAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; FILHO, J. C. A; OLIVEIRA, J. B; CUNHA, T. J. F. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5.ed. rev. ampli. Rio de Janeiro: **Embrapa**. 531p, 2018.

SANTOS, J. N.; PEREIRA, E. D. Carta de susceptibilidade a infiltração da água no solo na sub-bacia do rio Maracanã-MA. **Cadernos de Pesquisa**, São Luís, v. 20, n. especial, p. 63-71, 2013.

SCHLEGEL, A.J.; ASSEFA, Y.; BOND, H.D.; WETTER, S.M.; STONE, L.R. Corn response to long-term applications of cattle manure, swine effluent, and inorganic nitrogen fertilizer. **Agronomy Journal**, Manhattan, v. 107, n. 5, p. 1701-1710, 2015.

SCHLOTER, M.; NANNIPIERI, P.; SØRENSEN, S. J.; VAN ELSAS, J. D. Microbial indicators for soil quality. **Biology and Fertility of Soils**, [s. l.], v. 54, n. 1, p. 1–10, 2018.

SCHOENEBERGER, P. J.; WYSOCKI, D. A. Hydrology of soils and deep regolith: a nexus between soil geography, ecosystems and land management. **Geoderma**, Amstedam, v. 126, n. 1-2, p. 117-128, 2005.

SCHOLES, R. J.; MONTANARELLA, L.; BRAINICH, E.; BRAINICH, E.; BARGER, N.; BRINK, B. Ten; CANTELE, M.; ERASMUS, B.; FISHER, J.; GARDNER, T.; HOLLAND, T. G.; KOHLER, F.; KOTIAHO, S.; MALTITZ, G. Von; NANGENDO, G.; PANDIT, R.; PARROTTA, J.; POTTS, M. D.; PRINCE, S.; SANKARAN, M.; WILLEMEN, L. IPBES. Summary for policymakers of the assessment report on land degradation and restoration of the Intergovernmental Science- Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. [s.l.]: Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, p. 44, 2018.

SHIBU, J.; WALTER, D.; KUMAR, B. M. Ecological considerations in sustainable silvopasture design and management. **Agroforestry Systems**, [s. l.], v. 93, n. 1, p. 317-331, 2019.

SHIRGOVSKA, B. R.; PRENTOVIKJ, T. The importance of introducing cover crops in conventional agriculture. **Macedonian Journal of Ecology and Environment**, [s. l.], v. 23, n. 1, p. 49–56, 2021.

SIGNOR, D.; DEON, M. D.; CAMARGO, P. B.; CERRI, C. E. P. Quantity and quality of soil organic matter as a sustainability index under different land uses in Eastern Amazon. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.75, n.3, p.225-232, 2018.

SILVA, E. B.; COSTA, H. A. O., FARNEZI, M. M. M. Acidez potencial estimada pelo método do pH SMP em solos da região do Vale do Jequitinhonha no estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 4, p.751-757, 2006.

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Sistemas de cultivo de características do solo afetando a estabilidade de agregados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 2, p. 311-317, 1998.

SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007.

SILVA, M.S.C.; SILVA, E.M.R.; PEREIRA, M.G.; SILVA, C.F.: Estoque de Serapilheira e Atividade Microbiana em Solos sob Sistemas Agroflorestais. **Revista Floresta e Ambiente**, [S.l.], v.19, n.4, p.431-441, 2012.

SILVA, R.B. da.;LIMA, C.C. de.; SILVA, F.A. de. M.; IORI, P. Compressive behavior and structural assessment of soil under agroforestry systems and native forest in southwest of Brazil. **International Journal of Research in Chemistry and Environment**, Registro, v. 4, n. 4, p. 168-176, 2014c.

SILVA, W. M.; RETORE, M. Integrated crop-livestock system in tropical Brazil: Toward a sustainable production system. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 190, p. 70-79, 2014.

ŠIMANSKÝ, V. Soil structure stability and distribution of carbon in water-stable aggregates in different tilled and fertilized Haplic Luvisol. **Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis**, v. 60, n. 3, p. 173–178, 2013.

SINGH, J. S.; GUPTA, V. K. Soil microbial biomass: A key soil driver in management of ecosystem functioning. **Science of The Total Environment**, [S.l.], v. 634, p. 497-500, 2018.

SOMASUNDARAM, J.; SALIKRAM, M.; SINHA, N. K.; MOHANTY, M.; CHAUDHARY, R. S.; DALAL, R. C.; MITRA, N. G.; BLAISE, D.; COUMAR, M. V.; HATI, K. M.; THAKUR, J. K.; NEENU, S.; BISWAS, A. K.; PATRA, A. K.; CHAUDHARI, S. K. Conservation agriculture effects on soil properties and crop productivity in a semiarid region of India. **Soil Research**, [s. l.], v. 57, n. 2, p. 187–199, 2019.

