



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

FELLIPE DA SILVA GOULART

**AValiação DO CRESCIMENTO E O DESENVOLVIMENTO INICIAL DE DUAS
CULTIVARES DE MILHO (ZEA MAYS L.) SOB DUAS DOSES DE FÓSFORO EM
LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO DISTRÓFICO DO BIOMA CERRADO**

PALMAS

2025

FELLIPE DA SILVA GOULART

**AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO E O DESENVOLVIMENTO INICIAL DE DUAS
CULTIVARES DE MILHO (ZEA MAYS L.) SOB DUAS DOSES DE FÓSFORO EM
LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO DISTRÓFICO DO BIOMA CERRADO**

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

Orientador: Dr. Edvaldo Vieira Pacheco Sant’Ana

PALMAS

2025

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

G694a Goulart, Fellipe da Silva
 Avaliação do crescimento e o desenvolvimento inicial de duas cultivares de milho (ZEA MAYS L.) sob duas doses de fósforo em Latossolo vermelho-amarelo distrófico do bioma Cerrado / Fellipe da Silva Goulart. – Palmas, TO, 2025.
 39 p. : 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: Edvaldo Vieira Pacheco Sant’ana

1. Zea mays. 2. fósforo, latossolo. 3. adubação, híbrido. 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

FELLIPE DA SILVA GOULART

AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO E O DESENVOLVIMENTO INICIAL DE DUAS CULTIVARES DE MILHO (ZEA MAYS L.) SOB DUAS DOSES DE FÓSFORO EM LATOSSOLO VERMELHO - AMARELO DISTRÓFICO DO BIOMA CERRADO

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: 07 de agosto de 2025

BANCA AVALIADORA

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

Profa. Dra. Vanessa David Domingos Valença
IFTO - Campus Palmas - TO.

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

Palmas - TO, 07 de agosto de 2025.



Documento assinado eletronicamente por **Edvaldo Vieira Pacheco Santana, Coordenador**, em 07/08/2025, às 14:14, 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 07/08/2025, às 15:05, 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 **Vanessa David Domingos Valença, Servidor**, em 12/08/2025, às 08:39, 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 **2857409** e o código CRC **FCDD5AD3**.



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.iftto.edu.br — reitoria@iftto.edu.br

Referência: Processo nº 23236.015914/2025-73

SEI nº 2857409

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, por me manter firme e focado na busca por alcançar meus objetivos durante todos esses anos de estudo.

A minha mãe Rosinha, por me incentivar e sempre ajudar nos desafios que ocorreram durante meu processo de formação acadêmico.

A minha namorada por me apoiar nos momentos difíceis e me motivar a continuar.

Ao professor Dr. Edvaldo Vieira Pacheco Sant'Ana por ter me orientado e prestado todo o apoio necessário para a conclusão desse trabalho, pela sua paciência, e seus conselhos que foram de extrema importância para mim.

Aos meus amigos e acadêmicos Ana Clara Dionísio, Eduardo Brasileiro, Maiko França, Marcus Vinícius, Ellennara Ribeiro Rocha, Wanderley Junior, Fernanda Mascarenhas, Luis Henrik, Pedro Henrique Sousa, Rayllane Castro, Laura Sousa, Álysson Costa dos Santos, Cleyton César Tavares Filho, Leonardo Bento, Deborah Cardoso, Maria Eduarda Cordeiro, Mateus Rodrigues, Michelly Martins pela parceria e ajuda em todos os momentos que vivi durante esse período de formação.

Em especial agradeço ao meu amigo Mateus Santos, que me ajudou em todo o processo de desenvolvimento do trabalho. Agradeço também a minha amiga Jucelia Denise, que me orientou e aconselhou bastante no desenvolvimento do trabalho escrito.

A todos os meus professores, pelos ensinamentos passados a mim que me moldaram e me fizeram alguém melhor, não só no âmbito acadêmico, mas na vida de forma geral.

A todos os meus colegas de turma, pessoas que convivi durante todos esses anos de curso, pela companhia, pelas conversas, por estarem nos bons e maus momentos, sempre um ajudando o outro.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins Campus Palmas, essencial e de extrema importância em todo o meu processo de formação.

EPÍGRAFE

“Combati o bom combate, terminei a corrida,
gardei a fé”

2 Timóteo 4:7

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar o desenvolvimento inicial de duas cultivares de milho (*Zea mays* L.), sendo a variedade AG1051 e o híbrido GLYFOS RR, submetidas a duas doses de adubação fosfatada (0 e 100 kg. ha⁻¹ de P₂O₅), cultivadas em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico do IFTO – Campus Palmas. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com quatro tratamentos e cinco repetições. Foram analisadas as variáveis altura de planta, diâmetro do caule, número de folhas, teor relativo de clorofila (TRC) e massa seca da parte aérea (MSPA). Os resultados indicaram que a aplicação de fósforo promoveu incrementos significativos em todas as variáveis a partir dos 28 dias após a semeadura (DAS), com destaque para a cultivar AG1051, que apresentou maior acúmulo de biomassa. A limitação de fósforo no solo (< 0,59 mg.dm⁻³) e o déficit hídrico registrado durante parte do ciclo afetaram a absorção do nutriente, reforçando a importância do manejo adequado da adubação fosfatada para maximizar o crescimento inicial do milho em solos de baixa fertilidade do Cerrado.

Palavras-chave: *Zea mays*; fósforo; latossolo; adubação; híbrido.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the initial development of two maize (*Zea mays* L.) cultivars—one variety and one hybrid—under two phosphorus fertilization rates (0 and 100 kg. ha⁻¹ of P₂O₅), grown in a dystrophic Red-Yellow Latosol at IFTO – Palmas Campus. The experimental design was a randomized block with four treatments and five replications. The analyzed variables included plant height, stem diameter, number of leaves, relative chlorophyll content (SPAD), and shoot dry mass. Results showed that phosphorus fertilization significantly improved all variables from 28 days after sowing (DAS), with AG1051 standing out due to its higher biomass accumulation. The low phosphorus availability in the soil (< 0.59 mg.dm⁻³) and drought conditions during part of the growth cycle negatively affected nutrient uptake, highlighting the importance of proper phosphorus fertilization to enhance early maize growth in low-fertility tropical soils.

Keywords: *Zea mays*; phosphorus; early growth; Cerrado; fertilization.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Vista geral da área experimental composta por 20 parcelas utilizadas para a condução do experimento.....	20
Figura 2 - Adubação de base realizada nas parcelas no dia 27/02/2025.....	21
Figura 3 - Coleta de dados das parcelas realizada no dia 11/03/2025.....	22
Figura 4 - Coleta da parte aérea das plantas de milho no dia 26/03/2025.....	23
Figura 5 - Adubação de cobertura das parcelas no dia 26/03/2025.....	23
Figura 6 - Coleta da parte aérea das plantas de milho no dia 23/04/2025.....	24
Figura 7 - Determinação do teor relativo de clorofila (TRC) em unidade SPAD na folha com clorofilômetro.....	24
Figura 8 - Material coletado das parcelas secando em estufa de ventilação forçada à 65°C por 48 horas.....	25
Figura 9 - Deficiência nutricional de P na parte aérea do milho na fase vegetativa V4 (20 dias após a semeadura das sementes (DAS)).....	26
Gráfico 1 - Chuva acumulada mensal janeiro a maio/2025.....	27
Figura 10 - Parcelas não apresentaram diferenças significativas no estágio inicial de crescimento V4 (20 DAS) das plantas de milho.....	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Número de plantas (NP), altura de planta (AP), diâmetro do caule (DC), número de folhas (NF) e teor relativo de clorofila (TRC) das cultivares de milho sob duas doses de P aos 13 DAS.....29

Tabela 2 - Número de plantas (NP), altura de planta (AP), diâmetro do caule (DC), número de folhas (NF), teor relativo de clorofila (TRC) e massa seca da parte aérea (MSPA) das cultivares de milho sob duas doses de P aos 28 DAS.....31

Tabela 3 - Número de plantas (NP), altura de planta (AP), diâmetro do caule (DC), número de folhas (NF), teor relativo de clorofila (TRC) e massa seca da parte aérea (MSPA) das cultivares de milho sob duas doses de P aos 56 dias após a semeadura (DAS).....31

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	12
2.1 Milho mercado global.....	12
2.2 Milho no Brasil.....	14
2.3 Fósforo de forma geral.....	15
2.4 Fósforo na cultura do milho.....	16
2.5 Milho Variedade.....	17
2.6 Milho Híbrido.....	18
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	19
3.1 Caracterização do Local.....	19
3.2 Instalação e Condução do Experimento.....	19
3.3 Características Avaliadas.....	21
3.4 Análise Estatística dos Dados.....	25
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	25
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	33
REFERÊNCIAS.....	34

1. INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é uma planta da família Poaceae, originária do teosinto (*Zea mays* ssp. mexicana), cultivada há mais de 8.000 anos. Hoje, é amplamente cultivado em diversos países, incluindo Estados Unidos, China, Índia, Brasil, França, Indonésia e África do Sul. Devido às suas altas qualidades nutricionais, o milho é utilizado na alimentação humana e animal, fornecendo quase todos os aminoácidos essenciais (SILVA, 2019).

