

TAIS GALIOTTO KEMPF

**DESENVOLVIMENTO INICIAL DO MILHO SOB DIFERENTES DOSES DE
FÓSFORO**

Ji-Paraná
2026

TAIS GALIOTTO KEMPF

**DESENVOLVIMENTO INICIAL DO MILHO SOB DIFERENTES DOSES DE
FÓSFORO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Afya Centro
Universitário de Ji-Paraná como
requisito parcial para obtenção de grau
de engenheiro agrônomo. Prof.
Orientador: Alisson Nunes da Silva

Ji-Paraná
2026

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação - CIP

K32d Kempf, Tais Galiotto.

Desenvolvimento inicial do milho sob diferentes doses de fósforo. / Tais Galiotto Kempf. – Ji-Paraná, 2026.
22 p.; il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Afya Centro Universitário de Ji-Paraná, 2026.

Orientador: Prof. Ms. Alisson Nunes da Silva

1. Zea mays L. 2. Adubação fosfatada. 3. Desenvolvimento inicial. I. Silva, Alisson Nunes da. II. Título.

CDU 631.8:633.2

Ficha Catalográfica Elaborada pelo Bibliotecário Giordani Nunes da Silva CRB 11/1125

CURSO: BACHARELADO EM AGRONOMIA

TAIS GALIOTTO KEMPF

**DESENVOLVIMENTO INICIAL DO MILHO SOB DIFERENTES DOSES DE
FÓSFORO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Afya Centro
Universitário de Ji-Paraná como requisito parcial para obtenção
de grau de engenheiro agrônomo. Orientador: Prof. Alisson
Nunes da Silva

Ji-Paraná, _24_ de _Junho_ de 2026.

Avaliação/ Nota:

BANCA EXAMINADORA

Resultado: _____

Orientador

Profº. Alisson Nunes da Silva

Instituição Centro Universitário Afya

Membro da Banca

Profº. Cinthia Conceição Matias da Silva

Instituição Centro Universitário Afya

Membro da Banca

Profº. Amanda Thirza Lima Santos

Instituição Centro Universitário Afya

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por me conceder saúde, sabedoria e força para concluir esta etapa tão importante em minha vida.

Agradeço à minha mãe, Denise, que mesmo longe, sempre demonstrou seu apoio.

Agradeço ao meu companheiro Guilherme por acreditar em mim e me apoiar todos os dias.

Por fim, agradeço ao meu orientador, Alisson, pela orientação, paciência e conhecimento compartilhado ao longo da elaboração deste trabalho. Sua experiência e dedicação foram fundamentais para a conclusão deste projeto.

Tais Galiotto Kempf, junho de 2026.

RESUMO

O milho é uma das principais culturas agrícolas cultivadas no Brasil e no mundo, apresentando elevada demanda nutricional, especialmente por fósforo, nutriente essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas. O presente trabalho teve como objetivo avaliar o desenvolvimento inicial do milho submetido a diferentes doses de fósforo. O experimento foi conduzido no município de Vilhena-RO, em delineamento inteiramente casualizado, composto por quatro tratamentos correspondentes às doses de 0, 100, 200 e 300 kg ha⁻¹ de fósforo e cinco repetições. As avaliações foram realizadas semanalmente, sendo analisadas as variáveis altura de plantas, diâmetro de colmo e massa de raiz. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F e, quando significativo, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os resultados demonstraram que a adubação fosfatada favoreceu o desenvolvimento inicial do milho, promovendo incrementos significativos na altura das plantas, no diâmetro de colmo e na massa radicular em comparação ao tratamento sem aplicação de fósforo. A dose de 200 kg ha⁻¹ apresentou os melhores resultados para as variáveis avaliadas, destacando-se como a mais eficiente nas condições do experimento. O aumento da dose para 300 kg ha⁻¹ não proporcionou ganhos significativos adicionais. Conclui-se que o fósforo desempenha papel fundamental no desenvolvimento inicial do milho, contribuindo para o crescimento vegetativo e para o desenvolvimento do sistema radicular, sendo a dose de 200 kg ha⁻¹ a mais eficiente entre os tratamentos avaliados.

