



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS – CAMPUS LAGOA DA CONFUSÃO
CURSO SUPERIOR EM ENGENHARIA AGRÔNOMICA

WALEFF RODRIGUES WEISS

MICRONUTRIENTES DO SOLO E SUA DINÂMICA, DISPONIBILIDADE E MANEJO DA
FERTILIZAÇÃO NA CULTURA DO MILHO

WALEFF RODRIGUES WEISS

MICRONUTRIENTES DO SOLO E SUA DINÂMICA, DISPONIBILIDADE E MANEJO DA
FERTILIZAÇÃO NA CULTURA DO MILHO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Bacharelado em
Engenharia Agrônômica da Unidade de Lagoa da
Confusão, do Instituto Federal do Tocantins, como
exigência à obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Agrônômica.

Orientador: Prof. Dr. Reinaldo Ferreira Medeiros
Coorientador: Prof. Dr. Rafael dos Santos Silva

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

W429m Weiss, Waleff Rodrigues
MICRONUTRIENTES DO SOLO E SUA DINÂMICA,
DISPONIBILIDADE E MANEJO DA FERTILIZAÇÃO NA CULTURA
DO MILHO / Waleff Rodrigues Weiss. – Lagoa da Confusão, TO,
2025.
31 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia
Agrônômica) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia
do Tocantins, Campus Lagoa da Confusão, Lagoa da Confusão, TO,
2025.

Orientador: Dr. Reinaldo Ferreira Medeiros
Coorientador: Dr. Rafael Dos Santos Silva Silva

1. micronutrientes. 2. Zea mays L.. 3. Fertilidade do solo. I.
Medeiros, Reinaldo Ferreira. II. Silva, Rafael Dos Santos Silva. III.
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
Reitoria
Campus Avançado Lagoa da Confusão
Coordenação do Curso Superior em Engenharia Agrônômica

FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO: “MICRONUTRIENTES DO SOLO E SUA DINÂMICA, DISPONIBILIDADE E MANEJO DA FERTILIZAÇÃO NA CULTURA DO MILHO”

AUTOR : Waleff Rodrigues Weiss

ORIENTADOR: Reinaldo Ferreira Medeiros

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, *Campus Avançado Lagoa da Confusão*, como parte das exigências para a conclusão do Curso de Bacharelado em Engenharia Agrônômica.

Reinaldo Ferreira Medeiros (Orientador)

Rafael dos Santos Silva (Avaliador 1)

Juliano Magalhães Barbosa (Avaliador 2)

Aprovado em 25 de junho de 2025



Documento assinado eletronicamente por **Reinaldo Ferreira Medeiros, Gerente**, em 04/07/2025, às 10:07, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Rafael dos santos Silva, Usuário Externo**, em 07/07/2025, às 16:35, 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 **Juliano Magalhães Barbosa, Servidor**, em 09/07/2025, às 12:44, 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 **2823324** e o código CRC **8D31E931**.

Rua 02, Quadra 05A, Lote 01, Setor Lagoa da Ilha — CEP 77.493-000 — Lagoa da Confusão/TO
portal.iftto.edu.br — reitoria@iftto.edu.br

Referência: Processo nº 23235.014151/2025-53

SEI nº 2823324

Aos meus pais, pelo amor incondicional, pelos conselhos, pelo exemplo de honestidade e por sempre acreditarem em mim. Sem o apoio de vocês, essa conquista não seria possível.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, por me conceder saúde, sabedoria e perseverança durante todo o percurso desta jornada.

Agradeço imensamente ao meu orientador Prof. Dr. Reinaldo Ferreira Medeiros e meu coorientador Rafael dos Santos Silva, por sua paciência, dedicação e orientações valiosas. Suas expertises e contribuições foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho.

A todos os professores desta renomada instituição de ensino, minha gratidão por todo o conhecimento compartilhado ao longo do curso. Suas aulas e conselhos me proporcionaram uma formação sólida e foram um grande incentivo para a realização deste projeto.

A minha família, em especial meus pais, por todo o apoio emocional, compreensão e incentivo nos momentos mais desafiadores. Sem o amor e a força de vocês, nada disso seria possível.

Aos meus amigos, que sempre estiveram ao meu lado, me oferecendo apoio, palavras de encorajamento e compreensão. A amizade de cada um de vocês fez toda a diferença nesta caminhada.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho, meu sincero agradecimento.

