



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS
CAMPUS PALMAS
CURSO SUPERIOR BACHARELADO EM ENGENHARIA AGRONÔMICA**

MAYCON MOTA REIS

**AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO EM SOLOS DE ÁREAS
ANTROPIZADAS NO CERRADO: subsídios para o planejamento agrícola sustentável**

**PALMAS
2025**

MAYCON MOTA REIS

**AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO EM SOLOS DE ÁREAS
ANTROPIZADAS NO CERRADO: subsídios para o planejamento agrícola sustentável**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia
Agrônômica da Unidade *Campos Palmas* do Instituto
Federal do Tocantins, como exigência à obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Agrônômica

Orientador: Prof. Dr. Edvaldo Vieira Pacheco Sant'ana

PALMAS
2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins

R375a Reis, Maycon Mota
 AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO EM SOLOS
 DE ÁREAS ANTROPIZADAS NO CERRADO : Subsídios para o
 planejamento agrícola sustentável / Maycon Mota Reis. – Palmas, TO, 2025.
 32 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) –
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Campus
Palmas, Palmas, TO, 2025.

Orientador: Dr. Edvaldo Vieira Pacheco Sant'ana

1. Sustentabilidade agrícola. 2. Qualidade do solo. 3. Monitoramento. I.
Sant'ana, Edvaldo Vieira Pacheco. II. Título.

CDD 630

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS
CAMPUS PALMAS - TO
COORDENAÇÃO DO CURSO SUPERIOR BACHARELADO EM ENGENHARIA AGRÔNOMICA

MAYCON MOTA REIS

AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO EM SOLOS DE ÁREAS ANTROPIZADAS NO CERRADO: SUBSÍDIOS PARA O PLANEJAMENTO AGRÍCOLA SUSTENTÁVEL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso Superior Bacharelado em Engenharia Agrônômica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins - *Campus* Palmas - TO, como exigência à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrônômica.

Aprovado em: 04 de julho de 2025

BANCA AVALIADORA

Profº. Dr Edvaldo Vieira Pacheco Sant'Ana
IFTO - Campus Palmas - TO.

Profº. Dr. Thômas Vieira Nunes
IFTO - Campus Palmas - TO.

Profº. Dr. Sérgio Alves de Souza
IFTO - Campus Palmas - TO.

Palmas - TO, 04 de julho de 2025.



Documento assinado eletronicamente por **Edvaldo Vieira Pacheco Santana, Coordenador**, em 04/07/2025, às 08:07, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Sergio Alves de Souza, Servidor**, em 04/07/2025, às 08:59, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Thomas Vieira Nunes, Servidor**, em 04/07/2025, às 09:04, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.iftto.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **2827832** e o código CRC **63C278D2**.



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS

Campus Palmas 310 Sul, Av. LO 5, s/n, esquina com a Avenida NS 10 - Plano Diretor Sul —
CEP 77021-090 Palmas/TO - portal.ifto.edu.br — reitoria@ifto.edu.br

Referência: Processo nº 23236.014442/2025-31

SEI nº 2827832

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me conceder força, coragem e sabedoria ao longo da minha jornada. Em meio a desafios, aprendizados e superações, sua presença foi e sempre será meu alicerce, do início ao fim de minha existência.

Aos meus familiares, minha eterna gratidão pelo apoio incondicional, pelos conselhos sábios e por estarem sempre ao meu lado, independentemente das circunstâncias. Foram fundamentais para que eu seguisse no caminho certo, com fé e determinação.

Aos meus colegas e amigos de turma, Ana Clara Alves Do Nascimento, Jennifer Curvina Almeida e Matthews Carvalho Leite, agradeço pelos momentos compartilhados, pelas palavras de incentivo e por todo o companheirismo durante minha trajetória acadêmica. Cada gesto de apoio fez diferença.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Edvaldo Vieira Pacheco Sant'ana, registro meu sincero agradecimento pela orientação atenciosa, paciência e dedicação na condução deste trabalho.

Aos professores do curso de Bacharelado em Engenharia Agrônômica do *Campus* Palmas, agradeço pela contribuição na minha formação profissional e pessoal.

Por fim, deixo minha homenagem aos amigos que partiram, mas que, enquanto estiveram presentes, apoiaram minhas escolhas e me guiaram sempre pelo caminho do bem. Levo comigo os ensinamentos e a memória de cada um.

RESUMO

Este estudo teve como objetivo avaliar os teores de P em solos localizados em áreas antropizadas, localizadas no município de Palmas, Tocantins, submetidas a diferentes formas de uso e manejo agrícola. Foram coletadas amostras compostas em cada área, com dez subamostras simples. As análises químicas evidenciaram baixos teores de P em todas as áreas avaliadas ($0,32 \text{ mg/dm}^3$), inclusive naquelas submetidas a práticas de correção do solo. Os resultados reforçam que estratégias de manejo isoladas não promovem melhorias significativas na fertilidade do solo, sendo necessário adotar práticas integradas e de longo prazo. A pesquisa destaca a importância do monitoramento contínuo e do uso de dados técnicos para subsidiar estratégias sustentáveis de manejo e conservação. Este estudo contribui como base para futuras pesquisas e práticas agrícolas em ambientes com características semelhantes às do Cerrado.

Palavras-Chave: Sustentabilidade agrícola, Qualidade do solo, Monitoramento.

RESUMO EM LÍNGUA ESTRANGEIRA

This study aimed to evaluate phosphorus (P) levels in soils located in anthropized areas in the municipality of Palmas, Tocantins, subjected to different types of land use and agricultural management. Composite samples were collected in each area. Chemical analyses revealed low P levels in all evaluated areas (0.32 mg/dm^3), including those that underwent soil correction practices. The results reinforce that isolated management strategies do not significantly improve soil fertility, highlighting the need for integrated and long-term practices. The research emphasizes the importance of continuous monitoring and the use of technical data to support sustainable management and conservation strategies. This study serves as a basis for future research and agricultural practices in environments with characteristics similar to those of the Cerrado biome.

Keywords: Agricultural sustainability, Soil quality, Monitoring.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Quadro 1 - Características das áreas antropizadas.	18
Mapa 1 - Mapa geral das localizações de estudo.....	18
Figura 1 - Mistura da amostra simples	20
Mapa 2 - Mapa de localização de amostras	21

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tabela de quantidade e profundidade das amostras	21
Tabela 2 - Tabela comparativa dos parâmetros químicos do solo nas quatro áreas.....	22

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. OBJETIVO	11
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	11
3.1 Indicadores de qualidade e monitoramento do solo	11
3.2 Ciclo bioquímico do fósforo no solo	12
3.3 Amostragem	14
3.4 O Bioma Cerrado	14
4. MATERIAL E MÉTODOS	15
4.1 Delimitação do estudo	15
4.2 Localização do estudo.....	16
4.3 Características da região do estudo	18
4.3.1 Clima	18
4.4 Método de coleta de dados	19
4.5 Método de coleta de amostra	19
4.6 PROGRAMAS DE GEORREFERENCIAMENTO	21
4.6.1 ArcMap – Versão 10.8.....	21
4.6.2 Google Earth Pro – Versão 7.3.6.9796 (64-bit).....	22
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	27
REFERÊNCIAS	28

1. INTRODUÇÃO

O monitoramento dos solos é essencial para prever e mitigar os impactos ambientais causados por práticas inadequadas de uso e manejo da terra. A análise de atributos físicos, químicos e biológicos fornece subsídios fundamentais para a gestão sustentável dos recursos naturais. Os indicadores de qualidade do solo devem ser abrangentes, de baixo custo, sensíveis a variações sazonais e adaptáveis a diferentes sistemas de uso (SCHOENHOLTZ; VAN MIEGROET; BURGER, 2000). A qualidade do solo é sua capacidade de manter produtividade, qualidade ambiental e saúde dos organismos (DORAN E PARKIN, 1994).