Palavras-chave: *Zea mays* L.; adubação fosfatada; desenvolvimento inicial.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tratamento realizado e suas respectivas doses.....	11
Tabela 2 - Altura de plantas em centímetros.....	13
Tabela 3 - Diâmetro do colmo em milímetros.....	15
Tabela 4 - Massa de raiz.....	17

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	9
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	11
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	13
4. CONCLUSÃO.....	19
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	20

1. INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) destaca-se como uma das culturas agrícolas de maior relevância em escala mundial, sendo amplamente empregado na alimentação humana, na nutrição animal e como insumo estratégico para a indústria, especialmente na produção de biocombustíveis, o que evidencia sua importância econômica e social nos sistemas produtivos modernos (SILVA et al., 2024).

Embora seja indispensável ao metabolismo das plantas, o fósforo (P) constitui um dos principais fatores limitantes da produtividade do milho quando sua disponibilidade no solo é baixa ou restrita, sobretudo nas fases iniciais de desenvolvimento, período em que o sistema radicular ainda apresenta reduzida massa e ramificação, comprometendo a absorção eficiente do nutriente e resultando em diminuição do crescimento das raízes, da absorção hídrica e do acúmulo de biomassa (RINGEVAL et al., 2025; GUO et al., 2025).

Evidências recentes demonstram que a disponibilidade de P no solo impõe forte restrição ao potencial produtivo global do milho, podendo ocasionar expressivas reduções de rendimento em relação à produtividade potencial, uma vez que baixos teores de fósforo disponível limitam processos fisiológicos e metabólicos fundamentais, como a transferência de energia (ATP) e a síntese de biomoléculas (RINGEVAL et al., 2025).

A aplicação de diferentes doses de fósforo P na fase inicial do milho pode resultar em respostas contrastantes no estabelecimento das plantas, uma vez que doses insuficientes tendem a limitar o crescimento radicular e o vigor inicial, enquanto níveis adequados apresentam potencial para favorecer o acúmulo de biomassa e a eficiência de absorção do nutriente (CHEN et al., 2024; RINGEVAL et al., 2025). Por outro lado, aplicações excessivas podem apresentar baixa eficiência agrônômica em razão da imobilização do P no solo, além de elevar o risco de impactos ambientais, tornando necessária a adoção de estratégias de manejo mais criteriosas (MCDOWELL et al., 2024). Assim, a avaliação de distintas doses de fósforo mostra-se fundamental para compreender seus efeitos sobre o desenvolvimento inicial do milho, permitindo identificar faixas mais eficientes de aplicação e subsidiar recomendações técnicas voltadas ao uso racional de fertilizantes e à sustentabilidade dos sistemas produtivos (GONG et al., 2022; SILVA et al., 2024).

O trabalho tem como objetivo avaliar o desenvolvimento inicial do milho sob diferentes doses de fósforo, visando analisar seus efeitos sobre o crescimento vegetativo, o acúmulo de biomassa e o estabelecimento inicial das plantas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em uma propriedade urbana que está localizada no município de Vilhena-RO, nas coordenadas 12°42'04.8"S 60°07'38.1"O. A área é totalmente aberta, com grande exposição ao sol durante a maior parte do dia. De acordo com a classificação de Köppen, o clima do local do experimento é classificado como clima do tipo Aw, clima tropical com inverno seco e uma pluviosidade média anual de 2.464 mm (KOPPEN, 2024).

A cultura utilizada foi o milho Morgan MG447. A escolha desta cultivar baseou-se em suas características agrônômicas, principalmente seu ciclo sendo superprecoce, que varia de 105 a 125 dias. O delineamento experimental que foi utilizado para a elaboração do projeto é o Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC), contendo 4 (quatro) tratamentos e 5 (cinco) correspondente a diferentes dosagens de fósforo.

O experimento foi desenvolvido em local aberto, utilizando vasos com capacidade de 8L no qual foram preenchidos com solo de característica arenosa. Não foi realizada análise de solo para esse experimento. Foram adicionados aos tratamentos com 0 kg ha⁻¹, 100 kg ha⁻¹, 200 kg ha⁻¹ e 300 kg ha⁻¹ do fertilizante superfosfato simples (18% P₂O₅) incorporado 5 cm abaixo do solo e logo em seguida foi realizado o plantio com 3 sementes por vaso.