Para aumentar a produtividade do milho no Brasil, é essencial utilizar a adubação fosfatada, devido à baixa disponibilidade de fósforo (P) nos solos latossolos típicos do Cerrado. Essa deficiência ocorre pela escassez de P nos materiais de origem dos solos e pelos processos de adsorção e precipitação com óxidos de ferro e alumínio em solos altamente intemperizados, formando fosfatos de cálcio insolúveis (VITORINO et al., 2020).

O P é fundamental para o desenvolvimento das plantas, participando de processos como a fotossíntese, a divisão celular e a transferência de energia. Além disso, é componente essencial de ácidos nucleicos, como o DNA e o RNA, que são responsáveis pela transmissão genética e pela construção de proteínas vitais (BORGES, 2018). Neste sentido, vale ressaltar que o P é um nutriente essencial para o milho, influenciando diretamente sua produtividade. Embora a planta tenha uma necessidade menor de P em comparação com nitrogênio e potássio, a eficiência de absorção do P pelo milho é limitada devido à forte retenção do nutriente no solo. Essa retenção ocorre devido à interação do P com componentes do solo, como alumínio, ferro e cálcio, formando compostos que dificultam sua disponibilidade para as plantas (ALMEIDA, 2019).

Devido à sua absorção principalmente por difusão e à tendência de formar compostos pouco solúveis no solo, é necessário aplicar doses elevadas de P, especialmente em áreas com histórico de deficiência desse nutriente. Essa necessidade de altas quantidades é paradoxal, considerando que o P é um dos macronutrientes menos exigidos pelas plantas (DE OLIVEIRA et al., 2022).

Para que o milho atinja seu potencial produtivo, é essencial considerar tanto fatores bióticos, como a qualidade genética das sementes, quanto fatores abióticos, como solo, clima e temperatura. A genética das sementes pode influenciar significativamente o rendimento da lavoura, com estimativas indicando que até 50% do rendimento final pode ser atribuído às características genéticas das sementes utilizadas. Portanto, a escolha adequada das sementes, alinhada às condições ambientais específicas, é fundamental para o sucesso na produção de milho (RUFF et al., 2023).

A escolha de sementes com alta capacidade produtiva é fundamental para maximizar o rendimento das lavouras. No milho, por exemplo, há variações significativas entre diferentes cultivares na capacidade de crescer em solos com deficiência de P. Essas diferenças influenciam diretamente a eficiência na absorção e utilização do P, essencial para o desenvolvimento das plantas. Portanto, selecionar variedades híbridas que demonstram maior eficiência no aproveitamento do P pode resultar em melhor desempenho produtivo, especialmente em solos com limitações desse nutriente (RUFF et al., 2023).

O manejo do solo tem um papel fundamental na forma como o P se comporta e está disponível para as plantas. Além disso, a forma como os fertilizantes fosfatados são aplicados no solo também faz diferença. Como o P tem baixa mobilidade, escolher bem a estratégia de aplicação pode impactar diretamente na produtividade das lavouras. Muitos estudos mostram que a maneira como o fertilizante é distribuído afeta não só a disponibilidade do nutriente no solo, mas também o desenvolvimento das raízes das plantas (BASTIANI, 2024).

Nesse contexto, para que uma planta se desenvolva de forma saudável e atinja todo o seu potencial genético —cresça de forma vigorosa e com elevado potencial produtivo— é essencial que ela receba uma adubação adequada. Isso significa fornecer os nutrientes certos, principalmente os macronutrientes, que estão diretamente ligados ao bom desempenho das plantas, especialmente em regiões como o Cerrado, que apresenta por natureza solos pobres em nutrientes, principalmente P, além de uma acidez elevada (RIBEIRO et al., 2017).

Este estudo teve como objetivo avaliar o crescimento e o desenvolvimento inicial de duas cultivares de milho (*Zea mays* L.) sob duas doses de fósforo em latossolo vermelho-amarelo distrófico da área experimental de Forragicultura do IFTO-Campus Palmas. O trabalho visa analisar como duas doses diferentes de P podem influenciar no crescimento inicial de plantas de milho com diferentes aptidões em um solo típico do Cerrado. A avaliação dos fatores morfológicos das plantas de milho, permitirá uma compreensão detalhada a respeito de como a aplicação de P adequada pode contribuir para o bom desenvolvimento e consequentemente boa produtividade das plantas de milho, além de um melhor aproveitamento financeiro e qualidade do solo para o próximo plantio.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Milho mercado global

O milho (*Zea mays* L.), pertencente à família *Gramineae/Poaceae*, tem origem no teosinto, uma planta ancestral nativa da região do México, mais especificamente da subespécie

Zea mays ssp. mexicana. Cultivado há mais de 8 mil anos, o milho se espalhou pelo mundo graças à sua incrível capacidade de adaptação, refletida na ampla diversidade de genótipos disponíveis. Essa variabilidade genética permite que ele se desenvolva em diferentes climas e solos, tornando-se uma das culturas agrícolas mais importantes e versáteis da história humana (DA SILVA *et al.*, 2020).

De acordo com Contini *et al.* (2019), embora o milho seja a principal cultura agrícola mundial e uma importante commodity, apenas 14% de sua produção foi destinada ao comércio internacional em 2017/18, percentual significativamente inferior ao da soja, que alcançou 45,2%. Nesse contexto, as exportações de milho estiveram concentradas em quatro países — Estados Unidos, Brasil, Argentina e Ucrânia — responsáveis por 86,2% do total exportado.

Conforme projeções recentes da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO, 2024), a utilização mundial de cereais deverá atingir 2.868 milhões de toneladas na safra 2024/25, representando um acréscimo de 0,9% em relação à safra anterior. Esse aumento reflete, sobretudo, a elevação na demanda por grãos secundários — grupo que inclui o milho, a cevada e o sorgo — cuja estimativa de utilização foi ajustada para 1.534 milhões de toneladas, o que corresponde a um crescimento de 1,1% em comparação à campanha de 2023/24. Essa tendência de crescimento contínuo reforça a relevância dos grãos secundários no suprimento alimentar global e na formulação de rações animais, destacando o papel central do milho como uma das principais commodities agrícolas em escala mundial.

Nesse contexto de crescente demanda global, se destaca a relevância do milho na alimentação animal. Esse cereal está entre os mais cultivados mundialmente, é reconhecido por sua ampla diversidade genética e por espécies adaptadas a diferentes condições climáticas e de solo. Embora tenha aplicação culinária, a maior parte da produção (53%) é voltada à formulação de rações, enquanto apenas 2% atende ao consumo humano direto (COELHO, 2021). No caso específico da pecuária leiteira, a utilização do milho na forma de silagem representa uma estratégia eficiente, ao possibilitar o aproveitamento integral do grão e favorecer a geração de produtos lácteos com maior valor agregado (SCHELER; CAVICHIOLI, 2021).

Segundo Faustino *et al.* (2020), a ensilagem de grão úmido, apesar de permitir a antecipação da colheita do milho, pode apresentar limitações fermentativas devido à baixa umidade e teor de açúcares. Como alternativa, a reidratação dos grãos com água viabiliza o ajuste da umidade ideal, garantindo melhor fermentação e conservação. Além disso, essa prática possibilita a produção de silagem durante todo o ano, com grãos adquiridos e processados na própria propriedade.

Na alimentação humana, o milho apresenta múltiplas funcionalidades, sendo as formas predominantes de processamento do milho para uso alimentar e industrial a moagem a seco (principais produtos obtidos são canjicas, farinhas e fubás) e moagem úmida (principais produtos obtidos são o amido, xaropes, álcool e outros produtos químicos e farmacêuticos derivados da fermentação). Adicionalmente, óleo, fibras e proteínas também são subprodutos desse processo, porém as proteínas e fibras são utilizadas de forma primária na alimentação animal (STRAZZI, 2015).

No âmbito da sustentabilidade, o milho também possui sua relevância, servindo como matéria prima para a produção de biodiesel. O biodiesel, por ser derivado de fontes renováveis como diversas oleaginosas, representa uma alternativa sustentável aos combustíveis fósseis. Além disso, sua utilização contribui para a redução dos impactos ambientais, especialmente no que se refere à emissão de gases poluentes associados ao efeito estufa (DE FREITAS *et al.*, 2022).

2.2 Milho no Brasil

O milho (*Zea mays*) é um dos principais cereais cultivados no Brasil, ocupando a segunda posição em volume de produção, atrás apenas da soja. Pertencente à família das gramíneas, essa cultura desempenha papel estratégico tanto na agricultura quanto em diversos segmentos industriais. Sua elevada adaptabilidade e valor nutricional fazem do milho uma base alimentar fundamental para humanos e animais, além de matéria-prima para a fabricação de bebidas, biocombustíveis, bioplásticos e outros produtos de alto valor agregado (SILVA *et al.*, 2020).

Reconhecida por sua elevada relevância econômica e tecnológica, a cultura do milho apresenta alta produtividade e ampla aplicabilidade na indústria alimentícia e em setores de alta tecnologia. No Brasil, destaca-se principalmente nas regiões Sul e Nordeste, onde é cultivado ao longo de todo o ano, impulsionando a cadeia produtiva agroindustrial (JEAN *et al.*, 2025).