A agricultura sustentável tem se consolidado como uma estratégia essencial para o uso racional dos recursos naturais e a preservação da fertilidade dos solos, especialmente em regiões como o Cerrado, cuja fragilidade ambiental exige práticas conservacionistas (SILVA; BALDICERA, 2024). Segundo Faustino, Andrade e Pugliese (2021), a revegetação com leguminosas em solos tropicais promove significativo ganho na qualidade física por meio de maior resistência de agregados e retenção de umidade.

Resíduos gerados por atividades humanas podem alterar as propriedades físico-químicas do solo e favorecer a proliferação de vetores de doenças. Huang et al. (2022) reforça que a contaminação por resíduos plásticos representa um risco emergente à biodiversidade e à qualidade ambiental.

O fósforo (P) é um dos principais nutrientes limitantes nos solos do Cerrado, devido à elevada atividade de intemperismo que reduz sua disponibilidade para as plantas. Esse nutriente é essencial ao metabolismo vegetal, participando da fotossíntese, da síntese de ácidos nucleicos, fosfolipídios, coenzimas e açúcares fosfatados (TAIZ e ZEIGER, 2021). Sua deficiência compromete o crescimento das plantas, reduz a biomassa e impacta diretamente a produtividade agrícola.

Diante desses aspectos, torna-se necessário compreender como diferentes usos e manejos do solo influenciam os teores de P em áreas antropizadas, estudos demonstram que práticas de manejo, como a adubação fosfatada, a calagem e a supressão da vegetação, alteram a dinâmica do P no solo, afetando sua disponibilidade e aumentando as perdas por fixação ou lixiviação (RHEINHEIMER e ANGHINONI, 2003; RIMÁ, 2019; SASABUCHI et al., 2023). A ação antrópica, ao modificar a matéria orgânica e o equilíbrio biológico do solo, influencia a mineralização e a imobilização do P, podendo comprometer a eficiência do uso de

fertilizantes e a sustentabilidade agrícola (CARNEIRO et al., 2004; RIBEIRO-JUNIOR et al., 2024). Nesse contexto, torna-se essencial compreender esses impactos para definir estratégias integradas de manejo.

Nesse contexto, a coleta adequada de amostras é indispensável para que os dados reflitam com precisão as condições reais do solo. Estudos indicam que amostras realizadas em profundidades de 0–20 cm são essenciais para recomendações de corretivos no Cerrado, sobretudo em sistemas sob plantio direto (FACCO et al., 2020).

2. OBJETIVO

Este estudo teve como objetivo avaliar os teores de P em solos localizados em áreas antropizadas, submetidas a diferentes formas de uso e manejo agrícola.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Indicadores de qualidade e monitoramento do solo

A avaliação da qualidade do solo é um dos principais instrumentos utilizados para monitorar a sustentabilidade dos sistemas agrícolas e a conservação dos recursos naturais. A matéria orgânica em solos tropicais, como os do Cerrado, exerce papel crucial na fertilidade e conservação, sendo determinante para práticas agrícolas conservacionistas. Essa definição está diretamente relacionada ao funcionamento do solo como um sistema dinâmico e multifuncional (SILVA, 2020; ALMEIDA; SANCHES, 2014).

Os indicadores de qualidade do solo podem ser divididos em atributos físicos, químicos e biológicos. Teixeira et al. (2017) destacam que os atributos mais sensíveis para avaliação da qualidade incluem o teor de matéria orgânica, o pH, os níveis de P disponível e a densidade do solo. Esses parâmetros são influenciados pelo uso da terra e pelas práticas de manejo adotadas.

Segundo Schoenholtz, Van Miegroet e Burger (2000), os indicadores devem ser sensíveis às mudanças causadas por práticas de manejo, apresentar baixo custo, e ser aplicáveis a diferentes tipos de uso do solo. Já Reinert (1998) propõe a categorização dos indicadores com base em características morfológicas e visuais do solo, como cor, estrutura, espessura dos horizontes, cobertura vegetal, erosão, drenagem e friabilidade.

A compactação do solo, um fator físico negativo, pode resultar da utilização excessiva de máquinas ou da pressão exercida por animais, afetando diretamente a densidade e a

porosidade do solo, reduzindo a permeabilidade e o crescimento radicular (BATEY E MCKENZIE, 2006; ARSHAD et al., 1996).

No aspecto químico, características como o teor de matéria orgânica, a acidez, a saturação por bases (V%) e a presença de alumínio trocável são fundamentais para a manutenção da fertilidade do solo e estão diretamente ligadas à capacidade do solo em fornecer nutrientes às plantas (TEIXEIRA et al., 2017).

Além dos indicadores físicos e químicos, a biota do solo e outros organismos também são utilizados como bioindicadores da qualidade ambiental. Estudos destacam a utilização da presença e diversidade de borboletas (Brown, 2000), formigas e invertebrados do solo (Andersen, 1997; Ruiz-Jaén e Aide, 2005; Jansen, 1997), pequenos mamíferos (Turker e Murphy, 1997), morcegos e aves (Van Aarde et al., 1996; Parrotta et al., 1997), como ferramentas eficazes no monitoramento ambiental de áreas degradadas ou antropizadas.

Dessa forma, o monitoramento da qualidade do solo, por meio de indicadores técnicos e biológicos, é fundamental para avaliar áreas com diferentes níveis de intervenção antrópica e orientar o manejo sustentável. A qualidade do solo afeta diretamente a disponibilidade e a dinâmica do fósforo, influenciando sua retenção e ciclagem, essenciais para o crescimento das plantas. Assim, monitorar o solo permite identificar variações no teor de P, ajustar práticas agrícolas e garantir maior eficiência no uso do nutriente.

A qualidade do solo está diretamente ligada à disponibilidade e ciclagem do fósforo, pois atributos como pH, matéria orgânica, atividade microbiana e capacidade de troca catiônica determinam a forma como o P é retido, mineralizado ou perdido. Solos com baixa qualidade química, como acidez elevada e alta saturação por alumínio, apresentam maior adsorção do fósforo em formas indisponíveis para as plantas (RHEINHEIMER e ANGHINONI, 2003; TEIXEIRA et al., 2017). Além disso, a redução da atividade biológica limita a mineralização do P orgânico, diminuindo ainda mais sua oferta no sistema (CARNEIRO et al., 2004; RIBEIRO-JUNIOR et al., 2024). Monitorar a qualidade do solo, portanto, não apenas indica sua aptidão agrícola, mas também permite planejar estratégias que maximizem a eficiência do uso do fósforo e minimizem perdas, garantindo maior sustentabilidade ao sistema produtivo.

3.2 Ciclo bioquímico do fósforo no solo

O fósforo presente na biomassa microbiana é liberado no solo quando essas células sofrem lise, muitas vezes em função de alterações climáticas ou do manejo do solo. A microfauna, ao consumir microrganismos, também contribui para a liberação de nutrientes,

como o P, evitando sua fixação em minerais estáveis e aumentando a eficiência da adubação fosfatada (BUCHANAN e KING, 1992; TISDALE et al., 1993; GUERRA et al., 1995; HE et al., 1997).

Essa biomassa representa um importante reservatório de P no solo, podendo conter quantidades similares ou até superiores às absorvidas diretamente pelas plantas (BROOKES et al., 1984; SINGH et al., 1989). Diversos microrganismos, como bactérias, fungos e actinomicetos, têm capacidade de solubilizar P inorgânico, por meio da liberação de ácidos orgânicos que promovem a dissolução de minerais fosfatados ou a complexação de cátions associados ao fosfato (KUCEY, 1983; NAHAS et al., 1994b).

Além disso, esses microrganismos produzem enzimas fosfatases, ácidas e alcalinas, que desempenham papel essencial na mineralização do P orgânico presente no solo (DICK e TABATABAI, 1993). As fosfatases ácidas podem ser de origem vegetal ou microbiana, enquanto as fosfatases alcalinas são exclusivamente microbianas (TABATABAI, 1994). Devido à elevada biomassa, metabolismo acelerado e ciclos de vida curtos, os microrganismos destacam-se como principais fontes dessas enzimas, sendo responsáveis pela liberação de quantidades significativamente maiores de fosfatases extracelulares em comparação às plantas.