Após a emergência do milho, realizou-se o desbaste, onde permaneceu a planta mais vigorosa em cada vaso. Em seguida, foi realizada a adubação de cobertura nitrogenada (50 kg ha⁻¹, correspondendo a 3,69 g vaso⁻¹) e potássica (50 kg ha⁻¹, correspondendo a 1,4 g vaso⁻¹) em todos os tratamentos.

Tabela 1 - Tratamento realizado e suas respectivas doses

Tratamento	Dose Kg/ha	Dose g/vaso
T1	0	0
T2	100	8,79
T3	200	17,57
T4	300	26,37

Fonte: Dados da pesquisa.

Semanalmente foram registrados a altura de plantas com uma fita métrica e o diâmetro do colmo utilizando um paquímetro. Aos 49 DAE a planta estava em início de VT, nesse período ocorreu a última coleta de dados, onde foi realizado a massa

de raiz retirando cuidadosamente toda a terra que estava envolta e deixando secar naturalmente para retirar os dados de massa.

As variáveis selecionadas para avaliação desse trabalho foram:

Altura de plantas: a medição foi realizada com uma fita métrica, do solo até a última folha completamente expandida, a unidade de medida utilizada foi centímetros (cm).

Diâmetro do colmo: a medição aconteceu com um paquímetro 5 cm acima da superfície do solo, a unidade de medida utilizada foi milímetros (mm).

Massa de raiz: a raiz foi pesada após estar devidamente seca e limpa em uma balança de precisão, a unidade de medida utilizada foi gramas (g).

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo teste F. Quando constatado efeito significativo dos tratamentos, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o software Sisvar.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A altura de plantas foi influenciada pela aplicação de fósforo ao longo do período experimental (Tabela 2). Aos 7 dias após a emergência (DAE), não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos, com valores variando entre 16,9 e 17,5 cm. Esse comportamento pode ser explicado pelo fato de que, durante as fases iniciais do desenvolvimento, as plântulas dependem principalmente das reservas nutritivas presentes na semente, reduzindo temporariamente a influência da disponibilidade de nutrientes no solo sobre o crescimento da parte aérea (TAIZ et al., 2017; MARSCHNER, 2012).

Tabela 2 - Altura de plantas em centímetros

Tratamento	7 DAE	14 DAE	21 DAE	28 DAE	35 DAE	42 DAE	49 DAE
T1	17,5 a	32,4 b	58,8 a	76 b	88 b	104 b	120 b
T2	16,9 a	35,3 ab	62 a	91,8 ab	125 a	148,6 a	189 a
T3	16,9 a	36 ab	64,4 a	93,4 a	135 a	153,4 a	193 a
T4	17,5 a	39 a	63,8 a	90,2 ab	126,4 a	147,6 a	182 a

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A partir dos 14 dias após a emergência, foi notada uma diferença positiva nos tratamentos com adubação em comparação ao controle (T1), indicando que a quantidade de fósforo disponível começou a impactar significativamente o crescimento das plantas. Esse fato se alinha com o aumento da necessidade nutricional da cultura durante o estágio de desenvolvimento vegetativo, um período marcado por intensa divisão celular, expansão das folhas e formação de novos tecidos (TAIZ et al., 2017; MARSCHNER, 2012).

Aos 49 dias após a emergência, o tratamento T3 (200 kg ha⁻¹ de P) apresentou a maior média de altura das plantas (193 cm), seguido pelos tratamentos T2 (189 cm) e T4 (182 cm), enquanto o tratamento sem aplicação de fósforo atingiu apenas 120 cm. Esses dados demonstram que o fornecimento adequado de fósforo impulsionou o crescimento vegetativo do milho, resultando em maior desenvolvimento da parte aérea.

O fósforo é reconhecido como um dos nutrientes essenciais para o início do desenvolvimento das culturas, atuando diretamente nos processos de liberação de energia, produção de ATP, fotossíntese, respiração e formação de material genético. Esse nutriente desempenha um papel crucial no aprimoramento do sistema

radicular, elevando a capacidade de absorção de água e nutrientes, o que, por sua vez, reflete positivamente no crescimento da parte aérea (MALAVOLTA, 2006; TAIZ et al., 2017; MARSCHNER, 2012).