RESUMO

O milho (*Zea mays L.*), originário do México, é uma cultura de grande relevância econômica e alimentar no Brasil e no mundo. Sua produtividade está diretamente relacionada à disponibilidade de nutrientes no solo, com destaque para os micronutrientes como zinco (Zn), ferro (Fe), manganês (Mn) e cobre (Cu), essenciais para o desenvolvimento fisiológico das plantas. A deficiência ou o desequilíbrio desses elementos, influenciados por fatores como pH do solo, textura e matéria orgânica, pode comprometer a fotossíntese, o crescimento radicular e a resistência a doenças, afetando negativamente o rendimento da cultura. A correta adubação e o manejo nutricional são fundamentais para garantir a sustentabilidade agrícola, principalmente em solos menos férteis ou de uso intensivo. O trabalho propõe analisar a disponibilidade de micronutrientes no solo e na planta, correlacionando-os com parâmetros biométricos do milho ao longo dos seus estágios fenológicos, a fim de promover um manejo mais eficiente e equilibrado.

Palavras-chave: Fertilidade do solo. *Zea mays L.* manejo nutricional.

ABSTRACT

Maize (*Zea mays L.*), originally domesticated in Mexico, is a crop of significant economic and nutritional importance in Brazil and worldwide. Its productivity is closely linked to the availability of soil nutrients, particularly micronutrients such as zinc (Zn), iron (Fe), manganese (Mn), and copper (Cu), which are essential for various physiological processes in plants. Deficiencies or imbalances of these elements—often influenced by factors such as soil pH, texture, and organic matter content—can impair photosynthesis, root development, and disease resistance, ultimately reducing crop yield. Proper fertilization and nutrient management practices are critical for ensuring agricultural sustainability, especially in soils that are either low in natural fertility or subjected to intensive use. This study aims to assess the availability of micronutrients in both soil and plant tissues and to correlate these levels with biometric parameters of maize at different phenological stages, with the goal of supporting more efficient and balanced nutrient management strategies.

Keywords: Soil fertility. *Zea mays L.* nutritional management.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tratamento e dosagem recomendada para 30 metros quadrados por parcela.....	22
Tabela 2 - Cronograma de atividades para realização do projeto	23
Tabela 3 - Orçamento de custos estimado para realização do projeto.....	24

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	11
2.	PROBLEMA DE PESQUISA	12
3.	JUSTIFICATIVA.....	12
4.	OBJETIVOS	13
4.1	Objetivo geral	13
4.2	Objetivos específicos	13
5.	REVISÃO DE LITERATURA	13
5.1	Produção de Milho no Brasil e no Tocantins	13
5.2	Fertilidade do solo (macronutrientes e micronutrientes)	14
5.3	Macronutrientes	15
5.3.1	Macronutrientes Primários	15
5.3.2	Macronutrientes Secundário	16
5.4	Micronutrientes	17
5.4.1	Micronutriente no solo	18
5.4.2	Micronutriente na folha.....	19
5.4.3	Dinâmica dos Micronutrientes no Milho	20
5.5	Produtividade do Milho.....	20
6.	MATERIAIS E MÉTODOS	21
7.	CRONOGRAMA	23
8.	ESTIMATIVA DE GASTO ORÇAMENTÁRIO.....	24
9.	RESULTADOS ESPERADOS	25
	REFERÊNCIAS.....	25

1. INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays L.*) é uma gramínea, da família Poaceae, originária do México, e se destaca como uma das principais culturas agrícolas no mundo (DUARTE *et al.* 2022). Segundo a CONAB (2025), a estimativa para a safra 2024/25 de grãos no Brasil é de cerca 328,3 milhões de toneladas. Sendo de grande importância econômica, o milho apresenta diversas finalidades, dentre elas o uso para consumo humano, ração animal e produção de biocombustível (MENOSSEI *et al.*, 2022).

A produtividade do milho está relacionada aos nutrientes do solo, incluindo micronutrientes que são elementos essenciais para a planta, como zinco (Zn), ferro (Fe), manganês (Mn) e cobre (Cu) (SANTOS *et al.*, 2021). De acordo com Mendes *et al.*, (2018), a falta dos micronutrientes no solo pode afetar de maneira significativa a produtividade e a qualidade dos grãos. Embora esses micronutrientes sejam requeridos em quantidades consideravelmente menores, em relação aos macronutrientes que compõem os insumos agrícola, a sua ausência ou um desbalanceamento no solo podem ocasionar danos significativos à planta, comprometendo processos como fotossíntese, crescimento radicular e resistência a diversas doenças (SILVA *et al.*, 2019).

Os micronutrientes no solo, pode ser influenciado a sua disponibilidade por fatores como pH, textura e a presença de matéria orgânica (M.O), e devem ser utilizadas com precaução para garantir a disponibilidade desses nutrientes e prevenir a deficiência da planta (BELMIRO *et al.* 2022)

Brites *et al.* (2017) indicam que a prática inadequada da adubação pode aumentar as deficiências nutricionais, e ainda reduzir a qualidade do solo, ao longo prazo, prejudicando a sustentabilidade agrícola. A fertilidade do solo, portanto, emerge como um aspecto fundamental para a produção agrícola em nível global, especialmente na cultura de milho, que é uma das principais fontes de alimentação e cultivo do mundo (SANTOS, 2022).