O funcionamento eficiente desse ciclo depende diretamente das condições do solo e das práticas de manejo adotadas, o que ressalta a importância da preservação da microbiota e da adoção de estratégias sustentáveis na agricultura (SILVA et al., 2019).

A microbiota do solo exerce papel fundamental na manutenção da qualidade e da estabilidade dos ecossistemas agrícolas, especialmente em regiões como o Cerrado, onde a diversidade microbiana é essencial para processos como a mineralização de nutrientes, fixação biológica de nitrogênio e ciclagem do fósforo. A adoção de práticas de manejo sustentável contribui diretamente para a preservação dessa comunidade microbiana e para o equilíbrio funcional do solo (RIBEIRO-JUNIOR et al., 2024).

Diversos estudos comprovam que as práticas antrópicas influenciam diretamente a comunidade microbiana do solo, alterando a dinâmica do fósforo. A introdução de monoculturas, o uso intensivo de fertilizantes químicos, a redução da matéria orgânica e a calagem modificam a biomassa microbiana, a diversidade de espécies e a atividade enzimática, especialmente das fosfatases, fundamentais para a mineralização do P orgânico (BROOKES et al., 1984; CARNEIRO et al., 2004).

A diminuição da atividade microbiana reduz a capacidade do solo de transformar P orgânico em formas biodisponíveis, comprometendo a nutrição vegetal e a eficiência da

adubação fosfatada (RIBEIRO-JUNIOR et al., 2024). Além disso, práticas inadequadas podem favorecer a imobilização do P ou aumentar sua fixação em formas indisponíveis, devido à menor produção de ácidos orgânicos e à alteração das condições físico-químicas do solo (RHEINHEIMER e ANGHINONI, 2003; SASABUCHI et al., 2023). Dessa forma, a adoção de manejos que preservem a atividade biológica do solo é essencial para manter a ciclagem eficiente do fósforo, garantindo maior sustentabilidade e produtividade dos sistemas agrícolas.

3.3 Amostragem

A amostragem consiste na coleta de pequenas porções de solo que representem, de forma fiel, as características físicas, químicas e biológicas de uma determinada área. A coleta de amostras de solo é uma das etapas mais importantes no processo de análise do solo em uma gleba, pode de fato determinar sobre a representatividade e confiabilidade dos resultados obtidos. De acordo com Cantarutti et al. (1999), essa etapa é sensível à variação temporal, o que significa que a coleta não pode ser repetida com exatidão em outro momento. Por isso, é recomendável que o produtor realize análises de solo com regularidade, especialmente em propriedades com alta intensidade de uso, como as que realizam duas safras por ano. Segundo Natale et al. (2011), a frequência da análise deve considerar o grau de exploração e intensidade de manejo do solo.

No Brasil, a prática mais comum consiste na coleta de 10 a 30 amostras simples, aleatoriamente distribuídas, para compor uma amostra composta representativa da área. A quantidade exata pode variar conforme o tamanho da gleba, a heterogeneidade do terreno e o histórico de uso da área (OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2021).

3.4 O Bioma Cerrado

O Cerrado é o segundo maior bioma brasileiro, ocupando cerca de 25% do território nacional, e está entre os mais ameaçados do país, com grande importância para a biodiversidade e serviços ambientais (AGÊNCIA BRASIL, 2024). Comparado à Amazônia, que possui maior cobertura de áreas protegidas, o Cerrado sofre maior pressão pela expansão agrícola e pecuária, especialmente nos estados do Maranhão, Bahia e Tocantins (AP NEWS, 2023). Em 2023, o desmatamento no Cerrado aumentou 45% em relação ao ano anterior, totalizando 7.852 km², o maior índice desde 2019. Apesar de uma queda de 33% em 2024, com 712 mil hectares desmatados, o número ainda é elevado e representa uma ameaça

significativa ao bioma (AGÊNCIA BRASIL, 2025). Nos últimos 39 anos, o Cerrado perdeu cerca de 27% da sua vegetação nativa, equivalente a 38 milhões de hectares, comprometendo a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos, como a regulação dos recursos hídricos e o sequestro de carbono (AGÊNCIA BRASIL, 2024).

O Cerrado apresenta vegetação adaptada ao clima estacional, com uma estação seca prolongada, geralmente superior a cinco meses. Suas formações vegetais são compostas por fitofisionomias campestres, savânicas e florestais, desenvolvidas sobre solos altamente lixiviados, ácidos e com altos teores de alumínio trocável. Essas condições impõem limitações ao desenvolvimento das culturas agrícolas, tornando indispensável a adoção de práticas corretivas, como a calagem e a adubação fosfatada (MARTINS et al., 2019).

Essas características tornam o Cerrado uma região estratégica para estudos relacionados à fertilidade do solo, especialmente quanto à disponibilidade de fósforo em áreas antropizadas.

Os solos do Cerrado são altamente intemperizados, ácidos e pobres em nutrientes, apresentando grande capacidade de fixação de fósforo (P) devido à presença de óxidos de ferro e alumínio em suas frações minerais. Essa característica faz com que grande parte do P aplicado via fertilizantes fique retido em formas não disponíveis para as plantas, resultando em baixa eficiência de uso e exigindo doses elevadas para suprir as necessidades das culturas (SOUSA; LOBATO, 2004; NOVAIS et al., 2007). Essa limitação natural do solo, aliada à intensa pressão agrícola, torna essencial o uso de estratégias de manejo que melhorem a disponibilidade de P, como a adoção de plantas de cobertura, o uso de fontes de fósforo de liberação gradual e o monitoramento constante da fertilidade. Assim, compreender a dinâmica do P no Cerrado é fundamental para garantir a sustentabilidade produtiva e reduzir impactos ambientais associados ao uso excessivo de fertilizantes.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Delimitação do estudo

O desenvolvimento deste trabalho teve início com a definição da localização e o critério do histórico da área serem avaliadas, bem como o número de ambientes a serem comparados com base na disponibilidade de P em solos antropizados. O início do projeto ocorreu com a execução da coleta das amostras ainda no decorrer do mesmo mês dia 23. Foram selecionadas quatro áreas de estudo com diferentes históricos de uso: uma área com presença de resíduos descartáveis (plástico, telhas de zinco e outras matérias de construção civil) e matéria orgânica (Folhas, galhos, raízes, cascas de árvores), uma área com correção

de solo, uma área apenas desmatada (suspensão da vegetação nativa), sem tratamento ou manejo, e uma área testemunha com vegetação nativa remanescente, próxima às demais e não antropizada.

Para cada área, foi coletada uma amostra composta, constituída por 10 amostras simples, distribuídas aleatoriamente ao longo da gleba. De acordo com o Manual de Métodos de Análise de Solo da Embrapa (TEIXEIRA et al., 2017), recomenda-se coletar de 15 a 20 amostras simples para formar uma amostra composta representativa em glebas de até 20 hectares. Entretanto, como as áreas analisadas neste estudo possuem menos de 1,5 hectare, adotou-se a coleta de 10 amostras simples por área, quantidade considerada suficiente para garantir a representatividade em áreas menores e homogêneas.

Foram também elaborados mapas temáticos da região de estudo, com o objetivo de aprimorar a visualização espacial, enriquecer a análise e garantir maior confiabilidade às informações obtidas em campo.

4.2 Localização do estudo

O estudo foi realizado em quatro áreas de estudos localizadas no *Campus* Palmas do Instituto Federal do Tocantins (IFTO), no município de Palmas, Tocantins. As áreas foram selecionadas com base em diferentes históricos de uso e manejo do solo, permitindo uma avaliação dos comparativos dos teores de fósforo em ambientes com distintos níveis de intervenção antrópica.