A crescente demanda global por milho tem favorecido a ampliação da participação brasileira no comércio internacional, sobretudo em virtude da reorientação da produção dos Estados Unidos — principal produtor mundial — para o setor de biocombustíveis. Paralelamente, a adoção de tecnologias agrícolas avançadas, a expansão da área cultivada e o aumento da produtividade têm fortalecido significativamente a competitividade do milho brasileiro no mercado global (DE SOUZA *et al.*, 2018).

Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2022), em 2021, a produção de milho respondeu por 15,7% do valor total da produção agrícola nacional, sendo

superada apenas pela soja, com 46%. Entre 2001 e 2020, a cadeia produtiva do milho gerou R\$715 bilhões em valor adicionado, o que equivale a 9% do total agregado pela agropecuária nesse período, evidenciando sua importância para o setor.

No contexto dos biocombustíveis, o milho tem assumido protagonismo como matéria-prima na produção de etanol, especialmente em estados como o Mato Grosso. A abundância de grãos, aliada à expansão de usinas especializadas, têm contribuído para consolidar essa cultura como uma alternativa energética viável e economicamente atrativa (CORASSA *et al.*, 2021).

Os avanços na produtividade do milho refletem o impacto positivo da pesquisa agropecuária, notadamente sob a liderança da Embrapa, além da atuação de políticas públicas voltadas ao fortalecimento da extensão rural. Esses resultados também são decorrentes do uso mais racional dos recursos, da incorporação de novas áreas produtivas e do investimento contínuo em tecnologias adaptadas às condições edafoclimáticas do Brasil (ALMEIDA e SPOLADOR, 2024).

2.3 Fósforo na dinâmica do solo

O fósforo (P) é um macronutriente essencial ao crescimento, desenvolvimento e produtividade das culturas agrícolas. Atua em processos vitais como fotossíntese, respiração, divisão celular, além do armazenamento e da transferência de energia, especialmente por meio do ATP, sendo fundamental para o metabolismo e o funcionamento fisiológico das plantas (PINTO *et al.*, 2020).

Nas últimas décadas, a instabilidade na oferta de fertilizantes fosfatados tem se destacado no cenário agrícola internacional, especialmente em razão das oscilações nos preços da rocha fosfática. Esse insumo teve um aumento expressivo de valor em 2008 e voltou a apresentar elevações significativas nos anos de 2021 e 2022, influenciado por uma série de fatores geopolíticos e econômicos. Dentre esses, se destacam os conflitos entre países produtores e questões relacionadas à demanda por energia, que impactaram diretamente a cadeia global de fornecimento de fertilizantes (LANG; MCKEE, 2022).

No solo, o fósforo está presente em diferentes formas, incluindo frações inorgânicas, orgânicas lábeis, moderadamente lábeis e não lábeis ou recalcitrantes, cuja disponibilidade é variável ao longo do tempo em razão de processos físico-químicos e biológicos. A dinâmica entre essas formas é altamente complexa, sendo influenciada por características do solo, como sua textura, pelos sistemas de manejo adotados, pelas adubações aplicadas — minerais ou orgânicas — e por fatores ambientais, tanto bióticos quanto abióticos (BEZERRA *et al.*, 2015).

A fixação de fósforo no solo ocorre principalmente através de interações com elementos como ferro (Fe), alumínio (Al) e cálcio (Ca), presentes na solução do solo, bem como com os óxidos e hidróxidos de Fe e Al. Esse processo é particularmente intenso em solos argilosos e intemperizados, como os latossolos. Em solos tropicais, a disponibilidade de P para as plantas é limitada devido à forte adsorção do nutriente aos óxidos de ferro e alumínio, apesar de seu teor total poder atingir valores de até 1.800 mg kg⁻¹. Nesses ambientes, a única maneira de atender às exigências nutricionais das plantas é por meio da aplicação de fertilizantes fosfatados (JÚNIOR; DE SOUZA DIAS; RIBEIRO, 2024).

No Brasil, as reservas de rochas fosfáticas são limitadas, o que leva à importação de uma parte significativa dos fertilizantes inorgânicos de fósforo utilizados na agricultura. A escassez das reservas minerais de fósforo em nível global, com uma estimativa de durabilidade de apenas algumas décadas, representa um desafio iminente para a sustentabilidade da agricultura mundial (DA SILVA MAIA, 2023).

Diante da relevância do milho na economia nacional, torna-se essencial adotar práticas que aumentem a eficiência no uso de nutrientes. Nesse sentido, adubos orgânicos biológicos e fertilizantes de liberação controlada destacam-se por melhorar a disponibilidade de fósforo no solo, reduzir perdas e promover maior aproveitamento das plantas (ROCHA *et al.*, 2024).

A crescente preocupação com o uso eficiente dos fertilizantes fosfatados na agricultura moderna exige uma compreensão aprofundada do comportamento do fósforo no solo, especialmente em relação às práticas culturais e métodos de manejo. Esse conhecimento é crucial, particularmente em solos com grandes deficiências deste nutriente, como ocorre nos solos do cerrado (BARBOSA *et al.*, 2015).

2.4 Fósforo na cultura do milho

O milho, como cultura de ampla importância agronômica, depende de um suprimento adequado de nutrientes, em especial o P, absorvido principalmente pelas raízes. Esse macronutriente é essencial para os processos metabólicos da planta, atuando na formação de ATP e influenciando diretamente o crescimento e a produtividade (ZANIVAN *et al.*, 2024).

A produtividade do milho também está relacionada à qualidade física das espigas, como o emparelhamento dos grãos e o peso, aspectos decisivos para sua valorização comercial (PINHEIRO *et al.*, 2021). Além disso, a seleção de materiais genéticos adaptados a solos de baixa fertilidade pode aumentar a eficiência da adubação fosfatada, permitindo melhor aproveitamento do nutriente disponível (OLIVEIRA *et al.*, 2021).

Apesar da importância do fósforo para o pleno desenvolvimento do milho, fertilizantes convencionais apresentam rápida solubilização no solo, o que pode limitar sua eficiência agrônômica. No Brasil, diversas fontes fosfatadas são utilizadas, incluindo fosfatos acidulados, fosfatos de amônio, termofosfatos e fosfatos naturais, tanto nacionais quanto importados (OTONI, 2024).

Diante da baixa disponibilidade de fósforo nos solos do Cerrado e da elevada demanda por esse nutriente em culturas como o milho, torna-se necessário buscar estratégias que melhorem sua eficiência de uso. Nesse contexto, destacam-se os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs), que estabelecem associações simbióticas com as raízes, promovendo maior crescimento radicular e eficiência na absorção de fósforo e outros nutrientes. Essa interação tem se mostrado eficaz para o desenvolvimento e a resiliência das plantas frente a estresses nutricionais e ambientais (BISCA *et al.*, 2023).

Complementarmente, o uso de rizobactérias promotoras de crescimento de plantas (RPCPs), como *Pseudomonas fluorescens* e *Burkholderia picketti*, tem sido apontado como alternativa promissora para aumentar a eficiência da adubação fosfatada. Essas bactérias favorecem a solubilização de fosfatos inorgânicos e estimulam o crescimento radicular, especialmente quando associadas a fosfatos naturais. Tal associação contribui não apenas para a maior disponibilidade de fósforo, mas também para a sustentabilidade e competitividade dos sistemas produtivos, além de incentivar o desenvolvimento de tecnologias biológicas no manejo nutricional do milho (CHAVES, 2024).

2.5 Milho Variedade

As variedades de milho, tradicionalmente desenvolvidas por agricultores familiares por meio de práticas empíricas como o cruzamento entre cultivares antigas e recentes e a seleção de plantas adaptadas às condições locais, constituem um importante patrimônio genético. Essas variedades, frequentemente denominadas variedades crioulas ou de polinização aberta (VPA), apresentam ampla variabilidade genética, rusticidade, adaptação a diferentes ambientes e baixa exigência no uso de insumos (BATISTA *et al.*, 2020).

Nas últimas três décadas, se observa uma significativa substituição das tradicionais variedades crioulas de milho — também conhecidas como variedades locais de polinização aberta — por cultivares híbridas, especialmente os híbridos simples e triplos. Embora esses híbridos apresentem maior potencial produtivo, sua adoção exige maior aporte tecnológico, como o uso intensivo de adubação, irrigação e defensivos agrícolas, o que os torna menos

acessíveis e adaptáveis às condições de agricultores familiares e a sistemas de cultivo com menor disponibilidade de recursos (BIANCHETTO *et al.*, 2017).

De acordo com Eicholz *et al.* (2016) devido às limitações financeiras, agricultores familiares muitas vezes não conseguem explorar plenamente o potencial de sementes híbridas e transgênicas, por falta de condições ideais de cultivo. Em contraste, cresce a demanda por sementes de polinização aberta, especialmente entre produtores ecológicos, alinhada à legislação de orgânicos que exige o uso de sementes compatíveis com sistemas não transgênicos.