Outro ponto importante a considerar são as características dos solos encontrados no Brasil, que geralmente exibem baixos níveis de fósforo disponível devido à forte ligação que esse nutriente estabelece com os óxidos de ferro e alumínio presentes na argila. Essa circunstância limita a concentração de fósforo acessível na solução do solo, tornando a adição de fósforo através da adubação uma prática fundamental para que as lavouras se desenvolvam plenamente (NOVAIS; SMYTH; NUNES, 2007; SOUSA; LOBATO, 2004).

As observações deste estudo estão de acordo com os resultados obtidos por Lucena et al. (2000), que constataram um aumento na altura de plantas de milho à medida que as doses de fósforo aplicadas ao solo foram elevadas. De maneira similar, Harger et al. (2007) observaram um crescimento inicial superior em parcelas que receberam adubação fosfatada. Bastos et al. (2010) também documentaram uma resposta positiva na altura das plantas em relação à disponibilidade de fósforo, atribuindo esse fenômeno à maior captação e utilização do nutriente pelas plantas.

Registros semelhantes foram reportados por Ruff et al. (2023), que identificaram um aumento expressivo na altura de híbridos de milho cultivados com diferentes quantidades de fósforo. Franco Júnior et al. (2024) ressaltam que ter esse nutriente em níveis adequados auxilia o metabolismo energético das plantas, o que se traduz diretamente em seu crescimento e desenvolvimento. Complementarmente, Guo et al. (2025) enfatizam que a eficácia na absorção e redistribuição de fósforo no milho está diretamente conectada ao desenvolvimento vegetativo e ao aumento da massa vegetal.

Apesar de o tratamento T4 ter recebido a maior quantidade de fósforo (300 kg ha⁻¹), ele não se destacou mais que o tratamento T3. Isso nos leva a crer que a quantidade de 200 kg ha⁻¹ foi adequada para atender às necessidades nutricionais da planta no período estudado, sugerindo que a resposta parou de aumentar com doses maiores. Conforme Ampong et al. (2025), após determinado nível de disponibilidade de fósforo, a eficiência de utilização do nutriente tende a diminuir, uma vez que doses adicionais nem sempre resultam em incrementos proporcionais no crescimento das plantas. Além disso, o excesso de fósforo pode trazer algumas

desvantagens, como o aumento dos custos de produção, a menor eficiência agrônômica devido à fixação do nutriente no solo, o desequilíbrio na absorção de micronutrientes, como zinco (Zn), ferro (Fe) e manganês (Mn), e o aumento do risco de impactos ambientais. Entre esses impactos, destaca-se a eutrofização de corpos hídricos, processo caracterizado pelo enriquecimento excessivo da água por nutrientes, favorecendo a proliferação de algas e comprometendo a qualidade dos ecossistemas aquáticos (MCDOWELL et al., 2024).

Foi possível observar que a adição de fósforo foi crucial para o desenvolvimento inicial do milho, com efeitos mais visíveis a partir dos 14 dias após a emergência. Sob as condições deste experimento, a dose de 200 kg ha⁻¹ resultou nos maiores aumentos na altura das plantas, mostrando uma melhor eficiência no crescimento vegetativo no começo do ciclo da cultura.

A espessura do colmo do milho foi positivamente impactada pela aplicação de fósforo durante o experimento. Nas observações iniciais, aos 7 e 14 dias após a emergência, não houve diferenças notáveis entre os grupos, indicando que as plantas, nesta fase, ainda não demandavam muitos nutrientes e se sustentavam pelas reservas das sementes. Contudo, a partir dos 21 dias após a emergência, as plantas que receberam maiores doses de fósforo apresentaram colmos mais grossos em comparação com o tratamento que não recebeu, ressaltando a importância desse nutriente para o desenvolvimento das plantas.