Conforme destacado por Costa (2008), a deficiência tem sido comum em solos menos férteis, que foram recentemente incorporados ao sistema agrícola, bem como em áreas de cultivo intensivo. A disponibilidade desses micronutrientes é fundamental para o bom desenvolvimento das plantas, visto que, podem impactar diretamente, tanto na produtividade quanto na qualidade do milho.

Diante disso, objetiva-se com esse pré-projeto a planificação de análises da disponibilidade dos micronutrientes no solo e suas disponibilidades para as plantas, além de discutir as melhores práticas de adubação para o cultivo do milho.

2. PROBLEMA DE PESQUISA

Apesar da reconhecida importância dos micronutrientes para o crescimento e produtividade da cultura do milho, ainda são comuns os desequilíbrios nutricionais em áreas de cultivo, muitas vezes decorrentes da baixa disponibilidade desses elementos no solo ou do manejo inadequado da adubação.

Considerando as variações nas condições edafoclimáticas, nos tipos de solo e nas práticas agrícolas adotadas, surge a seguinte questão: Como a disponibilidade de micronutrientes no solo influencia o desenvolvimento vegetativo e a produtividade da cultura do milho, e de que forma o manejo nutricional pode ser ajustado para promover um equilíbrio eficiente desses elementos ao longo dos estádios fenológicos da planta.

3. JUSTIFICATIVA

A adequada disponibilidade de micronutrientes no solo constitui fator determinante para o desempenho fisiológico das plantas, influenciando diretamente a produtividade e a qualidade das culturas agrícolas. No caso do milho (*Zea mays L.*), uma das espécies mais expressivas em termos de importância econômica e alimentar no cenário global, o suprimento equilibrado de micronutrientes como zinco (Zn), ferro (Fe), manganês (Mn), cobre (Cu) e boro (B) é essencial para maximizar o rendimento e garantir o desenvolvimento vegetativo e reprodutivo pleno.

A presente proposta justifica-se pela necessidade de aprofundar o entendimento sobre a dinâmica de disponibilidade desses elementos no solo e sua absorção pelas plantas ao longo do ciclo da cultura. O estudo é particularmente relevante para o avanço do conhecimento na área da Ciência do Solo e para o aprimoramento de estratégias de manejo nutricional na cultura do milho. Além disso, contribui para a adoção de práticas de adubação mais eficientes, sustentáveis e baseadas em critérios técnicos, reduzindo os riscos associados à aplicação excessiva ou deficiente de insumos.

Assim, espera-se que os dados obtidos subsidiem recomendações agronômicas voltadas ao uso racional de fertilizantes, promovendo a sustentabilidade dos sistemas produtivos e a melhoria da eficiência agronômica do cultivo do milho em diferentes condições edafoclimáticas.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo geral

Avaliar os teores de micronutrientes disponíveis no solo e na parte aérea da cultura do milho, correlacionando-os com o desenvolvimento vegetativo e os processos fisiológicos relacionados à produtividade.

4.2 Objetivos específicos

- Realizar a análise química do solo para determinar os teores de micronutrientes disponíveis antes da semeadura e durante o ciclo da cultura do milho.
- Determinar os teores de micronutrientes nas folhas de milho no estágio fenológico V8, considerado fase crítica do desenvolvimento vegetativo.
- Avaliar parâmetros biométricos da cultura do milho, incluindo altura de planta, diâmetro do colmo e número de folhas por planta.
- Identificar possíveis deficiências ou desequilíbrios nutricionais com potencial impacto negativo sobre o desempenho produtivo da cultura.
- Correlacionar os teores de micronutrientes no solo e na parte foliar com os parâmetros biométricos, visando compreender a influência desses elementos no desenvolvimento do milho.

5. REVISÃO DE LITERATURA

5.1 Produção de Milho no Brasil e no Tocantins

O Brasil é considerado um dos países com maior produção de milho à nível global, e vem desenvolvendo um papel fundamental na economia agrícola e na segurança alimentar, conforme destacado por Quintam *et al.*(2023).

No Brasil, a produção desse grão ocorre em diversas partes do país, contribuindo significativamente para o somatório nacional, conforme dados da CONAB (2025). Ainda de acordo com estimativa realizada pelo órgão, os Estados do Mato Grosso produz cerca de 46779,2 mil toneladas, o Paraná cerca de 16.757,5 mil toneladas e o Goiás cerca de 12.102,6 mil toneladas sendo considerados um dos principais produtores do grão, uma vez que, esses Estados apresentam condições favoráveis ao plantio do milho. O Brasil possui múltiplas safras ao decorrer do ano, devido à variedade geográfica existente no país (GALVÃO *et al.*, 2017).