Na área 01 de 1,50 hectares, a área passou por gradagem na área aproximadamente 3 anos antes da coleta de amostra na área e correção do solo para o cultivo de milho aproximadamente 2 anos anterior a coleta de amostra composta desse estudo. Posteriormente, foi implantado o cultivo de *Brachiaria Brizantha*, e no ano de 2024 foi implantado na área o cultivo de *Megathyrsus maximus* cv. Massai para fins de pesquisas na área. caracterizando um sistema de rotação de culturas. A presença de matéria orgânica (Folhas, galhos, raízes, cascas de árvores) e resíduos de construção civil (materiais descartados provenientes de construções, reformas, demolições e reparos de obras), o que a torna representativa para avaliação dos impactos de práticas intensivas sobre a disponibilidade de P no solo. Esta área integra os espaços de manejo agrícola do *Campus* Palmas, sendo amplamente utilizada em projetos experimentais.

Já área 02 de 0,27 hectares, esta área não passou por correção de solo em seu histórico nem foi submetida a gradagem. A única intervenção registrada foi a retirada da vegetação nativa anterior a 2008, sem qualquer tipo de cultivo ou tratamento posterior. Trata-se de uma área consolidada, de modo geral, uma área consolidada é aquela onde já existem ocupações humanas e atividades implementadas há certo tempo, apresentando construções, melhorias ou usos econômicos definidos. No caso do Código Florestal, considera-se área rural consolidada aquela que já estava ocupada antes de 22 de julho de 2008, incluindo edificações e outras intervenções. Ideal para avaliar os efeitos da supressão da vegetação sobre os teores de P ao longo do tempo.

A área 03 de 0,69 hectares, localizada nas imediações do Parque Cesamar, próximo às demais áreas de estudo. Possui vegetação nativa preservada, sem qualquer tipo de intervenção antrópica recente, sendo caracterizada como área testemunha. Sua inclusão no estudo visa estabelecer uma linha de base comparativa para os teores de P em condições naturais do Cerrado.

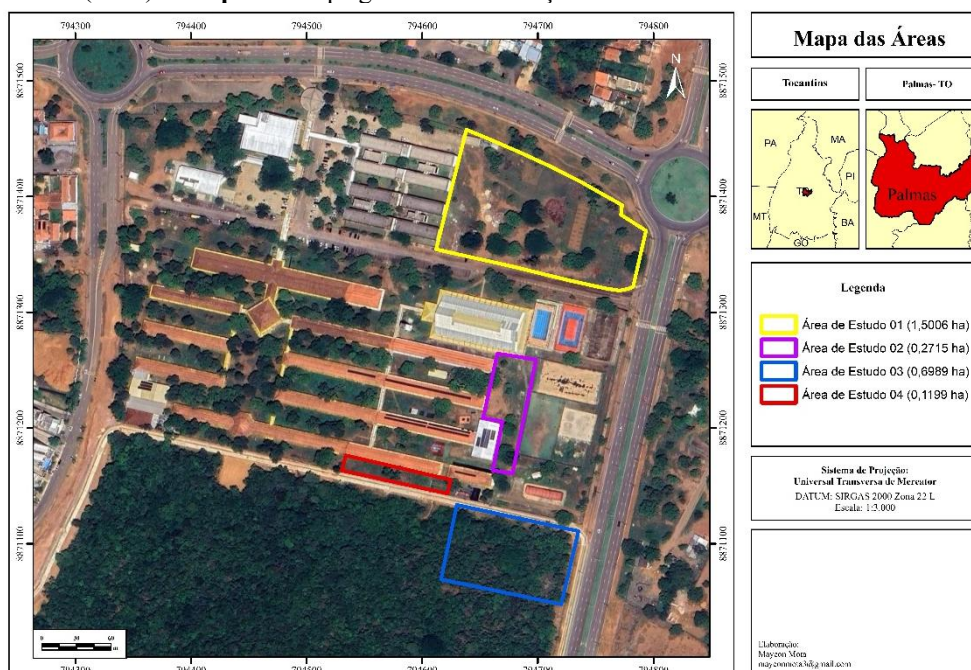
Sendo que na área 04 de 0,11 hectares, esta área foi submetida à calagem e correção do solo no ano anterior da coletar das amostras, além da adição de matéria orgânica (Folhas, galhos), com o objetivo de implantar cultivos hortícolas como cenoura, abóbora e tomate. Não foram identificados resíduos sólidos no local (materiais descartados provenientes de construções, reformas, demolições e reparos de obras). Trata-se de uma área experimental também localizada no *Campus* Palmas, destinada à pesquisa em horticultura, oferecendo condições específicas para comparação dos efeitos da adubação e do preparo do solo sobre os teores de fósforo.

A Quadro 1 detalha as principais características de cada ambiente avaliado, incluindo o uso anterior do solo, gradagem, cobertura vegetal predominante e a presença ou ausência de práticas de correção química. O Mapa 1 apresenta a localização geográfica das áreas de estudo dentro do *Campus*, destacando sua distribuição espacial.

Quadro 1 - Características das áreas antropizadas.

Área de Estudo	Características Principais	Tamanho	Alterações no Solo
Área 01	Matéria orgânica, resíduos de construção civil, gradagem, correções e tratamentos.	1,50 ha	Gradagem e tratamento no solo
Área 02	Matéria orgânica, Vegetação retirada	0,27 ha	Nenhuma alteração além da derrubada
Área 03	Vegetação remanescente, sem alterações, Matéria orgânica	0,69 ha	Nenhuma alteração
Área 04	Matéria orgânica, Correção de solo, matéria orgânica.	0,11 ha	Correção de solo

Fonte: Auto (2025). **Mapa 1** - Mapa geral das localizações das áreas de estudo.



Fonte: Auto (2025).

Essas áreas representam diferentes graus de interferência humana no ambiente e foram selecionadas estrategicamente para possibilitar a avaliar a disponibilidade de P em solos com distintos históricos de manejo.

4.3 Características da região do estudo

4.3.1 Clima

Com o objetivo de contextualizar climaticamente a área de estudo, o local está inserido em uma zona com clima classificado como C2wA'a, segundo a classificação de Thornthwaite, caracterizada por um regime subúmido com deficiência hídrica moderada no inverno. Essa informação é fundamental para a compreensão da dinâmica do fósforo no solo, considerando a influência do clima sobre os processos de mineralização, adsorção e transporte de nutrientes.

O regime de chuvas e a temperatura afetam diretamente a mineralização do fósforo orgânico, a atividade microbiana e a solubilização de compostos fosfatados, além de influenciarem a lixiviação e o escoamento superficial, que podem resultar em perdas significativas do nutriente (RHEINHEIMER e ANGHINONI, 2003; CARNEIRO et al., 2004). Em ambientes tropicais, como o Cerrado, a alternância entre períodos chuvosos e secos intensifica a fixação do P em formas menos disponíveis, exigindo práticas adequadas de manejo para garantir sua disponibilidade às plantas.

A média anual de precipitação em Palmas é aproximadamente 1.977 mm (CLIMATE-DATA, 2025). O período chuvoso ocorre entre outubro e abril, com janeiro sendo o mês que registra maior volume pluviométrico, apresentando cerca de 355 mm em média (CLIMATE-DATA, 2025). Já os meses secos compreendem o intervalo de maio a setembro, quando a precipitação mensal fica abaixo de 30 mm, destacando-se julho como o mês com menor índice pluviométrico (CLIMATE-DATA, 2025).

Tais variações sazonais exercem influência direta sobre as práticas de manejo do solo, especialmente no que diz respeito à disponibilidade de nutrientes como o fósforo, elemento sensível à dinâmica hídrica e à umidade do solo.

4.4 Método de coleta de dados

A análise comparativa dos dados obtidos foi organizada em tabelas, com o intuito de demonstrar as variações nos teores de P entre as áreas estudadas, cada uma com diferentes históricos de uso e manejo agrícola. Essa abordagem permitiu avaliar de forma clara e objetiva a influência do tipo de ocupação do solo na disponibilidade do nutriente, atendendo aos objetivos propostos na pesquisa.