Com 49 dias, os tratamentos que receberam 200 kg ha⁻¹ (T3) e 300 kg ha⁻¹ (T4) de fósforo exibiram os maiores diâmetros de colmo, com médias de 25,6 mm e 24,9 mm, respectivamente. O tratamento T2 (100 kg ha⁻¹) também apresentou um aumento expressivo em comparação ao tratamento em que não foi adicionado fósforo. Estes resultados demonstram que a oferta adequada de fósforo impulsiona o crescimento estrutural das plantas, resultando em colmos mais fortes e resistentes.

Tabela 3 - Diâmetro do colmo em milímetros

Tratamento	7 DAE	14 DAE	21 DAE	28 DAE	35 DAE	42 DAE	49 DAE
T1	2,6 a	7,8 a	12,8 b	17,6 b	18 b	18,2 b	18,9 b
T2	3,4 a	8,8 a	16 a	21,2 a	22,6 a	22,6 a	22,8 a
T3	3 a	9,2 a	16,2 a	22 a	24,8 a	25,2 a	25,6 a
T4	3 a	8,6 a	16 a	22 a	24,2 a	24,8 a	24,9 a

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

De acordo com Fancelli e Dourado Neto (2000), o colmo do milho é crucial para sustentar a planta e para o transporte de água, nutrientes e açúcares entre as diferentes partes da planta. Assim, plantas com colmos mais grossos tendem a ter maior vigor e melhor capacidade de suportar o peso da parte aérea ao longo do ciclo de crescimento.

O fósforo desempenha um papel direto nos processos metabólicos que geram energia nas células, auxiliando na formação de novos tecidos e no crescimento. Conforme Vance, Uhde-Stone e Allan (2003), a falta desse nutriente prejudica a expansão celular e o desenvolvimento dos tecidos estruturais, levando a plantas mais fracas e com crescimento limitado.

Um bom fornecimento de fósforo estimula o desenvolvimento das raízes, melhorando a absorção de água e nutrientes e promovendo o crescimento da parte aérea. Segundo Grant et al. (2001), plantas de milho com fósforo adequado acumulam mais matéria seca e crescem melhor, características que contribuem para um colmo mais espesso.

Resultados similares foram encontrados por Coelho (2006), que aponta que uma nutrição balanceada no milho afeta diretamente suas características físicas, como a espessura do colmo, que é importante para reduzir a queda das plantas e manter seu potencial produtivo.

Apesar de o tratamento T4 ter recebido a maior quantidade de fósforo, não mostrou resultados estatisticamente superiores ao T3. Isso sugere que a dose de 200 kg ha⁻¹ foi suficiente para atender às necessidades nutricionais da cultura no período analisado. Conforme Raji (2011), aumentar a quantidade de fósforo além do ideal nem sempre resulta em ganhos proporcionais de crescimento, pois outros fatores podem passar a limitar o desenvolvimento das plantas.

Assim sendo, as conclusões obtidas por meio desse estudo mostram que o uso de fertilizantes com fósforo impulsionaram bastante o crescimento estrutural do milho, resultando em caules mais grossos e um vigor geral maior para as plantas. A quantidade de 200 kg ha⁻¹ mostrou-se adequada para gerar os resultados mais expressivos dentro do contexto desta pesquisa.

A adubação com fósforo impactou fortemente a massa de raízes do milho. O tratamento controle (T1) teve a menor média de massa radicular (123,8 g), com diferença estatística clara em relação aos grupos que receberam adubação,

conforme pode ser visto na tabela 4. As médias para os grupos T2, T3 e T4 foram de 346,4 g, 427,6 g e 355,4 g, respectivamente, sem distinção entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tais resultados reforçam o papel crucial do fósforo para o crescimento do sistema radicular nas fases iniciais do milho.

O fósforo é um nutriente vital para o desenvolvimento das raízes, pois está diretamente envolvido na divisão celular, no armazenamento e na transferência de energia, estimulando a criação de novos tecidos e o aprimoramento do sistema radicular. Conforme apontado por Lynch (2011), ter uma quantidade adequada de fósforo disponível facilita mudanças na forma das raízes que ampliam sua capacidade de explorar o solo, resultando em um melhor aproveitamento dos recursos.