Segundo dados da CONAB (2025), no Brasil o plantio do milho é dividido entre duas a três safras, dependendo da localidade, sendo a primeira e a segunda considerada uma das principais safras. De acordo com a EMBRAPA (2019), a segunda safra, geralmente é plantada após a colheita da soja, e esse tipo de manejo vem conquistando visibilidade devido a sua alta produtividade. Além disso, conforme a instituição, este sistema de plantio permite otimizar a utilização da terra, e consequentemente aumentar o capital dos agricultores.

No cenário da agricultura tocaninenses, “o milho vem sendo no Estado do Tocantins uma das culturas mais cultivadas, com expansão em produção e área cultivada nos últimos anos” (REIS *et al.*, 2024, p. 3). Na safra 2024/2025, o Tocantins produziu cerca de 2.395,6 mil toneladas, com uma produtividade de aproximadamente 5.466 Kg por hectare (CONAB, 2025). Esse volume de produção pode aumentar ainda mais, através do manejo adequado do solo e otimização de nutrientes da planta.

5.2 Fertilidade do solo (macronutrientes e micronutrientes)

As propriedades do solo exercem grande influência sobre a fertilidade e a produtividade agrícola. Por isso, compreender a fertilidade do solo é fundamental, pois ela está diretamente ligada à capacidade de suprir os nutrientes necessários para o desenvolvimento saudável das plantas. (BLANK *et al.*, 2024)

Saldanha *et al.* (2016), destaca que, a fertilidade do solo está associada ao potencial da terra em fornecer nutrientes em medidas satisfatórias para o desenvolvimento da planta. Ainda segundo o mesmo autor, "Os nutrientes são divididos em dois grupos, cada um com sua particularidade. Esses grupos são denominados de macronutrientes e micronutrientes" (SALDANHA *et al.*, 2016, p. 31).

Os macronutrientes são elementos exigidos em maiores quantidades pelas plantas e incluem nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S). Já os micronutrientes, embora necessários em menores concentrações, são igualmente essenciais para o metabolismo vegetal, destacando-se o ferro (Fe), zinco (Zn), cobre (Cu), molibdênio (Mo), manganês (Mn) e boro (B) (SALDANHA, 2022).

Desta forma, a fertilidade do solo é fundamental para a produtividade da cultura. De acordo com Ramalho *et al.* (2023), a presença de uma fertilidade adequada do solo é um requisito essencial para a viabilidade de sistemas agrícolas que sejam tanto lucrativos quanto sustentáveis. Além disso, é de suma importância os nutrientes na fertilidade do solo, uma vez que, tanto os macronutrientes como micronutrientes contribuem para o melhoramento do solo, além do desenvolvimento das plantas.

5.3 Macronutrientes

Os macronutrientes, são subdivididos em dois grupos: os primários e secundário. Os macronutrientes primário englobam nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), são utilizados em quantidades mais elevadas e são considerados primordiais para a fisiologia da planta. Já os macronutrientes secundários, embora também indispensáveis como cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S) são responsáveis pelo metabolismo e desenvolvimento da planta saudável (JESUS, 2021).

5.3.1 Macronutrientes Primários

O nitrogênio (N) é responsável pela síntese proteínas, ácidos nucleicos (RNA e DNA) e clorofila. Esses componentes são fundamentais para o crescimento, a realização da fotossíntese e o funcionamento do metabolismo vegetal. No solo, o nitrogênio é absorvido pelas plantas na forma de nitrato (NO_3^-) ou amônio (NH_4^+). Sua deficiência pode causar sintomas visíveis, como a clorose (amarelamento das folhas), comprometendo o desenvolvimento da planta (SOUZA, 2024).

Fósforo (P) é um nutriente essencial para o bom funcionamento das plantas, participando de diversos processos que influenciam diretamente no seu crescimento e desenvolvimento. Ele é um dos principais componentes do ATP (adenosina

trifosfato), molécula responsável pelo armazenamento e pela transferência de energia dentro das células. Além disso, o fósforo faz parte do DNA e do RNA, sendo fundamental na formação de proteínas e na divisão celular. Quando há deficiência de fósforo, as raízes são afetadas, o que prejudica a fotossíntese e reduz a produção de biomassa. Como resultado, a planta pode apresentar crescimento limitado e menor capacidade de reprodução (GIELOW, 2023).

O potássio (K) é outro nutriente vital, cuja principal função está relacionada à regulação da abertura e fechamento dos estômatos — estruturas responsáveis pela troca de gases e controle da transpiração nas folhas. Dessa forma, o potássio auxilia na manutenção do equilíbrio hídrico das células, contribuindo para o crescimento vegetal e aumentando a tolerância das plantas a estresses ambientais, como seca e altas temperaturas (PEREIRA, 2025).