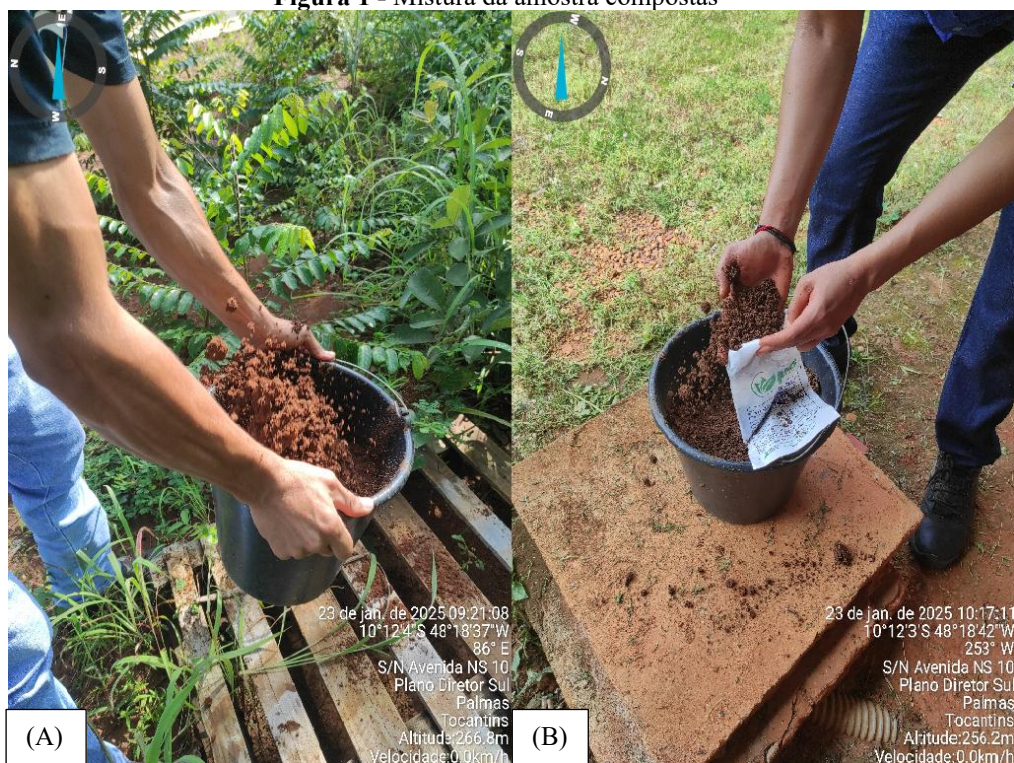
4.5 Método de coleta de amostra

Para a realização do presente estudo, foi adotado o método de coleta de amostras compostas de solo conforme as orientações do Manual de Métodos de Análise de Solo da Embrapa (TEIXEIRA et al., 2017; SOUSA e LOBATO, 2004). Em cada uma das quatro áreas de estudo, foi coletada uma amostra composta formada por 10 amostras simples, dispostas aleatoriamente em cada área. Essa escolha foi considerada devido que todas as áreas avaliadas apresentam menos de 1,5 hectares, sendo assim não necessitado de quantidade maior de amostras simples. A profundidade de coleta foi de 0 a 20 cm, por

representar a camada arável do solo sendo a mais influenciada pelas práticas de manejo e onde ocorrem as principais interações entre nutrientes e raízes das plantas.

A Figura 1 ilustra as etapas críticas do processo, as coletas foram realizadas no dia 23 de janeiro de 2025, a mistura das subamostras (A) e seu acondicionamento final (B), garantindo a integridade da amostra composta.

Figura 1 - Mistura da amostra compostas



Fonte: Auto (2025).

As amostras simples foram homogeneizadas para formar uma amostra composta representativa de cada área, aproximadamente 500g de amostra composta colocada no saco de amostra composta, posteriormente encaminhada para análise laboratorial.

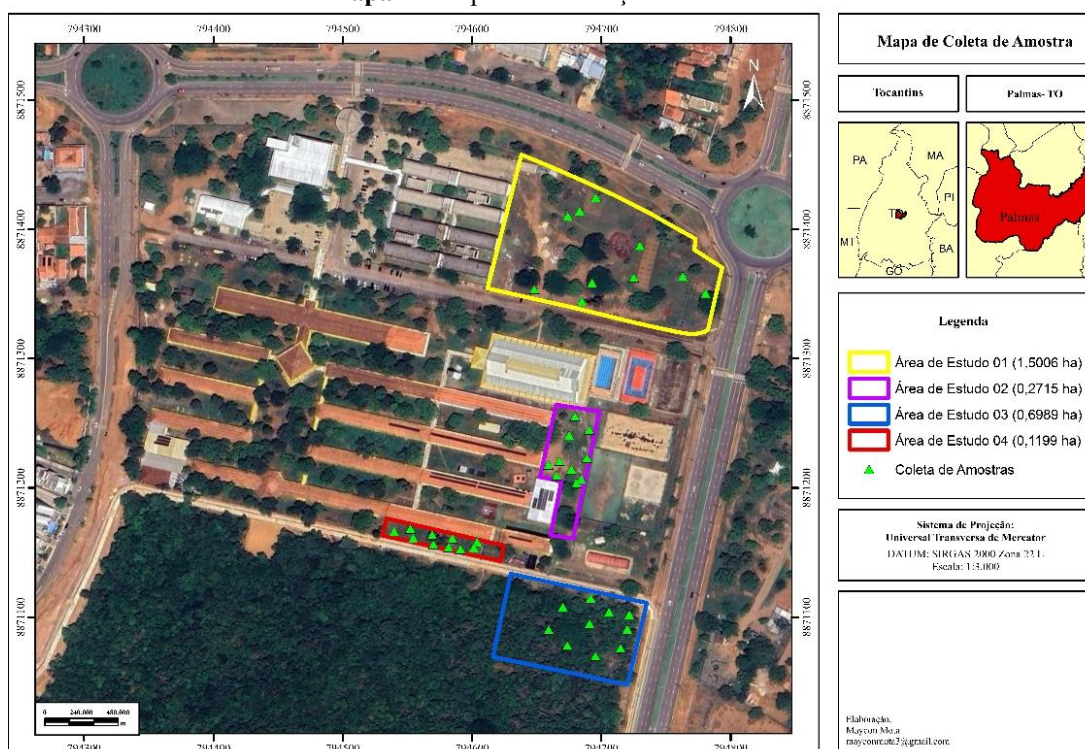
No Tabela 1, apresentam as informações detalhadas sobre as áreas de coleta, incluindo a quantidade em gamas das amostras, a profundidade em centímetros (cm), esses dados são essenciais para a compreensão das variações nos teores de fósforo (P) entre as diferentes áreas estudadas.

Tabela 1 - Tabela de quantidade e profundidade das amostras

Área de coleta	Quantidade em gama da amostra	Profundida em Centímetros (cm)
Área 01	500g	0 a 20 cm
Área 02	500g	0 a 20 cm
Área 03	500g	0 a 20 cm
Área 04	500g	0 a 20 cm

Fonte: Autor (2025).

O Mapa 2 apresenta a localização dos pontos de coletas amostras simples coletadas em cada área de estudo. Nele, são destacados os pontos exatos onde as amostras foram obtidas, permitindo visualizar a distribuição espacial das coletas. Essa representação geográfica é fundamental para compreender a formação da amostra composta nas áreas de estudo.

Mapa 2 - Mapa de localização de amostras

Fonte: Autor (2025).