Nesse contexto, o uso de sementes de variedades crioulas de milho, ou de polinização aberta (VPA), se configura como uma alternativa viável e estratégica para a redução dos custos de produção, especialmente em contextos de agricultura familiar. Esses materiais genéticos, por sua rusticidade, bom potencial produtivo, ampla adaptabilidade a diferentes condições de clima e solo, além da tolerância a baixos níveis de insumos, permitem que os próprios agricultores multipliquem suas sementes para safras futuras, promovendo maior autonomia e sustentabilidade no manejo agrícola (XAVIER *et al.*, 2021).

2.6 Milho Híbrido

O milho híbrido é obtido a partir do cruzamento entre linhagens parentais previamente selecionadas, aproveitando-se o vigor híbrido presente na primeira geração. Sua produção requer técnicas específicas, que envolvem desde o planejamento do plantio de plantas masculinas e femininas, em campos exclusivos, até o beneficiamento adequado das sementes. Em função da crescente demanda ao longo dos anos, a produção e comercialização de sementes híbridas se consolidou como uma atividade economicamente promissora no setor agrícola (SOBRINHO; WETZEL, 2024).

Os híbridos de milho disponíveis no mercado são classificados em simples, duplos e triplos, conforme o número de linhagens parentais utilizadas no cruzamento. Híbridos simples apresentam elevado potencial produtivo, mas demandam condições ambientais favoráveis e maior nível tecnológico. Já os híbridos duplos oferecem maior estabilidade e menor custo, sendo mais indicados para sistemas com recursos limitados. Os triplos, por sua vez, são mais suscetíveis a estresses ambientais, o que geralmente se reflete em menor produtividade em relação aos híbridos simples (SILVA *et al.*, 2016).

O avanço da produtividade do milho nas últimas décadas está fortemente associado à interação entre o melhoramento genético e o manejo agrícola, que juntos respondem por aproximadamente 50% desse progresso. Entre os fatores determinantes, se destacam a seleção

de cultivares mais tolerantes a estresses abióticos e resistentes a pragas e doenças, bem como alterações morfofisiológicas que otimizaram o crescimento, o desenvolvimento e a distribuição dos fotoassimilados, resultando em maior rendimento (MIRANDA; BORÉM; FRITSCHENETO, 2021).

A elevada produtividade do milho em diversas regiões decorre da adoção integrada de tecnologias agrícolas, como a correção e adubação do solo, o sistema de plantio direto, o controle eficiente de plantas daninhas, pragas e doenças, além do uso de sementes com alta qualidade genética, com destaque para as geneticamente modificadas (EICHOLZ *et al.*, 2016).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Caracterização do Local

O experimento foi realizado na área experimental de forragicultura do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins – *Campus Palmas* (IFTO), situado no município de Palmas, estado do Tocantins. A área está localizada nas coordenadas geográficas de 10°12'46'' de latitude sul e 48°21'37'' de longitude oeste, com altitude média de 330 metros. De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima predominante na região é do tipo Aw, caracterizado como tropical quente e úmido. com uma média anual de precipitação em torno de 1500 mm, concentrada entre os meses de outubro e maio. O experimento foi conduzido entre os meses de fevereiro e maio de 2025.

3.2 Instalação e Condução do Experimento

A instalação do experimento foi realizada em uma área de uso de 2 anos consecutivos para cultura de forrageiras (capim massai, *Megathyrsus maximus* cv, massai), onde foram feitas a correção do solo com calcário dolomítico (PRNT 92,2%) e adubação de base utilizando fertilizante mineral NPK 05-25-15. Posteriormente, no ano de 2025, foi realizado o revolvimento do solo na área com o intuito de incorporar melhor os nutrientes presentes no mesmo, além de mais uma aplicação de calcário (575 kg) nos dias 12 a 14 de fevereiro/2025. A semeadura ocorreu no dia 26/02/2025, onde se utilizou sementes de milho híbrido (cv. AG1051) e milho híbrido (cv. GLYFOS RR).

O experimento adotou o delineamento experimental em blocos casualizados (DBC), com quatro tratamentos e cinco repetições, totalizando 20 parcelas. Cada parcela mediu 2,4 m × 2,4 m, contendo quatro linhas de plantio espaçadas entre si por 0,8 m. Em cada linha foram semeadas 12 sementes. Para a delimitação das parcelas e implantação das sementes, foram utilizados equipamentos como enxadas, trena métrica de 5 m, linhas de marcação e estacas para identificação das parcelas que receberam adubação fosfatada. As duas linhas centrais de cada

parcela foram destinadas à coleta de dados, enquanto as linhas das extremidades funcionaram como bordaduras, garantindo maior confiabilidade nos resultados experimentais (Figura 1).

Figura 1. Vista geral da área experimental composta por 20 parcelas utilizadas para a condução do experimento.



Fonte: Autor, 2025

Os tratamentos foram definidos com base em duas cultivares de milho: o híbrido transgênico para produção de grãos (cv. GLYFOS RR) e um híbrido convencional para colheita de milho verde (cv. AG1051), com e sem a aplicação de fósforo (P_2O_5). Os tratamentos foram:

PRODUÇÃO DE GRÃOS (cv. GLYFOS RR):

- **T1 (Parcelas 1 a 5)** – sem aplicação de P_2O_5 (testemunha), com adição de 20 kg. ha⁻¹ de N de ureia (45% de N - 3,6 g.m⁻¹) e de 90 kg. ha⁻¹ de K₂O de cloreto de potássio (60% de K - 7,2g.m⁻¹);
- **T2 (Parcelas 6 a 10)** – com aplicação de 100 kg. ha⁻¹ de P_2O_5 de superfosfato simples (20% de P – 40 g.m⁻¹) + 20 kg. ha⁻¹ de N de ureia (45% de N - 3,6 g.m⁻¹) + 90 kg. ha⁻¹ de K₂O de cloreto de potássio (60% de K - 7,2g.m⁻¹).

PRODUÇÃO DE MILHO VERDE (cv. AG1051):

- **T3 (Parcelas 11 a 15)** – sem aplicação de P_2O_5 (testemunha), com adição de 20 kg. ha⁻¹ de N de ureia (45% de N - 3,6 g.m⁻¹) e de 90 kg. ha⁻¹ de K₂O de cloreto de potássio (60% de K - 7,2g.m⁻¹);
- **T4 (Parcelas 16 a 20)** – com aplicação de 100 kg. ha⁻¹ de P_2O_5 de superfosfato simples (20% de P – 40 g.m⁻¹) + 20 kg. ha⁻¹ de N de ureia (45% de N - 3,6 g.m⁻¹) + 90 kg. ha⁻¹ de K₂O de cloreto de potássio (60% de K - 7,2g.m⁻¹).

Um dia após a semeadura das sementes (27/02/2025) ocorreu a adubação de base, na qual em todas as parcelas do experimento foi feito a abertura de sulcos paralelos às linhas de plantio e aplicado 20 kg. ha⁻¹ de N de ureia (45% de N - 3,6 g.m⁻¹), 90 kg. ha⁻¹ de K₂O de cloreto de potássio (60% de K - 7,2g.m⁻¹) além de 100 kg. ha⁻¹ de P₂O₅ de superfosfato simples (20% de P – 40 g.m⁻¹) apenas nas parcelas dos tratamentos T2 e T4 (figura 2).

Figura 2. Adubação de base realizada nas parcelas no dia 27/02/2025.



Fonte: Autor, 2025

3.3 Características Avaliadas

Durante o desenvolvimento da cultura, foram realizadas coletas e observações periódicas nas parcelas, com o objetivo de avaliar o efeito da adubação fosfatada sobre os seguintes parâmetros:

- Altura de plantas (cm);
- Diâmetro do caule (mm);
- Número de folhas por planta;
- Massa seca da parte aérea (g.m⁻¹);
- Produtividade (kg. ha⁻¹);
- Número de plantas (un);
- Teor relativo de clorofila (TRC) em unidade SPAD.

Essas variáveis permitiram observar o desempenho fisiológico e produtivo das plantas sob diferentes condições de adubação fosfatada.

No dia 11/03/2025 houve a primeira análise das variáveis de plantas de milho. Utilizando uma régua de 60 cm, paquímetro e um clorofilômetro foram analisadas características das parcelas, como: número de plantas; altura da planta; diâmetro do caule; número de folhas e TRC (teor relativo de clorofila). Na referida data não foi realizada a coleta

da parte aérea das plantas visto que as mesmas não apresentavam a altura mínima necessária (figura 3).

Figura 3. Coleta de dados das parcelas realizada no dia 11/03/2025.



Fonte: Autor, 2025

No dia 26/03/2025 transcorreu a segunda análise das variáveis de plantas de milho, onde foi analisada as mesmas características do dia 11/03/2025, também foi realizada a coleta da parte aérea das plantas (figura 4) juntamente com a adubação de cobertura, na qual foi aplicada apenas 20 kg. ha⁻¹ de N de ureia (45% de N - 3,6 g.m⁻¹) em todas as parcelas do experimento (figura 5). Com o uso de uma régua graduada de 60 cm, foram coletadas as plantas de milho num comprimento linear de 50 cm, armazenadas em sacos de papel identificados com o tratamento e número da parcela e levados para secagem em estufa de ventilação forçada à 65°C por 48 horas. Posteriormente, a esse período houve a pesagem dessas amostras no laboratório de Fitotecnia (sala 191 do bloco 13) na balança analítica e a anotação desses dados em planilha digital.