5.3.2 Macronutrientes Secundário

O magnésio (Mg) está no centro da molécula de clorofila, o pigmento responsável por captar a luz do sol e, por isso, é fundamental para que as plantas consigam transformar a luz solar em energia. Sem magnésio, a planta não consegue produzir clorofila de forma adequada, o que leva ao amarelamento das folhas (clorose) e à redução da capacidade de realizar fotossíntese, prejudicando o crescimento e a produtividade (MACIEL, 2024).

O enxofre participa da formação de aminoácidos, que são os blocos de construção das proteínas. O enxofre geralmente está presente no solo na forma de sulfato, que é absorvido pelas raízes e levado para o restante da planta. Lá, ele ajuda a formar aminoácidos como a cisteína e a metionina, essenciais para a construção das proteínas que garantem o crescimento saudável da planta (BORGES, 2024)

Cálcio (Ca) participa na formação da parede das células, garantindo rigidez e estabilidade às estruturas vegetais. Além de sua função estrutural, o cálcio também atua na comunicação entre as células, ajudando a planta a reagir a situações de estresse, como seca ou doenças, e controlando o crescimento. Ele é fundamental no processo de divisão celular, pois sua presença em níveis adequados garante o desenvolvimento correto das novas células. Quando há deficiência de cálcio, podem surgir problemas como o apodrecimento nas extremidades das plantas, o que destaca

a importância desse nutriente para a saúde e o bom desenvolvimento das culturas (SÁ *et al.* 2024).

5.4 Micronutrientes

Os micronutrientes são elementos requeridos em pequenas quantidades pelas plantas, porém desempenham funções essenciais para o seu crescimento, desenvolvimento e metabolismo fisiológico. Entre eles estão o ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn), cobre (Cu), molibdênio (Mo), boro (B) e cloro (Cl). Mesmo em quantidades mínimas, esses elementos participam de processos essenciais para o funcionamento das plantas. Quando estão em falta ou em desequilíbrio, podem causar problemas como estresse, queda na produtividade e perda da qualidade dos produtos colhidos (LUCIANO *et al.* 2024).

O cobre (Cu) é um micronutriente essencial ao crescimento e desenvolvimento das plantas, ainda que requerido em quantidades reduzidas. Desempenha papéis fundamentais em diversos processos metabólicos, incluindo a fotossíntese, a geração de energia celular e a síntese de lignina, composto estrutural responsável pelo fortalecimento de tecidos vegetais, especialmente caules e ramos (ROSA, 2022).

O ferro (Fe) é um micronutriente que constitui 5% da crosta terrestre é resultante da presença dos óxidos livres, mesmo sendo necessário em pequenas quantidades, ele é muito importante para vários processos vitais, como a fotossíntese, a respiração celular e a produção de clorofila, que é o pigmento que dá a cor verde às folhas e permite que a planta produza seu próprio alimento. Quando há ferro suficiente no solo, ele ajuda no transporte de oxigênio dentro das células e contribui para o crescimento saudável das plantas. Apesar de o ferro não formar hemoglobina nas plantas (como acontece nos animais), ele tem funções parecidas, ligadas ao transporte de substâncias importantes (REZENDE *et al.* 2021).

O molibdênio (Mo) é um micronutriente essencial que desempenha um papel crítico na fisiologia das plantas, particularmente na fixação de nitrogênio e no metabolismo de certos componentes bioquímicos. Portanto, a baixa disponibilidade destes micronutrientes no solo, mesmo que estes sejam exigidos em pequenas quantidades pela planta, podem ocasionar deficiência de nitrogênio (FELDMANN *et al.*, 2023).

O boro (B) é um micronutriente essencial que desempenha um papel crucial tanto na saúde do solo quanto no crescimento das plantas. Sua presença participa em

processos como a divisão celular, o transporte de açúcares e a síntese da parede celular (MOREIRA, 2025).

Segundo Barbosa (2023), O manganês (Mn) tem papel importante no funcionamento de diversas enzimas, o que influencia diretamente processos como a absorção de nutrientes e a fotossíntese. Um dos papéis mais importantes do manganês é sua participação na fotólise da água, uma etapa fundamental da fotossíntese. Nessa etapa, o manganês ajuda a quebrar as moléculas de água, liberando oxigênio — processo que ocorre no chamado Fotossistema II. Se faltar manganês, a fotossíntese fica menos eficiente, o que pode prejudicar o crescimento da planta.

Cloro (Cl) Esse elemento atua principalmente na forma de íon cloreto, que ajuda a controlar a entrada e saída de água nas células. Isso é importante especialmente quando a planta está em situações de falta de água, pois o cloro ajuda a controlar a abertura dos estômatos — pequenas estruturas nas folhas que regulam a transpiração e a troca de gases com o ambiente (BARBOSA, 2023).