4.6 PROGRAMAS DE GEORREFERENCIAMENTO

Para a elaboração dos mapas temáticos e a análise espacial das áreas estudadas, foram utilizados os seguintes programas de geoprocessamento:

4.6.1 ArcMap – Versão 10.8

O ArcMap é um software integrante do pacote ArcGIS, desenvolvido pela Esri. Trata-se de uma ferramenta robusta para a criação, visualização, manipulação e análise de dados

geoespaciais. Com ele, é possível gerar mapas temáticos, visualizar camadas vetoriais e rastrear, realizar análises espaciais, modelagem de redes, análises de elevação e edição de dados geográficos.

O software é amplamente utilizado em projetos de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), aplicando-se em áreas como planejamento urbano, gestão ambiental, infraestrutura e agricultura de precisão (ESRI, 2023).

4.6.2 Google Earth Pro – Versão 7.3.6.9796 (64-bit)

O Google Earth Pro é uma plataforma de visualização geoespacial que permite a exploração do planeta em mapas 3D. Utiliza imagens de satélite, fotografias aéreas e outros dados geográficos para apresentar uma representação detalhada do relevo, cobertura do solo e infraestrutura urbana. É uma ferramenta útil para análise preliminar de áreas, identificação de alterações no uso do solo e apoio à elaboração de mapas temáticos (JAEGER, 2024).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 apresenta os resultados das análises químicas do solo obtidos a partir das amostras compostas coletadas nas quatro áreas avaliadas. Os parâmetros avaliados incluem pH em água, acidez potencial (H+Al), teores de cálcio, alumínio, matéria orgânica, capacidade de troca catiônica (CTC) e saturação por bases (V%), permitindo uma avaliação comparativa da fertilidade dos solos sob diferentes históricos de uso e manejo.

Tabela 2 - Tabela comparativa dos parâmetros químicos do solo nas quatro áreas

Parâmetro	Área 01	Área 02	Área 03	Área 04
P-Mehlich (mg/dm³)	0,32	0,32	0,32	0,32
pH CaCl₂	4,42	5,10	4,22	4,27
Matéria Orgânica (%)	1,23	1,63	1,68	1,85
V% (Saturação por Bases)	28,58	51,04	27,48	25,18
CTC Potencial (cmol/dm³)	3,92	5,31	4,55	4,41
Alumínio (cmol/dm³)	0,20	0,10	0,90	0,60
Cálcio (cmol/dm³)	0,97	1,98	0,97	0,81
Magnésio (cmol/dm³)	0,12	0,68	0,25	0,25
Potássio (cmol/dm³)	0,03	0,05	0,03	0,05

Fonte: Análises químicas realizadas pelo laboratório empresarial (2025).

Os resultados obtidos nas análises laboratoriais demonstram que os teores de fósforo (P-Mehlich) nas quatro áreas avaliadas apresentaram valores praticamente idênticos, todos com

0,32 mg/dm³. Esse valor se enquadra na faixa de disponibilidade extremamente baixa, conforme os critérios estabelecidos para solos tropicais, como os do Cerrado (SOUSA e LOBATO, 2004).

Essa evidencia a limitação natural desse nutriente nos ambientes avaliados. A homogeneidade nos níveis de P, mesmo entre áreas com diferentes históricos de uso e manejo agrícola entra as áreas, sugere que as práticas isoladas de correção de solo que ocorreram em intervalos no ano anterior das coletas das amostras, que ocorreram os tratamentos incluem diferentes níveis de saturação por bases (30% e 70%) e doses de nitrogênio (0, 100 e 200 kg/ha), na área 2 que tinha como objetivo melhorias nos níveis de fertilidade do solo e no desempenho do capim massai (*Megathyrsus maximus* cv. Massai), não são suficientes para reverter a baixa disponibilidade do nutriente de forma significativa. Isso reforça a necessidade de estratégias mais integradas e contínuas para o manejo da fertilidade, a manutenção da matéria orgânica e a aplicação planejada de fosfatos em combinação com práticas conservacionistas como o plantio direto com cobertura vegetal, uso de adubação verde, adição de matéria orgânica e uso de microrganismos solubilizadores de fosfato são recomendadas.

Essas estratégias reduzem perdas, favorecem a mineralização do P orgânico e aumentam a eficiência do fertilizante fosfatado, contribuindo para maior sustentabilidade do sistema produtivo (CARNEIRO et al., 2004; SOUSA e LOBATO, 2004; RHEINHEIMER e ANGHINONI, 2003).

Na área 01, que foi anteriormente utilizada para o cultivo de milho e, posteriormente, para o estabelecimento de *Brachiaria brizantha* e capim-massai (*Megathyrsus maximus* cv. Massai) no ano de 2023 foi realizado à ultima calagem na área 01 de calcário dolomítico.

A amostra dessa área apresentou pH moderadamente ácido (4,42), baixa saturação por bases ($V\% = 28,58$) e baixo teor de matéria orgânica (1,23%), o que indica uma condição de fertilidade limitada. Esses valores são compatíveis com ambientes que passaram por sucessivos cultivos sem reposição adequada dos nutrientes extraídos pelas culturas. Além disso, o teor de cálcio observado (0,97 cmol_c/dm³) foi inferior ao ideal para o desenvolvimento de espécies de maior exigência nutricional, reforçando a necessidade de intervenções corretivas adicionais. Essa limitação pode comprometer a produtividade agrícola e afetar negativamente os processos biológicos do solo, como a mineralização da matéria orgânica e a ciclagem de nutrientes. Portanto, torna-se imprescindível a adoção de práticas de manejo mais sustentáveis, como a

adubação organomineral, o uso de leguminosas como adubo verde e o monitoramento contínuo da fertilidade do solo.

No caso da área 02, onde houve apenas a supressão da vegetação nativa, sem qualquer tipo de preparo ou tratamento químico, a partir da abertura do solo manual, que revelou um perfil com coloração avermelhada clara, com textura argilosa. Surpreendentemente, essa área apresentou os melhores indicadores químicos entre as quatro avaliadas, com pH mais elevado (5,10), maior saturação por bases ($V\% = 51,04$), teor de cálcio superior ($1,98 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$) e menor concentração de alumínio trocável ($0,10 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$). Mesmo sem o uso de corretivos, os resultados indicam que as condições naturais do solo permaneceram mais equilibradas, possivelmente em função da menor exposição a cultivos intensivos e da maior estabilidade físico-química do ambiente edáfico.

Esse resultado pode ser explicado pela menor interferência antrópica, que preserva a estrutura e a biota do solo, reduzindo perdas de nutrientes e mantendo o equilíbrio natural dos elementos químicos. Em muitos casos, práticas corretivas mal conduzidas ou manejo inadequado podem acidificar o solo ou aumentar a fixação do fósforo, enquanto áreas apenas desmatadas, mas não cultivadas, mantêm características químicas mais estáveis (RHEINHEIMER e ANGHINONI, 2003; CARNEIRO et al., 2004). Quando comparada à mata nativa (área 03), a área 02 apresentou pH mais elevado e menor acidez potencial, possivelmente por já ter sofrido menor lixiviação e menor acúmulo de matéria orgânica ácida, mostrando que a ausência de cultivo intensivo pode manter indicadores químicos favoráveis por mais tempo.

Na área 03, caracterizada como testemunha com vegetação nativa preservada, foi realizada a coleta da amostra a partir da abertura do solo em local não perturbado, revelando um perfil com coloração avermelhada escura homogênea, estrutura macroporosa e presença de material orgânico superficial. Os resultados laboratoriais indicaram pH mais ácido (4,22), alta acidez potencial ($Al = 0,90 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$) e baixa saturação por bases ($V\% = 27,48$). Embora tenha apresentado o maior teor de matéria orgânica (folhas, galhos, cascas de árvores secas) entre as áreas avaliadas (1,68%), esses parâmetros refletem as condições naturais do solo em seu estado original, com baixa fertilidade química para uso agrícola direto.

A presença de maior teor de matéria orgânica, tende a favorecer o acúmulo de fósforo orgânico (Po), principalmente nas formas lábeis, as quais são mais biodisponíveis e susceptíveis à mineralização. Isso indica que solos com boa cobertura vegetal e equilíbrio biológico tendem

a reter e reciclar melhor o fósforo, reduzindo as perdas por lixiviação ou erosão (RIMÁ, 2019; SASABUCHI et al., 2023).