Figura 4. Coleta da parte aérea das plantas de milho no dia 26/03/2025.



Fonte: Autor, 2025

Figura 5. Adubação de cobertura das parcelas no dia 26/03/2025.



Fonte: Autor, 2025

Por fim, no dia 23/04/2025 sucedeu a última análise das variáveis de plantas de milho. Todas as etapas realizadas nesse dia foram semelhantes às feitas no dia 26/03. No período entre as coletas, foram realizadas diagnoses visuais das parcelas com o intuito de avaliar deficiências nutricionais visíveis a olho nu, principalmente de fósforo (figura 6).

Figura 6. Coleta da parte aérea das plantas de milho no dia 23/04/2025.



Fonte: Autor, 2025

Figura 7. Determinação do teor relativo de clorofila (TRC) em unidade SPAD na folha com clorofilômetro.



Fonte: Autor, 2025

Figura 8. Material coletado das parcelas secando em estufa de ventilação forçada à 65°C por 48 horas.



Fonte: Autor, 2025

A semeadura foi conduzida de forma manual, assegurando uniformidade na distribuição das sementes ao longo das linhas de plantio. Durante o ciclo da cultura, foram realizados tratos culturais conforme as recomendações agronômicas para o milho, a fim de manter condições ideais para o desenvolvimento das plantas. Essas práticas visaram minimizar interferências externas, permitindo que os efeitos dos tratamentos com diferentes doses de adubação fosfatada fossem observados com maior precisão. Dessa forma, foi possível avaliar o comportamento fisiológico, e o crescimento vegetativo das plantas de milho sob diferentes disponibilidades de P no solo, contribuindo para a análise da eficiência agronômica dos tratamentos testados.

3.4 Análise Estatística dos Dados

Os dados referentes à produção de massa seca, altura e teor de clorofila foram analisados por meio de análise de variância (ANOVA). Quando houve significância estatística, as médias foram comparadas utilizando o teste de Tukey, com nível de significância de 5% de probabilidade, com o objetivo de identificar quais tratamentos apresentaram diferenças estatísticas entre si. Seguindo a metodologia descrita por Pimentel Gomes (2023), foram realizadas as análises em planilha eletrônica do Microsoft Excel 2021.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em 2024, Pereira (2025) realizou a análise das amostras de solo da área experimental de forragicultura do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, *Campus Palmas*. Os resultados indicaram deficiência em macronutrientes, especialmente fósforo (P), com teores inferiores a $0,59 \text{ mg.dm}^{-3}$ (Figura 9), conforme análise pelo método Mehlich⁻¹. Segundo Rein *et al.* (2022), para se alcançar produtividades acima de 80% em gramíneas como a cana-de-açúcar, são recomendados valores $\geq 15 \text{ mg.dm}^{-3}$ (método da resina) e $> 8 \text{ mg.dm}^{-3}$ para solos argilosos analisados pelo método Mehlich⁻¹. Embora o dado seja referente à cana, a comparação sugere que o solo onde o experimento foi conduzido apresenta níveis de P bastante abaixo dos ideais para o bom desenvolvimento de gramíneas como o milho, o que pode ter influenciado significativamente os resultados observados (Figura 1).

Figura 9. Deficiência nutricional de P na parte aérea do milho na fase vegetativa V4 (20 dias após a semeadura das sementes (DAS)).

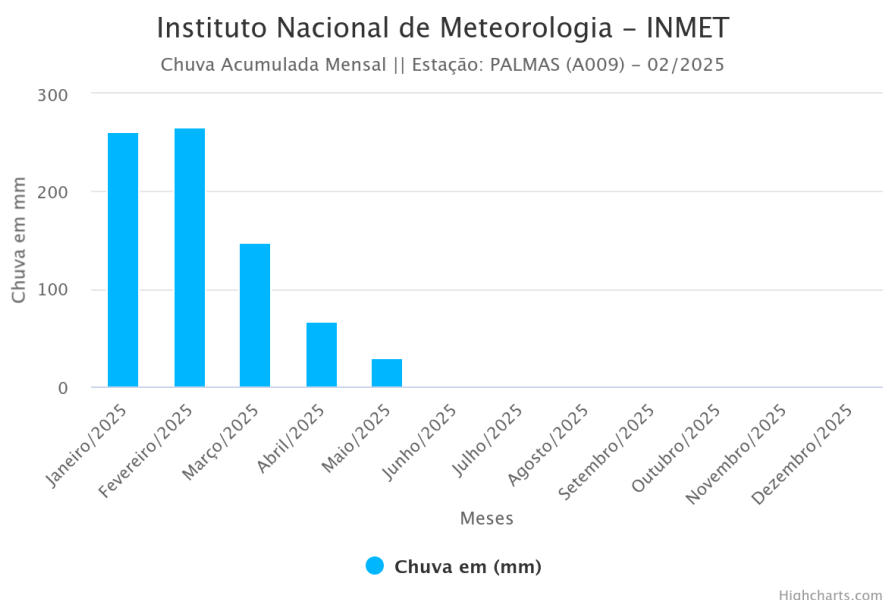


Fonte: Autor, 2025

Outro fator que possivelmente influenciou os resultados deste estudo foi o regime pluviométrico registrado em Palmas (TO) nos meses que antecederam e coincidiram com o desenvolvimento inicial das plantas de milho. Em fevereiro de 2025, o município registrou 265,6 mm de precipitação, volume 2,15% superior à média histórica de 260 mm para o mês, favorecendo a disponibilidade de água no solo e beneficiando a germinação e o estabelecimento das plântulas (INMET, 2025a). Contudo, em março, foi observado uma redução significativa

nas chuvas, com um total de 156 mm, representando um déficit de 40% em relação à média climatológica (INMET, 2025b). Essa queda pode ter começado a afetar negativamente a absorção de nutrientes, especialmente o P, essencial ao crescimento radicular (MAHMOOD *et al.*, 2025). Em abril, o déficit hídrico se intensificou, com apenas 70,4 mm de precipitação, valor 109,4 mm abaixo da média histórica de 179,8 mm (INMET, 2025c). A escassez de água nesse estágio crítico do desenvolvimento pode ter limitado a mobilidade e disponibilidade do P no solo, comprometendo o crescimento inicial das plantas, mesmo nas parcelas que receberam doses elevadas do nutriente. Assim, a variabilidade climática — marcada por um início chuvoso seguido por acentuada redução das precipitações — provavelmente influenciou de maneira significativa os resultados deste experimento (gráfico 1).

Gráfico 1. Chuva acumulada mensal janeiro a maio/2025.



Fonte: INMET (2025c)

Na primeira avaliação (1ª coleta), realizada aos 13 dias após a semeadura (DAS), não foram observadas diferenças estatisticamente significativas (Figura 10) ($p > 0,05$) para a maioria das variáveis analisadas: número de plantas (NP), altura da planta (AP), diâmetro do caule (DC), número de folhas (NF) e teor relativo de clorofila (TRC) (Tabela 1). A ausência de significância pode ser atribuída ao estágio inicial de desenvolvimento das plantas, quando os efeitos da adubação fosfatada ainda não se manifestaram plenamente, especialmente em solos com alguma disponibilidade residual de P (VALADÃO *et al.*, 2016). Em estágios iniciais, o sistema radicular ainda está pouco desenvolvido, o que limita a absorção eficiente de nutrientes

aplicados no solo, especialmente aqueles com baixa mobilidade, como o P (VALADARES *et al.*, 2012).

Figura 10. Parcelas não apresentaram diferenças significativas no estágio inicial de crescimento V4 (20 DAS) das plantas de milho.



Fonte: Autor, 2025

Apesar da não significância, foi observada uma tendência de aumento no TRC nas plantas adubadas (Tabela 1). A cultivar (cv) AG1051 com P apresentou o maior valor médio (35,06 SPAD), enquanto a cv. GLYFOS RR teve o menor (28,80 SPAD). Esse aumento no teor de clorofila pode estar relacionado à maior disponibilidade de P, essencial na fotossíntese e na produção de energia metabólica (TAIZ *et al.*, 2017).

De acordo com Silva *et al.*, (2016) embora os híbridos de milho sejam geralmente associados a maior vigor inicial, não foram observadas diferenças significativas em relação à (cv) AG1051 nesse estágio, sugerindo comportamento semelhante na emergência e no estabelecimento inicial sob as condições avaliadas. No mesmo trabalho foi constatado que o vigor das sementes é determinante para uma emergência rápida e satisfatória, influenciando diretamente o crescimento inicial das plântulas. Enquanto na avaliação da população de plantas e o desempenho produtivo de híbridos de milho oriundos de sementes com diferentes níveis de vigor, era esperado que sementes de menor vigor apresentassem menor porcentagem de emergência, reduzindo o estande inicial. Esse efeito, porém, não foi confirmado, possivelmente devido à ausência de estresses ambientais durante a semeadura e à pequena diferença entre os

níveis de vigor dos materiais avaliados, o que pode ter minimizado impactos sobre a população final de plantas (SILVA *et al.*, 2016).