Tabela 4 - Massa de raiz

Tratamento	Peso final (g)
T1	123,8 b
T2	346,4 a
T3	427,6 a
T4	355,4 a

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O expressivo crescimento radicular nos tratamentos adubados pode ser explicado pela alta necessidade de fósforo durante os primeiros estágios de desenvolvimento do milho. De acordo com Schachtman, Reid e Ayling (1998), a falta de fósforo compromete seriamente o crescimento das raízes, prejudicando a absorção de água e nutrientes e limitando o desenvolvimento geral da planta.

O fósforo tem um papel essencial na configuração da estrutura das raízes, pesquisas realizadas por López-Bucio, Cruz-Ramírez e Herrera-Estrella (2003) mostraram que plantas com acesso suficiente a este nutriente desenvolveram raízes mais longas, com mais ramificações e maior volume, características que melhoram a eficiência na captação de nutrientes.

Os resultados deste estudo estão alinhados com os de Wang et al. (2010), que observaram um aumento notável na biomassa das raízes em plantas de milho com suprimento adequado de fósforo. Os autores enfatizam que o desenvolvimento

do sistema radicular é uma estratégia chave da planta para maximizar a absorção do nutriente e otimizar o uso dos fertilizantes fosfatados.

Apesar do tratamento T3 ter apresentado a maior média de massa de raiz em números, não houve diferença estatística em comparação com as plantas submetidas aos tratamentos T2 e T4. Este padrão sugere que as doses aplicadas foram suficientes para satisfazer as necessidades nutricionais da cultura em termos de desenvolvimento radicular, e doses maiores não resultaram em aumentos proporcionais.

De acordo com Richardson et al. (2011), após um certo nível de fósforo disponível no solo, a resposta das plantas tende a se estabilizar devido à saturação dos processos fisiológicos de absorção e utilização do nutriente. Portanto, doses excessivas de fósforo nem sempre levam a aumentos significativos na biomassa radicular.

Os resultados indicam que a adubação fosfatada foi determinante para o estabelecimento inicial do milho, promovendo um desenvolvimento radicular superior e um maior acúmulo de biomassa quando comparado ao tratamento que não recebeu fósforo. O crescimento das raízes, impulsionado pela disponibilidade adequada do nutriente, é um fator importante para a eficiência na absorção de água e nutrientes e para o desenvolvimento posterior da planta.

4. CONCLUSÕES

A adubação fosfatada favoreceu o desenvolvimento inicial do milho, promovendo maior altura de plantas, maior diâmetro de colmo e maior massa de raiz em comparação ao tratamento sem fósforo.

A dose de 200 kg ha⁻¹ apresentou os melhores resultados para as variáveis avaliadas, demonstrando maior eficiência no desenvolvimento inicial da cultura. O aumento da dose para 300 kg ha⁻¹ não proporcionou ganhos significativos adicionais.

Dessa forma, conclui-se que o fornecimento adequado de fósforo é fundamental para o crescimento inicial do milho, sendo a dose de 200 kg ha⁻¹ a mais eficiente nas condições deste estudo.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMPONG, K.; WANG, X.; TOLLENAAR, M.; VYN, T. J. Phosphorus utilization efficiency among corn era hybrids released over seventy-five years. *Agronomy*, Basel, v. 15, n. 6, p. 1407, 2025. DOI: 10.3390/agronomy15061407.

BASTOS, Adelmo L. et al. Resposta do milho a doses de fósforo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 14, p. 485-491, 2010.

BRASIL, Koppn. Classificação climática de Koppen para os municípios brasileiros [em linha]. 2024.

CHEN, C.; XIANG, Y.; JIAO, X.; GONG, H. Enhancing maize phosphorus uptake with optimal blends of high and low-concentration phosphorus fertilizers. *Frontiers in Plant Science*, Lausanne, v. 15, art. 1451073, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1451073>

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. Produção de milho. Guaíba: Agropecuária, 2000.

FRANCO JÚNIOR, K. S.; DIAS, M. S.; RIBEIRO, V. M. et al. Disponibilidade de fósforo no solo em semanas sob diferentes fontes. *Research, Society and Development*, Vargem Grande Paulista, v. 13, n. 10, e87131047154, 2024. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v13i10.47154>.