5.4.1 Micronutriente no solo

A disponibilidade dos micronutrientes no solo pode ser influenciada por fatores como o pH, a textura, o tipo de mineral presente, o teor de matéria orgânica, a umidade e as condições de oxirredução. Por exemplo, em solos mais alcalinos, geralmente há uma menor disponibilidade de elementos como ferro, manganês, zinco e cobre, enquanto o molibdênio tende a se tornar mais disponível. Já em solos arenosos, que têm baixa capacidade de retenção, é comum a ocorrência de lixiviação, o que facilita a perda desses nutrientes e pode acabar prejudicando o desenvolvimento das plantas (SANTOS, 2021).

O pH do solo é um dos principais fatores que influenciam a disponibilidade de micronutrientes para as plantas. Em solos ácidos, elementos como manganês e alumínio se tornam mais solúveis e, portanto, mais facilmente absorvidos. No entanto, quando o pH é muito baixo, esses nutrientes podem atingir níveis tóxicos. Por outro lado, em solos com pH elevado, micronutrientes como ferro e zinco podem se precipitar, o que dificulta sua absorção pelas plantas (SOUZA, 2024).

A perda de nutrientes do solo pode ocorrer devido a diversos fatores, incluindo erosão, lixiviação, volatilização e nitrificação. Esses processos aumentam a demanda

por nutrientes no solo, tornando essencial o manejo adequado para manter a fertilidade e a produtividade das culturas (SANTOS, 2021).

A matéria orgânica e a capacidade de troca catiônica (CTC) do solo são fatores importantes para a retenção e disponibilidade de micronutrientes. A matéria orgânica funciona como um reservatório, contribuindo para aumentar a solubilidade de alguns micronutrientes e facilitando sua movimentação no solo (SILVA, 2023).

5.4.2 Micronutriente na folha

A adubação foliar consiste na aplicação direta de nutrientes sobre as folhas das plantas, permitindo a assimilação desses elementos por meio do tecido foliar. Entretanto, essa técnica não substitui a adubação tradicional via solo, que ocorre pela absorção radicular, visto que, as quantidades de nutrientes necessárias para o desenvolvimento das culturas, normalmente são maiores do que aquelas que podem ser fornecidas pela via foliar. Por isso, a adubação foliar deve ser empregada como uma estratégia complementar dentro do manejo nutricional, especialmente em fases críticas do crescimento, quando há demanda específica por determinados nutrientes ou em situações em que condições adversas do solo limitam a disponibilidade mineral para as plantas (NACHTIGALL, 2010).

Neste contexto, compreender o momento adequado para a aplicação dos micronutrientes é fundamental, uma vez que, a recomendação é que ela seja feita a cobertura quando o milho estiver com quatro folhas completamente desenvolvidas. Isto garante que os nutrientes estejam disponíveis a partir da emissão da quinta folha, fase em que a planta começa a apresentar um aumento expressivo na demanda nutricional (FRIGONI 2004). Ainda segundo o autor, até a quarta folha, tanto a absorção quanto a necessidade de nutrientes ainda são relativamente baixas. A partir da quinta folha, no entanto, ocorre uma intensificação no crescimento, e consequentemente na absorção de nutrientes, sendo essencial que eles já estejam acessíveis para evitar impactos negativos na produtividade.

As funcionalidades dos micronutrientes nas folhas do milho são inúmeras. O ferro é fundamental para a síntese da clorofila e respiração da célula, enquanto o manganês está envolvido na fotossíntese e no transporte de elétrons. O zinco é importante para a síntese de proteínas e regulação hormonal, afetando o crescimento das células. De acordo com Ferreira *et al.* (2012), "a deficiência de ferro causa clorose

nas folhas mais jovens, enquanto a deficiência de manganês provoca clorose interveinal nas folhas novas". Além disso, a deficiência de zinco resulta em "zonas cloróticas amarelas-brancas que correm paralelas à nervura central, começando na base das folhas, dando à folha uma aparência listrada" (YARA BRASIL, 2025).

5.4.3 Dinâmica dos Micronutrientes no Milho

A dinâmica dos micronutrientes no cultivo do milho representa um componente fundamental para garantir a nutrição vegetal e o alcance do potencial produtivo da cultura. Micronutrientes como zinco (Zn), ferro (Fe), cobre (Cu) e manganês (Mn) são indispensáveis às plantas, mesmo em quantidades muito reduzidas, pois participam diretamente na fotossíntese, metabolismo energético e síntese de enzimas específicas em processos bioquímicos e fisiológicos. Como ressalta Epstein *et al.* (2006), "os micronutrientes atuam como cofatores enzimáticos e reguladores de metabolismo, sendo vitais ao crescimento vegetal".