Na área 04, destinada ao cultivo de hortaliças, foi realizada a abertura do solo para a coleta da amostra, revelando um perfil com coloração castanho-avermelhada escura, textura média e presença de resíduos orgânicos em decomposição na camada superficial, reflexo do cultivo intensivo. A área recebeu calagem prévia no ano anterior a coleta da amostra da área, prática que, além de reduzir a acidez, favorece o desenvolvimento radicular e estimula a atividade microbiana, contribuindo para maior acúmulo e estabilização da matéria orgânica no solo. Esse manejo resultou no maior teor de matéria orgânica registrado entre as áreas (1,85%) e em uma capacidade de troca catiônica (CTC) moderada ($4,41 \text{ cmol(c)/dm}^3$). No entanto, os resultados ainda indicaram baixa saturação por bases ($V\% = 25,18\%$) e acidez significativa ($Al = 0,60 \text{ cmol(c)/dm}^3$), evidenciando que, embora a calagem tenha melhorado alguns atributos, o manejo aplicado não foi suficiente para corrigir plenamente a acidez nem elevar a fertilidade a níveis ideais para culturas mais exigentes, reforçando a necessidade de ajustes contínuos no sistema de correção e adubação.

Estudos realizados em áreas do Cerrado demonstram que o uso intensivo do solo para agricultura e pastagens contribui diretamente para o aumento dos teores de fósforo total (PT), devido à aplicação recorrente de fertilizantes fosfatados. No entanto, essa acumulação tende a ocorrer principalmente nas camadas superficiais (0–5 cm), sendo altamente susceptível ao transporte por escoamento superficial e erosão, o que pode comprometer a fertilidade a longo prazo e contribuir para a contaminação ambiental (RIMÁ, 2019).

A aplicação de práticas corretivas sem acompanhamento técnico, como calagem isolada ou adubação desbalanceada, não garante a melhoria da fertilidade do solo, podendo inclusive mascarar desequilíbrios nutricionais e aumentar o risco de perdas por escoamento. Quando o fósforo aplicado não é aproveitado eficientemente, ele pode ser transferido para corpos hídricos, contribuindo com a eutrofização, um fenômeno amplamente discutido na literatura recente (SASABUCHI et al., 2023).

Mesmo com diferentes manejos, o teor de fósforo (P) foi igualmente baixo nas quatro áreas. Essa homogeneidade pode estar relacionada à forte adsorção do P por óxidos de ferro e alumínio, característicos dos solos do Cerrado. Segundo Rheinheimer e Anghinoni (2003), tais óxidos reduzem a eficiência dos fertilizantes fosfatados ao reter o nutriente no solo de forma indisponível às plantas.

No entanto, não são apenas os óxidos que explicam os baixos teores de P. Outros fatores, como a baixa disponibilidade de matéria orgânica, a reduzida atividade microbiana e o histórico de manejo inadequado, também contribuem para a limitação do fósforo no solo (CARNEIRO et al., 2004; RIBEIRO-JUNIOR et al., 2024). A matéria orgânica, por exemplo, pode liberar ácidos orgânicos que ajudam a solubilizar o P retido, enquanto a microbiota ativa desempenha papel essencial na mineralização e ciclagem desse nutriente. Assim, a combinação de alta fixação por óxidos e práticas de manejo pouco eficientes explica a baixa disponibilidade observada nas áreas.

Além disso, como afirmam Teixeira et al. (2017), o P tende a se tornar rapidamente indisponível em solos ácidos e intemperizados, sendo necessária a manutenção contínua de práticas corretivas e o monitoramento da fertilidade. A matéria orgânica, embora presente em maior proporção na Área 04, não garantiu maior disponibilidade de P, provavelmente devido à competição entre ácidos orgânicos e o P por sítios de adsorção (RHEINHEIMER e ANGHINONI, 2003; PAUL e CLARK, 1996). Segundo Karlen, Andrews e Doran (2001), a qualidade do solo envolve sua capacidade de manter produtividade e saúde ambiental, e o fósforo é um dos principais indicadores de degradação química quando mal manejado.

A baixa disponibilidade de fósforo observada nas quatro áreas avaliadas reflete não apenas a deficiência do nutriente no material de origem dos solos do Cerrado, mas também a limitação natural de processos que promovem a sua ciclagem. Estudos mostram que o fósforo ligado à biomassa microbiana e à matéria orgânica constitui um importante reserva temporária do nutriente, sendo sua liberação mediada por enzimas como a fosfatase ácida. Essa atividade enzimática é influenciada diretamente pelo tipo de cobertura vegetal e sistema de manejo do solo. De acordo com Carneiro et al. (2004), áreas com vegetação nativa de Cerrado apresentam maior atividade da fosfatase em comparação a sistemas agrícolas intensivos, favorecendo a mineralização do fósforo orgânico e sua posterior disponibilização às plantas.

Esses achados reforçam os dados obtidos na Área 03 do presente estudo, que apresentou melhor equilíbrio químico, mesmo sem intervenção agrônômica. A compreensão da atividade biológica do solo como ferramenta de monitoramento pode ser decisiva para o sucesso de estratégias sustentáveis, especialmente em regiões tropicais como o Cerrado, onde as perdas por fixação e erosão são elevadas.

No entanto, na área de mata (Área 03), mesmo com alta estabilidade do ambiente, a maior deposição de serapilheira e o acúmulo de matéria orgânica ácida podem ter contribuído para menor pH e maior acidez potencial, o que limita a disponibilidade de nutrientes como o fósforo (CARNEIRO et al., 2004; SOUSA e LOBATO, 2004). Além disso, a dinâmica natural

do Cerrado favorece maior imobilização de P na biomassa e na matéria orgânica, restringindo sua liberação imediata para o solo. Assim, embora a área de mata apresente alta conservação, esses fatores explicam o menor equilíbrio químico em comparação com a Área 02.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A avaliação da disponibilidade de fósforo (P) demonstrou teores extremamente baixos em todas as áreas, inclusive naquelas que receberam correção do solo. Esse resultado atende ao objetivo principal do estudo, ao evidenciar a limitação do P em áreas com diferentes históricos de uso e manejo.

Verificou-se que intervenções pontuais não foram suficientes para corrigir a deficiência do nutriente, reforçando a necessidade de práticas integradas e contínuas. As áreas com vegetação nativa apresentaram melhor equilíbrio químico, o que reforça a importância da conservação da cobertura vegetal na manutenção da qualidade química do solo, conforme evidenciado pelos resultados da área com vegetação nativa.

Os resultados laboratoriais confirmaram esse maior equilíbrio, evidenciado por um pH mais elevado (5,10), maior saturação por bases ($V\% = 51,04$) e menor acidez potencial ($Al = 0,10 \text{ cmol(c)/dm}^3$), em comparação às áreas submetidas ao uso agrícola. Além disso, o estudo demonstrou que os mapas de localização e dos pontos de coleta foram ferramentas relevantes para a organização espacial da pesquisa; no entanto, não substituem as análises químicas detalhadas, indispensáveis para a avaliação precisa da fertilidade do solo, conforme previsto nos objetivos do trabalho.