SOUZA, D. M. G.; MIRANDA, L. N. de; OLIVEIRA, S. A. de. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R. F. *et al* (Ed.). Fertilidade do solo. **Sociedade Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, p. 205-274, 2007.

SOUZA, M. I. L**. Qualidade Físico-Hídrica de um Argissolo Vermelho Amarelo sob Agroecossistema e Floresta Natural em Roraima**. 2010. 91 f. Dissertação-(Mestrado) - Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, 2010.

SPACCINI, R., PICCOLO, A., HABERHAUER, G., GERZABEK, M. Transformation of organic matter from maize residues into labile and humic fractions of three European

soils as revealed by 13C distribution and CPMAS-NMR spectra. **European Journal of Soil Science**, Oxford v. 51, p. 583–594, 2006.

SPURGEON, D. J.; KEITH, A. M.; SCHMIDT, O.; LAMMERTSMA, D. R.; FABER, J. H. Land-use and land-management change: relationships with earthworm and fungi communities and soil structural properties. **BMC Ecology**, [s. l.], v. 13, n. 1, p. 46, 2013.

ŚREDNICKA-TOBER, D.; OBIEDZIŃSKA, A.; KAZIMIERCZAK, R.; REMBIAŁKOWSKA, E. Environmental impact of organic vs. conventional agriculture - a review. **Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering**, [s. l.], v. 61, n. 4, 2016.

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

SUZUKI, L. E. A. S.; LIMA, C. L. R. de; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; PILLON, C. N. Estrutura e armazenamento de água em um Argissolo sob pastagem cultivada, floresta nativa e povoamento de eucalipto no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.l.], v. 38, n. 1, p. 94-106, 2014.

TEIXEIRA, P. C., DONAGEMMA, G. K., FONTANA, A., & TEIXEIRA, W. G. Manual de métodos de análise de solo (3a ed.). Brasília: **Embrapa**, 2017.

THIERFELDER, C.; MATEMBA-MUTASA, R.; RUSINAMHODZI, L. Yield response of maize (Zea mays L.) to conservation agriculture cropping system in Southern Africa. **Soil and Tillage Research**, [s. l.], v. 146, p. 230–242, 2015.

TITTONELL, P.; SCOPEL, E.; ANDRIEU, N.; POSTHUMUS, H.; MAPFUMO, P.; CORBEELS, M.; VAN HALSEMA, G. E.; LAHMAR, R.; LUGANDU, S.; RAKOTOARISOA, J.; MTAMBANENGWE, F.; POUND, B.; CHIKOWO, R.; NAUDIN, K.; TRIOMPHE, B.; MKOMWA, S. Agroecology-based aggradation-conservation agriculture (ABACO): Targeting innovations to combat soil degradation and food insecurity in semi-arid Africa. Field Crops Research, Conservation Agriculture in Dry Areas. **Conservation Agriculture in Dry Areas**, [s. l.], v. 132, p. 168–174, 2012.

TONUCCI, R. G.; NAIR, P. K. R.; NAIR, V. D.; GARCIA, R.; BERNARDINO, F. S. Soil carbon storage in silvopasture and related land-use systems in the brazilian cerrado. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 40, n. 3, p. 833–41, 2011.

TOSCAN, M.A.G.; GUIMARÃES, A.T.B.; TEMPONI, T.E. Caracterização da produção de serapilheira e da chuva de sementes em uma reserva de floresta estacional semidecidual. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.27, n. 2, p. 415-427, 2017.

TÓTH, G.; HERMANN, T.; DA SILVA, M. R.; MONTANARELLA, L. Monitoring soil for sustainable development and land degradation neutrality. **Environmental Monitoring and Assessment**, [s. l.], v. 190, n. 2, p. 57, 2018.

TRIVELIN, G. A. *et al*. Animal production and economic viability of integrated crop livestock systems. **International Journal for Innovation Education and Research**, Mirpur, v. 8, p. 530-540, 2020.

VALE JÚNIOR, J. F. **Pedogênese e alterações dos Solos sob Manejo Itinerante, em áreas de Rochas Vulcânicas Ácidas e Básicas, no Nordeste de Roraima**. 2000. 185 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2000.

VAN ES, H. M.; KARLEN, D. L. Reanalysis Validates Soil Health Indicator Sensitivity and Correlation with Long-term Crop Yields. **Soil Science Society of America Journal**, [s. l.], v. 83, n. 3, p. 721–732, 2019.

VAN ZANTEN, H. H. E.; HERRERO, M.; VAN HAL, O.; RÖÖS, E.; MULLER, A.; GARNETT, T.; GERBER, P. J.; SCHADER, C.; DE BOER, I. J. M. Defining a land boundary for sustainable livestock consumption. **Global Change Biology**, [s. l.], v. 24, n. 9, p. 4185–4194, 2018.