Assim, além do fator genético, aspectos relacionados às condições edafoclimáticas e à nutrição mineral, como a disponibilidade de P no solo, também podem desempenhar papel fundamental no crescimento inicial do milho (HARGER *et al.*, 2007), justificando a avaliação do desempenho das plantas sob diferentes doses desse nutriente.

Tabela 1. Número de plantas (NP), altura de planta (AP), diâmetro do caule (DC), número de folhas (NF) e teor relativo de clorofila (TRC) das cultivares de milho sob duas doses de P aos 13 DAS. Nível de significância: *: 5%; e ns: não significativo. Letras iguais não diferenciam entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Tratamentos (kg. ha ⁻¹ de P ₂ O ₅)	NP	AP (cm)	DC (mm)	NF	TRC (SPAD)
GLYFOS RR					
0	4,00	7,45	0,29	3,20	28,80 b
100	3,40	7,61	0,26	3,40	32,32 ab
AG 1051					
0	3,80	9,29	0,28	3,40	32,74 ab
100	4,20	8,34	0,32	3,20	35,06 a
F	ns	ns	ns	ns	*
Média geral	3,85	8,17	0,29	3,30	32,23
CV (%)	20,53	17,36	21,68	18,14	10,33

Fonte: Autor, 2025

Aos 28 DAS (2ª coleta), os efeitos da adubação fosfatada se tornaram evidentes, com diferenças estatisticamente significativas ($P < 0,01$) em todas as variáveis analisadas, exceto no NP (Tabela 2). Tanto a cv. GLYFOS RR quanto a cv. AG1051 apresentaram incrementos expressivos em AP, DC, NF, TRC e massa seca da parte aérea (MSPA), quando submetidos à dose de 100 kg/ha de P₂O₅.

A cv. AG1051 com P se destacou com os maiores valores médios de AP (34,32 cm), NF (7,20), TRC (38,02 SPAD) e MSPA (23,28 g.m⁻¹), superando significativamente as testemunhas (cv. sem P), o que evidencia sua elevada resposta agrônômica à adubação fosfatada. Esses resultados reforçam o papel fundamental do P no desenvolvimento vegetativo inicial do milho, conforme apontado por Furlani *et al.* (2015).

A variável MSPA, representativa do acúmulo de biomassa, também refletiu esse efeito, apresentando aumentos significativos nos tratamentos adubados (com P). Como ocorreu na cv. GLYFOS RR que alcançou 16,74 g com P, frente a apenas 3,02 g em sua testemunha (sem P), representando um incremento superior a 450%, evidenciando a limitação do P no solo e sua importância para o desenvolvimento inicial da cultura.

Os resultados obtidos neste estudo corroboram com achados de pesquisas anteriores que destacam a importância da adubação fosfatada no desenvolvimento inicial do milho. Souza *et al.* (1998) observaram que a aplicação de até 200 kg. ha⁻¹ de P₂O₅ resultou em aumentos significativos na produção de grãos de milho, sendo que a máxima produtividade esteve associada a uma concentração de P no solo de 30 mg.dm⁻³.

Da mesma forma, Veloso *et al.* (2016) relataram que a adubação fosfatada promoveu aumentos significativos na produção de matéria seca, na altura das plantas de milho e nos teores de P tanto no solo quanto nas folhas. Esse resultado era esperado, uma vez que o milho é uma cultura altamente responsiva à disponibilidade de P, especialmente em solos com baixos níveis desse nutriente, condição que pode limitar o crescimento inicial e a acumulação de biomassa.

Resultados similares foram observados por Lana *et al.* (2014), que avaliaram a eficiência agrônômica de diferentes fertilizantes fosfatados na cultura do milho. No estudo, o superfosfato triplo proporcionou maior rendimento de grãos em comparação ao fosfato natural reativo, especialmente no primeiro ano de cultivo, indicando a superioridade de fontes de P mais solúveis na promoção do crescimento e produtividade do milho. Do mesmo modo, Silva *et al.* (2014) identificaram respostas positivas do milho à adubação com P e nitrogênio. Em seu estudo, a combinação de 70 kg. ha⁻¹ de nitrogênio com 120 kg. ha⁻¹ de P₂O₅ resultou na máxima eficiência econômica na produção de grãos, evidenciando a importância da adubação equilibrada para o desenvolvimento da cultura.

Esses resultados demonstram com clareza que a disponibilidade de P no solo exerce papel determinante no estabelecimento inicial do milho, influenciando positivamente o crescimento vegetativo e a formação de biomassa (CHAVES; ZUCARELI; OLIVEIRA JUNIOR, 2013). A resposta significativa à adubação fosfatada observada em ambos os genótipos evidencia a limitação desse nutriente nas condições do solo avaliado e reforça a importância de estratégias de correção nutricional desde as fases iniciais do cultivo. De acordo com Orioli Júnior *et al.* (2024), a aplicação adequada de P contribui para o rápido desenvolvimento radicular, melhora a absorção de água e nutrientes e promove maior eficiência fotossintética nas plântulas. Da Ros *et al.* (2019) também destacam que a adubação fosfatada, além de beneficiar o crescimento vegetativo, é essencial para garantir um melhor desempenho agrônômico em sistemas produtivos de milho e sorgo. Complementarmente, Lima *et al.* (2019) observaram que práticas integradas, como o uso de resíduos orgânicos associados à adubação fosfatada, promovem ganhos significativos no crescimento e na sustentabilidade do sistema. Com base nesses aspectos, os dados obtidos na segunda coleta são apresentados a seguir,

ilustrando os efeitos práticos das doses de P sobre as variáveis de crescimento inicial da cultura do milho.

Tabela 2. Número de plantas (NP), altura de planta (AP), diâmetro do caule (DC), número de folhas (NF), teor relativo de clorofila (TRC) e massa seca da parte aérea (MSPA) das cultivares de milho sob duas doses de P aos 28 DAS. Nível de significância: *: 5%; e ns: não significativo. Letras iguais não diferenciam entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Tratamentos (kg. ha ⁻¹ de P ₂ O ₅)	NP	AP (cm)	DC (mm)	NF	TRC (SPAD)	MSPA (g.m ⁻¹)
GLYFOS RR						
0	3,80	13,94	0,48	5,00	28,10 b	3,02 b
100	3,40	27,76	0,95	7,20	34,34 a	16,74 a
AG 1051						
0	4,40	15,32	0,47	5,00	33,24 a	7,18 b
100	3,80	34,32	1,07	7,20	38,02 a	23,28 a
F	ns	ns	ns	ns	*	*
Média geral	3,85	22,84	0,74	6,10	33,43	12,56
CV (%)	17,90	24,33	23,32	9,81	8,15	32,99

Fonte: Autor, 2025

Na terceira coleta, realizada aos 56 DAS, os efeitos do P sobre o desenvolvimento do milho apresentaram valores ainda mais elevados (Tabela 3). Houve significância estatística ($p < 0,01$) para todas as variáveis analisadas, exceto NP, indicando que esta variável se manteve constante, mas o crescimento das cultivares de milho foi amplamente influenciado pela adubação.

Tabela 3. Número de plantas (NP), altura de planta (AP), diâmetro do caule (DC), número de folhas (NF), teor relativo de clorofila (TRC) e massa seca da parte aérea (MSPA) das cultivares de milho sob duas doses de P aos 56 dias após a semeadura (DAS). Nível de significância: *: 5%; e ns: não significativo. Letras iguais não diferenciam entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Tratamentos (kg. ha ⁻¹ de P ₂ O ₅)	NP	AP (cm)	DC (mm)	NF	TRC (SPAD)	MSPA (g.m)
GLYFOS RR						
0	3,40	57,80 b	9,70 b	6,40 b	30,31 b	50,02 b
100	3,60	164,20 a	16,85 a	9,20 a	40,20 a	191,7 ab
AG 1051						
0	3,60	51,28 b	9,56 b	5,60 b	31,96 b	57,76 b
100	3,60	124,13 a	15,03 a	9,20 a	41,37 a	323 a
F	ns	*	*	*	*	*
Média geral	3,40	99,35	12,79	7,60	35,96	155,62
CV (%)	22,14	31,34	18,66	13,80	11,33	69,08

Fonte: Autor, 2025

Os maiores valores de AP foram observados nos tratamentos com P: a cv. GLYFOS RR alcançou 164,20 cm, e a cv. AG1051 chegou a 124,13 cm. Da mesma forma, os maiores DC (16,85 mm para cv. GLYFOS RR e 15,03 mm para cv. AG1051) e maiores TRC (40,20 e 41,37

SPAD, respectivamente) foram registrados nos tratamentos com P, demonstrando o papel central do P na promoção do crescimento vegetativo vigoroso (SCHWALBERT *et al.*, 2014).