Compreender o comportamento dos micronutrientes no sistema solo-planta, e de grande importância garantir uma nutrição equilibrada, esse processo começa com a disponibilidade dos elementos no solo, passa pela absorção pelas raízes e continua com sua redistribuição dentro da planta. Tudo isso é fortemente influenciado pelas características do solo, como pH, presença de matéria orgânica e sua textura, além das práticas agrícolas utilizadas. Esses fatores têm influência direta na solubilidade e, conseqüentemente, na disponibilidade dos micronutrientes para as culturas (MATOS, 2024).

Além dos aspectos relacionados ao solo, as condições ambientais também desempenham papel decisivo. A umidade, por exemplo, influencia diretamente a mobilidade dos nutrientes: solos excessivamente secos dificultam a absorção por imobilização dos elementos, enquanto solos encharcados favorecem a lixiviação, reduzindo sua disponibilidade (FAQUIN, 2021). Outro fator relevante é a ação dos microrganismos presentes no solo, os quais contribuem significativamente para a biodisponibilidade de nutrientes, solubilizando compostos minerais que, de outra forma, estariam indisponíveis às plantas (GOMES, 2016).

5.5 Produtividade do Milho

A produtividade do milho é influenciada por diversos fatores, como clima, manejo do solo e práticas agrícolas adotadas. (PEREIRA,2012). A adoção de práticas sustentáveis, como a rotação de culturas e a aplicação racional de fertilizantes, tem se mostrado fundamental para preservar o solo e garantir a produtividade a longo prazo (ALCÂNTARA, 2022).

Os micronutrientes são elementos essenciais para o desenvolvimento das plantas, mesmo sendo necessários em pequenas quantidades. Eles participam de processos vitais, como fotossíntese, síntese de proteínas e respiração celular, influenciando diretamente a produtividade e a qualidade dos grãos. Apesar de serem exigidos em menores quantidades que os macronutrientes, são indispensáveis para o bom funcionamento metabólico e bioquímico das plantas (ALVES *et al.*, 2022).

Estudos demonstram que a aplicação adequada de micronutrientes não apenas aumenta a produtividade, mas também melhora a qualidade dos grãos, refletindo-se em atributos como teor de amido, proteínas e micronutrientes, contribuindo assim para a segurança alimentar, conforme enfatizado por (SANTOS *et al.*, 2023).

6. MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento será conduzido em uma área experimental do Instituto Federal do Tocantins, Campus Lagoa da Confusão, coordenadas (10°44'21.48"S 49°35'31.08"W a 238 m de altitude), no município de Lagoa da Confusão, Estado do Tocantins, no qual a região possui histórico de cultivo de milho.

O experimento será conduzido em delineamento de blocos casualizados (DBC), com quatro repetições e nove tratamentos, totalizando 36 parcelas de 10 linhas com espaçamento 0,50, sendo 5 metros de largura e 6 metros de comprimento, ressaltando que não serão avaliadas as bordaduras, a fim de evitar interferência entre o tratamento. Essa estrutura permitirá controlar melhor a variabilidade do solo na área experimental, além de proporcionar maior segurança na análise estatística dos dados, conforme recomenda Moraes (2021).

Os tratamentos dos micronutrientes serão definidos com base nos resultados da análise de solo, para as coletas do solo serão utilizada um trado holandês, com profundidade de 0 a 20 cm, sendo feitas análise antes da semeadura.

Poderá ser aplicados diferentes tipos de dosagens de micronutrientes, tanto via foliar, quanto via solo, conforme a necessidade após avaliação, na qual permitirá determinar os teores disponíveis de micronutrientes e realizar aplicação de acordo com o tratamento e dosagem recomendada Melo *et al.* (2017). A Tabela 1 apresenta o detalhamento dos tratamentos realizados em parcelas de 30 m².