VARGAS, S.G.; BECKER, A.; ODDINO, C.; ZUZA, M.; MARINELLI, A.; MARCH, G. Field trial assessment of biological, chemical, and physical responses of soil to tillage intensity fertilization, and grazing **Environmental Management**, Argentina, v. 44, n. 2, p. 378-386, 2009.

VELASQUEZ, R. P.; RIGHES, A. A. Controle de voçoroca em Argissolo vermelho em São Valentim-RS. **Disciplinarum Scientia**. Santa Maria, v. 20, n. 1, p. 53-69, 2019.

VELOSO, M. G.; ANGERS, D. A.; TIECHER, T.; GIACOMINI, S.; DIECKOW, J.; BAYER, C. High carbon storage in a previously degraded subtropical soil under no-tillage with legume cover crops. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, [s. l.], v. 268, p. 15–23, 2018.

VIAUD, V.; SANTILLÀN-CARVANTES, P.; AKKAL-CONRFINI, N.; LE GUILLOU, C.; PRÉVOST-BOURÉ, N.C.; RANJARD, L.; MENASSERI-AUBRY, S. Landscape-scale analysis of cropping system effects on soil quality in a context of crop-livestock farming. Agriculture, **Ecosystems and Environment**, [s. l.], v. 265, n. 166-177, 2018.

VILLANUEVA-LÓPEZ, G.; MARTÍNEZ-ZURIMENDI, P.; RAMÍREZ-AVILÉS, L.; ARYAL, D.R.; CASANOVA-LUGO, F. Live fences reduce the diurnal and seasonal fluctuations of soil CO2 emissions in livestock systems. **Agronomy for Sustainable Development**, [s. l.], v. 36, n. 1, p. 23, 2016.

WELLS, C.E.; EISSENSTAT, D. M. Marked differences in survivorship among apple roots of different diameters. **Ecology**, USA, v. 82, n. 3, p. 882-892, 2001.

WENDLING, B.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E.S & NEVES, J.C.L. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Viçosa, v. 40, n. 5, p. 487-494, 2005.

WILLIAMS, A.; JORDAN, N. R.; SMITH, R. G.; HUNTER, M. C.; KAMMERER, M.; KANE, D. A.; KOIDE, R. T.; DAVIS, A. S. A regionally-adapted implementation of conservation agriculture delivers rapid improvements to soil properties associated with crop yield stability. **Scientific Reports**, [s. l.], v. 8, n. 1, p. 8467, 2018.

WU, G. L.; CUI, Z.; HUANG, Z. Contribution of root decay process on soil infiltration capacity and soil water replenishment of planted forestland in semi-arid regions. **Geoderma**, China, v. 404, p. 115289, 2021.

WU, G.L.; YANG, Z.; CUI, Z.; LIU, Y.; FANG, N. F.; SHI, Z. H. Mixed artificial grasslands with more roots improved mine soil infiltration capacity. **Journal of Hydrology**, China, v. 535, p. 54-60, 2016.

YANG, T.; SIDDIQUE, K. H. M.; LIU, K. Cropping systems in agriculture and their impact on soil health-A review. **Global Ecology and Conservation**, [s. l.], v. 23, p. e01118, 2020.

YEOMANS, J.C. & BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. Commun. **Soil Science and Plant Analysis**, [S.I.], v. 19, n. 13, p. 1467-1476, 1988.

YU, H.; ZOU, W.; CHEN, J.; CHEN, H.; YU, Z.; HUANG, J.; TANG, H.; WEI, X.; GAO, B. Biochar amendment improves crop production in problem soils: A review. **Journal of Environmental Management**, [s. l.], v. 232, p. 8–21, 2019.

ZHANG R. Determination of soil sorptivity and hydraulic con-ductivity from the disk infiltrometer. **Soil Science Society of American Journal**, v.61, n.4, p.1024-1030, 1997.

ZHANG, X.Y.; WANG, W. The decomposition of fine and coarse roots: their global patterns and controlling factors**. Scientific Reports**, v. 5, p. 9940, 2015.

ZIMMERMANN, B.; ELSENBEER, H.; DE MORAES, J.M. The influence of land use changes on soil hydraulic properties: Implications for runoff generation. **Forest Ecology and Management**, v. 222, p. 29-38, 2006.

ZONTA. E.; BRASIL, F. da; GOI, S.R.; ROSA, M.M.T. da. O sistema radicular e suas interações com o ambiente edáfico. In: FERNANDES, M.S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 7-52, 2006.

ZORNOZA, R.; ACOSTA, J. A.; BASTIDA, F.; DOMÍNGUEZ, S. G.; TOLEDO, D. M.; FAZ, A. Identification of sensitive indicators to assess the interrelationship between soil quality, management practices and human health. **SOIL**, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 173–185, 2015.