Em relação à MSPA, a cv. AG1051 se destacou com 323 g.m⁻¹, significativamente superior a todos os demais, inclusive a cv. GLYFOS RR, que apresentou 191,7 g.m⁻¹. Essa diferença sugere que, embora a cv. GLYFOS RR tenha mostrado maior AP, a cv. AG1051 respondeu com maior acúmulo de biomassa total (MSPA), o que pode ser indicativo de uma melhor alocação de recursos ou maior eficiência fisiológica sob adubação fosfatada (OTONI, 2024). Esse resultado está em consonância com observações feitas por Machado *et al.* (1999), que indicam um incremento médio de aproximadamente 50% na massa seca da parte aérea com o aumento da dose de P, enquanto o sistema radicular apresentou um aumento em torno de 40%. Os dados reforçam a ideia de que a parte aérea é mais sensível à deficiência de P, o que pode explicar o desempenho superior da cv. AG1051 com P, evidenciando uma maior eficiência na utilização do nutriente para o acúmulo de biomassa aérea.

Esses resultados corroboram com estudos anteriores (SILVA *et al.* 2020; SOUZA *et al.* 2018), que destacam o impacto do P no desenvolvimento do sistema radicular, fotossíntese e formação de estruturas vegetativas. Além disso, evidenciam a importância de se considerar o genótipo na resposta ao manejo da adubação, visto que cultivares distintas apresentam eficiências agronômicas variadas.

A variabilidade climática observada durante o período de condução do experimento, caracterizada por um início de ciclo com chuvas acima da média, seguido por acentuado déficit hídrico (INMET, 2025ab), possivelmente afetou o desempenho das plantas de milho, especialmente no que se refere à absorção de nutrientes como o P. Essa limitação hídrica, sobretudo nos estádios iniciais do desenvolvimento, pode ter comprometido o crescimento radicular e a produção de MSPA, como também relatado por Costa, Pinho e Parry (2008), que demonstraram os efeitos negativos do estresse hídrico sobre o acúmulo de biomassa em diferentes fases do ciclo da cultura. Com base nisso, Bortolini *et al.* (2002) e Parry (2002) destacam que a produção de MSPA é um indicador eficaz da intensidade de crescimento das plantas, e consequentemente sua produção de grãos. Segundo NASS *et al.* (2005), a produtividade biológica é frequentemente avaliada por meio da produção total de MSPA, a qual está intimamente associada aos processos fisiológicos de fotossíntese e respiração, especialmente durante as fases vegetativa e reprodutiva da cultura do milho.

Segundo Brasil *et al.* (2007) que avaliou a matéria seca e acúmulo de nutrientes em genótipos de milho contrastantes quanto a aquisição de P, foi possível concluir que a quantidade

total de P acumulada pelo genótipo linhagem foi superior à dos híbridos sob condições de baixa disponibilidade do nutriente, e equiparável à dos híbridos cultivados em meio com alto teor de P. Esses resultados estão de acordo com o observado por Baitelle (2015) o qual afirma que a análise do desempenho agronômico entre milho híbrido e varietal revela diferenças significativas nas características morfológicas e na produtividade. O milho varietal, por sua rusticidade, utiliza suas reservas para produzir grãos maiores e com maior massa, enquanto o híbrido tende a produzir maior número de grãos por espiga, porém de menor tamanho e massa. Apesar dessas diferenças, ambos podem apresentar produtividade semelhante, medida em kg. ha⁻¹, devido às variações nas características das espigas.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A adubação fosfatada teve efeito decisivo no desenvolvimento inicial do milho cultivado em solo com baixos teores de P ($< 0,59 \text{ mg.dm}^{-3}$), promovendo aumentos significativos em AP, DC, NF, TRC e MSPA. As cultivares AG1051 e GLYFOS RR apresentaram respostas distintas, sendo que a AG1051 demonstrou maior acúmulo de biomassa sob adubação, enquanto a GLYFOS RR destacou-se em altura. Embora a primeira coleta (13 DAS) não tenha apresentado diferenças significativas, a segunda (28 DAS) e a terceira (56 DAS) revelaram respostas agronômicas expressivas ao P, reforçando a importância do nutriente para o crescimento vegetativo. Além disso, o déficit hídrico observado entre março e abril provavelmente afetou a absorção de P, especialmente nas fases iniciais de desenvolvimento radicular, comprometendo o aproveitamento do nutriente em algumas condições. Assim, é possível concluir que, nas condições edafoclimáticas avaliadas, a adubação com P_2O_5 foi essencial para superar a limitação nutricional do solo, influenciando positivamente o desempenho inicial das cultivares de milho, com destaque para a AG1051, que demonstrou maior eficiência na conversão de P em biomassa aérea. Os dados obtidos reforçam a importância do manejo adequado da adubação fosfatada em solos de baixa fertilidade, contribuindo para o aprimoramento de estratégias nutricionais mais eficientes e adaptadas à realidade das regiões tropicais. Seria relevante considerar a realização de estudos com mais níveis de P para estas cultivares e em diferentes épocas do ano, para verificar a consistência das respostas observadas.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Felipe Miranda de Souza; SPOLADOR, Humberto Francisco Silva. Determinantes da produtividade total dos fatores da lavoura de milho no Brasil: uma análise de fronteira estocástica para o período de 1995 a 2017. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 62, p. e287305, 2024.
- BAITELLE, Diego Corona. Desempenho agrônomo de milho híbrido e varietal em função de doses de nitrogênio em cobertura. 2015.
- BARBOSA, Newton Cabral et al. Distribuição vertical do fósforo no solo em função dos modos de aplicação. **Biosci. j.(Online)**, p. 87-95, 2015.
- BATISTA, Gisele Santos et al. Viabilidade econômica do cultivo de milho variedade em propriedade familiar na região do Oeste Goiano. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 11, p. 85958-85973, 2020.
- BEZERRA, Régis Pinheiro Martins et al. Frações de fósforo e correlação com atributos edáficos sob sistemas de plantio direto e integração lavoura-pecuária no Cerrado Goiano. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 3, p. 1287-1306, 2015.
- BIANCHETTO, Renan et al. Desempenho agrônomo de milho crioulo em diferentes níveis de adubação no Sul do Brasil. **Revista Eletrônica Científica da UERGS**, v. 3, n. 3, p. 528-545, 2017.
- BISCA, Hugo Henrique et al. Fungos micorrízicos arbusculares associados a doses de fósforo no crescimento da cultura do milho. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 16, n. 3, p. 1-13, 2023.
- BORÉM, Aluizio; MIRANDA, Glaucio V.; FRITSCHÉ-NETO, Roberto. **Melhoramento de plantas**. Oficina de textos, 2021.
- BORTOLINI, Clayton Giani et al. Sistemas de aplicação de nitrogênio e seus efeitos sobre o acúmulo de N na planta de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 361-366, 2002.
- BRASIL, Edílson Carvalho et al. Matéria seca e acúmulo de nutrientes em genótipos de milho contrastantes quanto a aquisição de fósforo. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, p. 704-712, 2007.
- CHAVES, Danilo Pinceli. Fontes de fósforo associadas a rizobactérias do gênero *Pseudomonas* na cultura do milho. 2024.
- CHAVES, Danilo Pinceli; ZUCARELI, Claudemir; DE OLIVEIRA JUNIOR, Adilson. Fontes de fósforo associadas à inoculação com *Pseudomonas fluorescens* no desenvolvimento e produtividade do milho. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 1, p. 57-72, 2013.
- COELHO, Jackson Dantas. Milho: produção e mercados. 2021.

CONTINI, Elisio et al. Milho: caracterização e desafios tecnológicos. **Brasília: Embrapa.(Desafios do Agronegócio Brasileiro, 2)**, 2019.

CORASSA, Anderson et al. Variabilidade da composição nutricional de coprodutos de etanol de milho do Brasil para suínos. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 13, p. e105101321031-e105101321031, 2021.

COSTA, Jacirema R. da; DE PINHO, João LN; PARRY, Maurício M. Produção de matéria seca de cultivares de milho sob diferentes níveis de estresse hídrico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, p. 443-450, 2008.

DA ROS, CLOVIS ORLANDO et al. Manejo da adubação fosfatada e potássica no cultivo sucessivo de milho e sorgo para silagem. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 18, n. 1, p. 14-29, 2019.

DA SILVA ARAÚJO, Lucas et al. Desempenho agrônômico de híbridos de milho na região sudeste de Goiás. **Revista Agro@ mbiente On-line**, v. 10, n. 4, p. 334-341, 2016.

DA SILVA MAIA, Rodrigo. Implementação de Sistemas Agroflorestais como estratégia sustentável para melhorar a disponibilidade de fósforo no cultivo de palma de óleo na Amazônia. **Sustentabilidade: Diálogos Interdisciplinares**, v. 4, p. 1-9, 2023.

DA SILVA PINHEIRO, Luana et al. Análise de trilha dos atributos físicos de milho (*Zea mays* L.) em sistema de cultivo convencional. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 1, p. e8010110832-e8010110832, 2021.

DA SILVA, Angélica Simplício et al. Efeito da Adubação Verde na Qualidade Nutricional do Milho (*Zea mays* L.). **Revista Geama**, v. 6, n. 1, p. 31-37, 2020.

DA SILVA, Danilo Henrique Rodrigues et al. População de plantas e desempenho produtivo de híbridos de milho oriundos de sementes com diferentes níveis de vigor. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 11, n. 2, p. 1-4, 2016.

DA SILVA, Gerônimo Ferreira et al. Doses de nitrogênio e de fósforo recomendadas para produção econômica de milho verde em Mossoró-RN. **MAGISTRA**, v. 26, n. 4, p. 467-481, 2014.