GONG, H. et al. Complementary effects of phosphorus supply and planting density on maize growth and phosphorus use efficiency. *Frontiers in Plant Science*, Lausanne, v. 13, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.896781>.

GRANT, C. A.; FLATEN, D. N.; TOMASIEWICZ, D. J.; SHEPPARD, S. C. The importance of early season phosphorus nutrition. *Canadian Journal of Plant Science*, Ottawa, v. 81, n. 2, p. 211-224, 2001. DOI: 10.4141/P00-093.

GUO, H. L.; TIAN, M. Z.; RI, X.; CHEN, Y. F. Phosphorus acquisition, translocation and redistribution in maize: implications for nutrient use efficiency. *Journal of Genetics and Genomics*, Beijing, v. 52, n. 3, p. 287-296, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jgg.2024.09.018>

LOPEZ-BUCIO, J.; CRUZ-RAMÍREZ, A.; HERRERA-ESTRELLA, L. The role of nutrient availability in regulating root architecture. *Current Opinion in Plant Biology*, London, v. 6, n. 3, p. 280-287, 2003. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1369-5266\(03\)00035-9](https://doi.org/10.1016/S1369-5266(03)00035-9).

LUCENA, L. F. C.; OLIVEIRA, F. A.; SILVA, I. F.; ANDRADE, A. P. Resposta do milho a diferentes dosagens de nitrogênio e fósforo aplicados ao solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 4, n. 3, p. 334-337, 2000.

LYNCH, J. P. Root phenes for enhanced soil exploration and phosphorus acquisition: tools for future crops. *Plant Physiology*, Rockville, v. 156, n. 3, p. 1041-1049, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.111.175414>.

MALAVOLTA, E. Manual de nutrição mineral de plantas. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006.

MARSCHNER, P. Marschner's mineral nutrition of higher plants. 3. ed. London: Academic Press, 2012.

MCDOWELL, R. W.; PLETNYAKOV, P.; HAYGARTH, P. M. Phosphorus applications adjusted to optimal crop yields can help sustain global phosphorus reserves. *Nature Food*, London, v. 5, n. 4, p. 332-339, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1038/s43016-024-00952-9>.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R. F. et al. *Fertilidade do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 471-550.

RAIJ, B. van. *Fertilidade do solo e manejo de nutrientes*. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011.

RICHARDSON, A. E.; LYNCH, J. P.; RYAN, P. R.; DELHAIZE, E.; SMITH, F. A.; SMITH, S. E.; HARVEY, P. R.; RYAN, M. H.; VENEKLAAS, E. J.; LAMBERS, H. Plant and microbial strategies to improve the phosphorus efficiency of agriculture. *Plant and Soil*, Dordrecht, v. 349, p. 121-156, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-011-0950-4>.

RINGEVAL, B. et al. Limitation of maize potential yield by phosphorus at the global scale: model evidence. *Global Change Biology*, Hoboken, v. 31, e70485, 2025.

RUFF, O. J.; DUARTE, J. P.; SANTOS, C. C.; SANTOS, C. L. Doses de fósforo em híbridos de milho cultivados em solo arenoso. *Scientific Electronic Archives*, Sinop, v. 16, n. 5, p. 87-94, 2023. DOI: <https://doi.org/10.36560/16520231717>.

SCHACHTMAN, D. P.; REID, R. J.; AYLING, S. M. Phosphorus uptake by plants: from soil to cell. *Plant Physiology*, Rockville, v. 116, n. 2, p. 447-453, 1998. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.116.2.447>.

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

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

VANCE, C. P.; UHDE-STONE, C.; ALLAN, D. L. Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. *New Phytologist*, Cambridge, v. 157, n. 3, p. 423-447, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2003.00695.x>.

VON PINHO, R. G.; BORGES, I. D.; PEREIRA, J. L. A. Nutrição e adubação do milho. Lavras: UFLA, 2009.

WANG, X.; SHEN, J.; LIAO, H. Acquisition or utilization, which is more critical for enhancing phosphorus efficiency in modern crops? Plant Science, Amsterdam, v. 179, n. 4, p. 302-306, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2010.06.007>.