Por fim, os dados obtidos oferecem subsídios técnicos para futuras estratégias de manejo mais eficientes e sustentáveis em áreas antropizadas do Cerrado, podendo contribuir com ações de recuperação e manutenção da fertilidade em contextos semelhantes.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA BRASIL. **Dia do Cerrado: bioma é o segundo mais ameaçado no país**. Brasília, 2024. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2024-09/dia-do-cerrado-bioma-e-o-segundo-mais-ameacado-no-pais-0>. Acesso em: 9 jun. 2025.
- AGÊNCIA BRASIL. **Desmatamento no Cerrado caiu 33% em 2024, mas ainda é elevado**. Brasília, 2025. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/meio-ambiente/noticia/2025-02/desmatamento-no-cerrado-caiu-33-em-2024-mas-ainda-e-elevado>. Acesso em: 9 jun. 2025.
- ALHO, C. J. R.; MARTINS, E. S. **De grão em grão: desafios da conservação do Cerrado**. Brasília, DF: WWF-Brasil, 1995.
- ALMEIDA, R. F.; SANCHES, B. C. **Disponibilidade de carbono orgânico nos solos do Cerrado brasileiro**. Scientia Agrária Paranaensis, v. 13, n. 4, p. 259–264, 2014.
- ANDERSEN, A. N. Using ants as bioindicators: multiscale issues in ant community ecology. **Conservation Ecology**, v. 1, n. 1, p. 8, 1997.
- AP NEWS. **Deforestation in Brazil's Cerrado rises sharply in 2023**. 2023. Disponível em: <https://apnews.com/article/261ec754f217794098aad651bae9b8e4>. Acesso em: 9 jun. 2025.
- ARSHAD, M. A. et al. Soil physical properties associated with grazing-induced compaction in a semi-arid environment. **Soil and Tillage Research**, v. 37, p. 119-130, 1996.
- BATEY, T.; MCKENZIE, D. C. Soil compaction: a review of past and present techniques for investigating effects on soil and crops. **Soil Use and Management**, v. 22, p. 335-343, 2006.
- BROOKES, P. C. et al. Phosphorus in the soil microbial biomass. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 16, p. 169-175, 1984.
- BROWN, K. S. Butterflies as indicators of climate change in the tropics. In: **Encyclopedia of Biodiversity**. San Diego: Academic Press, 2000. p. 371-381.
- BUCHANAN, B. B.; KING, M. **Biochemistry and Molecular Biology of Plants**. Maryland: American Society of Plant Biologists, 1992.

CANTARUTTI, R. B. et al. Avaliação da fertilidade do solo. In: ALVAREZ, V. H. et al. (org.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: SBCS, 1999. p. 375-426.

CARNEIRO, R. G. et al. **Indicadores biológicos associados ao ciclo do fósforo em solos de Cerrado sob plantio direto e plantio convencional**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 39, n. 7, p. 661–669, 2004.

CLIMATE-DATA.ORG. **Clima de Palmas, Tocantins**. Disponível em: <https://en.climate-data.org/south-america/brazil/tocantins/palmas-4072/>. Acesso em: 8 jul. 2025.

Esri. (2023). ArcGIS Desktop: **ArcMap**. Disponível em: <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcmap/overview>

FAUSTINO, L. A.; ANDRADE, W. A.; PUGLIESE, F. A. Atributos físicos do solo em área de recuperação com leguminosas em Latossolo do Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 25, n. 12, p. 821-827, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/KxymBf4XPBPdJnjsYLnkgPc/>. Acesso em: 9 jun. 2025.

FACCO, D. B. et al. **Atributos químicos e matéria orgânica do solo sob diferentes manejos em Latossolo do Cerrado**. Dissertação (Mestrado) – UFSM, 2020.

GUERRA, J. G. M. et al. **Uso de adubos verdes em hortaliças**. Brasília, DF: Embrapa, 1995. (Circular Técnica, 12).

HUANG, Y. et al. Impacts of plastic residues in agricultural soils on ecosystem functions and food chain. **Science of The Total Environment**, v. 831, 2022.

JAEGER, A. J. Google Earth as a Tool for Supporting Geospatial Thinking. **Land**, v. 13, n. 12, p. 2218, 2024.

JANSEN, B. J. H. Invertebrates as indicators of soil health. In: ELLIOTT, L. F. et al. (org.). **Soil Health and Sustainable Agriculture**. Boca Raton: CRC Press, 1997. p. 91-112.

KARLEN, D. L.; ANDREWS, S. S.; DORAN, J. W. Soil quality: current concepts and applications. **Advances in Agronomy**, v. 74, p. 1-40, 2001.

KUCEY, R. M. N. Phosphate-solubilizing bacteria and fungi in various cultivated and virgin Alberta soils. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 63, p. 671-678, 1983.

NAHAS, E. et al. Solubilization of rock phosphate by microorganisms from soils of sugar cane fields. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 18, p. 187-192, 1994b.

NOVAIS, R. F. et al. **Fósforo no solo e na planta**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.

OLIVEIRA JÚNIOR, A. de et al. Procedimentos de amostragem de solo para recomendações de corretivos e fertilizantes no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 45, 2021.

PAUL, E. A.; CLARK, F. E. **Soil Microbiology and Biochemistry**. 2. ed. San Diego: Academic Press, 1996.

PARROTTA, J. A. et al. Use of native species for reforestation of degraded tropical lands. In: **Restoration Ecology and Sustainable Development**. Washington, DC: Island Press, 1997. p. 173-187.

RHEINHEIMER, D. dos S.; ANGHINONI, I. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos tropicais. **Ciência Rural**, v. 33, n. 4, p. 715-723, 2003. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/CGKVc6BnjKqMGzf38RmCpDb/>. Acesso em: 19 maio 2025.

RIBEIRO-JUNIOR, M. R.; NASCIMENTO, D. M.; DOMINGUES NETO, F. J.; KRONKA, A. Z. **A microbiota do solo e sua importância na agricultura sustentável**. Atena Editora, 2024.

RIMÁ, Fernando Braga. **Fósforo em solos sob diferentes usos e seu fracionamento em sedimentos fluviais de uma bacia hidrográfica do Cerrado, sul do Piauí**. 2019. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Universidade Federal do Piauí, Bom Jesus, PI, 2019.

RUIZ-JAÉN, M. C.; AIDE, T. M. Vegetation structure, species diversity, and ecosystem processes as measures of restoration success. **Forest Ecology and Management**, v. 218, p. 159-173, 2005.

SASABUCHI, Isabela T. M. et al. **Sustentabilidade no uso de fósforo: uma revisão bibliográfica com foco na situação atual do estado de São Paulo**, Brasil. Química Nova, v. 46, n. 2, p. 185–198, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170967>.

SCHOENHOLTZ, S. H.; VAN MIEGROET, H.; BURGER, J. A. A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities. **Forest Ecology and Management**, v. 138, p. 335-356, 2000.

SILVA, J. F. F. Física do solo e matéria orgânica em sistemas de produção agrícola de Cerrado. Tese (Doutorado) – Unesp, 2020.

SILVA, G. C. F. da; BALDICERA, A. K. A importância da agricultura sustentável na preservação do meio ambiente. **Revista UNICREA**, v. 2, n. 2, p. 39-55, 2024. Disponível em: <https://revistaunicrea.crea-sc.org.br/index.php/revistaunicrea/article/view/79>. Acesso em: 18 abr. 2025.

SINGH, C. P. et al. Microbial biomass phosphorus and its role in phosphorus cycling in some tropical soils. **Biology and Fertility of Soils**, v. 8, p. 135-141, 1989.

SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2004.

SOUSA, D. M. G. de; NUNES, R. de S. **Manejo da adubação fosfatada para culturas anuais no Cerrado**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2016. (Circular Técnica, 33). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1061419/1/CT33.pdf>. Acesso em: 24 abr. 2025.

TABATABAI, M. A. Soil enzymes. In: WEAVER, R. W. et al. (ed.). **Methods of soil analysis: part 2 – Microbiological and biochemical properties**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 775-833.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2021.

TEIXEIRA, P. C. et al. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 573 p.

TISDALE, S. L. et al. **Soil Fertility and Fertilizers**. 5. ed. New York: Macmillan Publishing Company, 1993.

TURKER, M.; MURPHY, D. Small mammals as indicators of habitat quality in restoration and management. **Ecological Applications**, v. 7, p. 593-603, 1997.

VAN AARDE, R. J. et al. Wildlife conservation and ecosystem restoration. In: **The restoration of tropical forests**. Berlin: Springer, 1996. p. 179-195.