DA SILVA, Luana Fernanda Pereira et al. Desenvolvimento da cultura do milho e carbono orgânico total sob diferentes fontes de adubos. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 13, n. 4, p. 1509-1532, 2020.

DE FREITAS, Stefani Gabrieli Dias et al. Produção de biodiesel a partir do óleo de soja, milho, girassol e canola por transesterificação: uma revisão sistemática. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 5, p. e33411527167-e33411527167, 2022.

DE LIMA, Tatiane Melo et al. Adubação de milho crioulo com resíduos orgânicos em associação com *Azospirillum brasilense*. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 9, n. 2, p. 9-16, 2019.

DE OLIVEIRA XAVIER, Letícia et al. Sistemas de cultivo, milhos variedade e *Azospirillum*-alternativas para pequenas propriedades rurais. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 1, p. 6707-6726, 2021.

DE OLIVEIRA, Reginaldo Miranda et al. Relação entre índice de colheita do milho e eficiências de fósforo por meio de análise de trilha. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 2, p. e13510212358-e13510212358, 2021.

DE SOUZA, Aguinaldo Eduardo et al. Estudo da produção do milho no Brasil: regiões produtoras, exportação e perspectivas. **South American Development Society Journal**, v. 4, n. 11, p. 182-182, 2018.

EICHOLZ, Eberson Diedrich et al. Produtividade de variedades de milho de polinização aberta no RS. In: **XXXI CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO. Anais... Bento Gonçalves**. 2016. p. 1436-1439.

FAO. *Food Outlook – Biannual Report on Global Food Markets*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2024. Disponível em: <https://www.fao.org/publications/food-outlook>. Acesso em: 27 abr. 2025.

FAUSTINO, Thailson Fernando et al. Utilização de grão de milho reidratado e casca de café na alimentação animal. **Revista Científica Rural**, v. 22, n. 1, p. 259-275, 2020.

FURLANI, Paulo Roberto; FURLANI, Ana Maria Costa; SILVA, Maria de Fátima; FURLANI, José Maria Costa; SILVA, Ana Paula. **Nutrição mineral de plantas**. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 2015.

HARGER, Nelson et al. Avaliação de fontes e doses de fósforo no crescimento inicial do milho. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 28, n. 1, p. 39-44, 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Produção Agrícola Municipal 2021: principais resultados**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9117-producao-agricola-municipal-culturas-temporarias-e-permanentes.html>. Acesso em: 26 abr. 2025

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). *Balanco climático – março de 2025: Chuvas ficam 40% abaixo da média em Palmas (TO)*. Brasília: INMET, 2025b. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/noticias/balanco-chuvas-foram-abaixo-da-media-em-palmas-no-mes-de-marco>. Acesso em: 18 maio 2025.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). *Boletim climático – abril de 2025: Redução expressiva nas chuvas em Palmas (TO)*. Brasília: INMET, 2025c. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/noticias/balanco-palmas-to-registra-chuva-e-temperatura-acima-da-media-em-abril-2024>. Acesso em: 18 maio 2025.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). *Boletim climático – fevereiro de 2025: Palmas registra chuvas acima da média histórica*. Brasília: INMET, 2025a. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/noticias/p8>. Acesso em: 18 maio 2025.

JEAN, Abdias; ROCHA, Disraeli Reis da ; MOTA, Poliana Rocha D.'Almeida. Influência da adubação nitrogenada aplicada em cobertura e do arranjo de plantas no cultivo de milho verde. **REVISTA DELOS**, v. 18, n. 63, p. e3585-e3585, 2025.

JÚNIOR, Kleso Silva Franco; DE SOUZA DIAS, Márcio; RIBEIRO, Vinícius Muniz. Disponibilidade de fósforo no solo em semanas sob diferentes fontes. **Research, Society and Development**, v. 13, n. 10, p. e87131047154-e87131047154, 2024.

LANA, Maria Do Carmo; RAMPIM, Leandro; VARGAS, Gentil. ADUBAÇÃO FOSFATADA NO MILHO COM FERTILIZANTE ORGANOMINERAL EM LATOSSOLO VERMELHO EUTROFÉRICO-10.14688/1984-3801/gst. v7n1p26-36. **Global Science and Technology**, v. 7, n. 1, 2014.

LANG, Tim; MCKEE, Martin. The reinvasion of Ukraine threatens global food supplies. **bmj**, v. 376, 2022.

MACHADO, CYNTHIA TORRES DE TOLEDO et al. Variabilidade entre genótipos de milho para eficiência no uso de fósforo. **Bragantia**, v. 58, p. 109-124, 1999.

MAHMOOD, Mohsin et al. Influence of drought stress on phosphorus dynamics and maize growth in tropical ecosystems. **BMC Plant Biology**, v. 25, n. 1, p. 62, 2025.

NASS, Luciano et al. Modelos matemáticos-fisiológicos para estimar matéria seca da parte aérea e produtividade de grãos de milho. **Current Agricultural Science and Technology**, v. 11, n. 4, 2005.

ORIOLI JÚNIOR, V. et al. Adubação fosfatada corretiva para cultura do milho. *Embrapa Agropecuária Oeste*, 2008. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/907871/adubacao-fosfatada-corretiva-para-cultura-do-milho>. Acesso em: 21 maio 2025.

OTONI, Igor Santos. Crescimento inicial do milho com diferentes fontes de fósforo no sulco de plantio. 2024.

PARRY, Maurício Möller. Épocas de preparo de solo e adubações para culturas de subsistência sob cobertura morta. 2002.

PEREIRA, Eduardo Brasileiro Soares. *Efeito da adubação e da correção do solo de cerrado nos atributos químicos e físicos em área experimental de forragicultura do IFTO-Campus Palmas*. 2025. 42 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Agrônoma) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Campus Palmas, Palmas, 2025.

PIMENTEL-GOMES, Frederico. **Curso de estatística experimental**. Digitaliza Conteúdo, 2023.

PINTO, Luiz Alberto da Silva Rodrigues et al. Extração e quantificação das frações de fósforo orgânico no solo. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 6, p. 34260-34278, 2020.

REIN, Thomaz Adolpho; SANTOS JÚNIOR, João de Deus Gomes dos; NUNES, Rafael de Souza; KORNDÖRFER, Gaspar Henrique. *Atualizações das recomendações de adubação fosfatada para a cana-de-açúcar no Cerrado*. Circular Técnica, 54. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2022. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1148000/1/Circotec-54-Thomaz.pdf>. Acesso em: 15 maio 2025.

ROCHA, Thalysson Bruno Mendes et al. Avaliação da eficácia de diferentes fertilizantes fosfatados na produtividade do milho em solos com níveis médios de fósforo. **Scientia Generalis**, v. 5, n. 2, p. 390-399, 2024.

SCHELER, Eduardo Donizeti; CAVICHIOLI, Fábio Alexandre. Viabilidade de silagem de milho para o gado leiteiro. **Revista Interface Tecnológica**, v. 18, n. 1, p. 265-275, 2021.

SCHWALBERT, Raí Augusto et al. Zonas de manejo: atributos de solo e planta visando a sua delimitação e aplicações na agricultura de precisão. **Revista Plantio Direto**, p. 21-32, 2014.

SILVA, Luiz Eduardo Bezerra et al. Desenvolvimento da cultura do milho (*Zea mays* L.): revisão de literatura. *Diversitas Journal*, v. 5, n. 3, p. 1636-1657, 2020.

SOBRINHO, Edmundo Heidrich; WETZEL, Clovis Terra. A produção de semente de milho híbrido. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 1, n. 1, p. 173-184, 2024.

SOUZA, Euclides Caxambu A.; COUTINHO, Edson Luiz Mendes; NATALE, William; BARBOSA, José Carlos. Respostas do milho à adubação com fósforo e zinco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, n. 10, p. 1363-1372, 2018. Disponível em: <https://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/view/4931>. Acesso em: 12 maio 2025.

STRAZZI, Sueli. Derivados do milho são usados em mais de 150 diferentes produtos industriais. **Visão Agrícola**, v. 13, n. 9, p. 146-150, 2015.

TAIZ, Lincoln et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Artmed Editora, 2017.

VALADÃO, Franciele Caroline de Assis; VALADÃO JÚNIOR, Daniel Dias; WEBER, Oscalina Lucia do Santos; WEISS, Aline Isabela. *Aspectos da adubação fosfatada em plantio direto*. *Plantio Direto e Tecnologia Agrícola*, 31 jan. 2016. Disponível em: <https://plantiodireto.com.br/artigos/236>. Acesso em: 14 maio 2025.

VALADARES, R. V. et al. Fertilidade do solo e produtividade de milho em sistemas de adubação verde no norte de Minas Gerais. **Planta Daninha**, v. 30, p. 505-516, 2012.

VELOSO, CAC et al. Produção de matéria seca de híbridos de milho em resposta à adubação fosfatada. 2016.

ZANIVAN, Everton et al. Crescimento inicial da cultura do milho submetida a diferentes adubações. **Tecnologia e Gestão da Inovação em Sistemas de Produção Sustentáveis**, 2024.