Tabela 1 - Tratamento e dosagem recomendada para 30 metros quadrados por parcela

Tratamento	Aplicação	Micronutrientes Aplicados	Estágio de Aplicação
Tratamento 1	Testemunha	Nenhuma aplicação	–
Tratamento 2	Solo – Zn	54,5 g de sulfato de zinco	No plantio
Tratamento 3	Solo – Zn + Mn	Zn: 54,5 g + Mn: 32,9 g	No plantio
Tratamento 4	Solo – Zn + Mn + B	Zn: 54,5 g + Mn: 32,9 g + B: 46,4 g	No plantio
Tratamento 5	Foliar – todos	Zn: 6 g, Mn: 6 g, B: 3,6 g, Cu: 3,6 g, Fe: 2,4 g, Mo: 0,6 g	V4 (4 folhas)
Tratamento 6	Solo – todos	Zn: 54,5 g, Mn: 32,9 g, B: 46,4 g, Cu: 13,2 g, Fe: 48,5 g, Mo: 0,068 g	No plantio
Tratamento 7	Solo – metade da dose	Metade das doses do T6: Zn: 27,3 g, Mn: 16,5 g, B: 23,2 g, Cu: 6,6 g, Fe: 24,3 g, Mo: 0,034 g	No plantio
Tratamento 8	Foliar – metade da dose	Metade do T5: Zn: 3 g, Mn: 3 g, B: 1,8 g, Cu: 1,8 g, Fe: 1,2 g, Mo: 0,3 g	V4 (4 folhas)
Tratamento 9	Solo + foliar – todos	Zn: 6 g, Mn: 6 g, B: 3,6 g, Cu: 3,6 g, Fe: 2,4 g, Mo: 0,6 g	Solo: plantio; Foliar: V4

A dosagem da área foliar é indicada para 1,2 litros.

Fonte: Autor, 2025

A aplicação via foliar será realizada no estágio V4, quando o milho apresenta quatro folhas completamente desenvolvidas. Esse momento é estratégico para garantir que os micronutrientes atinjam as folhas mais novas, favorecendo o desenvolvimento da planta e garantindo a produtividade.

A análise foliar será realizada no estágio V8 do milho, fase em que a planta apresenta oito folhas completamente desenvolvidas, sendo elas coletada no terço médio da planta, as folhas serão lavadas, secas em estufas com circulação de ar a 65 °C, moídas e encaminhadas para análise laboratorial. Serão quantificados os teores

dos mesmos micronutrientes analisados no solo, a fim de comparar sua disponibilidade e absorção pelas plantas.

Serão avaliados, ao longo do ciclo da cultura, parâmetros biométricos como altura de planta, diâmetro do colmo, número de folhas e inserção da espiga. Na fase de colheita, serão mensurados o número de espigas por planta, massa de 100 grãos e produtividade (kg/ha).

Os resultados obtidos serão submetidos à análise de variância, e as médias comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade do erro, utilizando-se o software R versão 4.2.0 (R CORE TEAM, 2022).

Esses dados permitirão identificar possíveis efeitos dos tratamentos com micronutrientes no desenvolvimento e no rendimento do milho, como indicado por Silva *et al.* (2006), que afirmam que “a resposta do milho à adubação com micronutrientes pode ser observada tanto no crescimento vegetativo quanto na produtividade de grãos”.

7. CRONOGRAMA

Tabela 2 - Cronograma de atividades para realização do projeto

Atividades	2025	2025	2025	2025	2025	2025	2025	2026	2026
	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Nov.	Jan.	Fev.
Revisão bibliográfica		X	X	X	X	X	X		
Escolha da área experimental				X					
Plantio							X		
Avaliações								X	
Análise estática									X
Interpretação dos resultados									X
Elaboração do TCC		X	X	X	X	X			
Defesa						X			

Fonte: Autor, 2025

8. ESTIMATIVA DE GASTO ORÇAMENTÁRIO

A estimativa de gastos, referente a esse experimento, abrange desde a aquisição das sementes até as etapas de manutenção e avaliações, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 - Orçamento de custos estimado para realização do projeto

Descrição	Unid.	Quant.	Valor Unitário	Valor Total
Quelato Adubo Fertilizante Zinco 16%	Litros	1	R\$ 59,90	R\$ 59,90
Prime Mn	Litros	1	R\$ 65,00	R\$ 65,00
Flex Cooper	Litros	1	R\$ 56,90	R\$ 56,90
BoroPlux	Litros	1	R\$ 89,00	R\$ 89,00
MultiFerro	Litros	1	R\$ 59,90	R\$ 59,90
Fertilizante Cobalto Mais Molibdênio	Litros	1	R\$ 187,79	R\$ 187,79
Sulfato De Zinco	KG	1	R\$ 25,90	R\$25,90
sulfato de Mn	KG	1	R\$ 11,90	R\$ 11,90
Boro 10 Granulado	KG	1	R\$ 69,90	R\$ 69,90
Sulfato Cobre	KG	1	R\$52,90	R\$52,90
Sulfato Ferro	KG	1	R\$16,90	R\$16,90
Molibdato de sódio	Kg	1	R\$ 60,95	R\$ 60,95
Agromix BR12	KG	25	R\$ 11,91	R\$ 297,78
Sementes de milho híbrido (tratadas)	KG	6	R\$ 11,43	R\$ 68,98
Análise de solo com micronutrientes	Unidade	1	R\$ 120,00	R\$ 120,00

Análise foliar com micronutrientes	Unidade	1	R\$ 150,00	R\$ 150,00
Bandeirinhas	Unidade	50	R\$ 3,56	R\$ 178,00
Pulverizador Costal à Gasolina 2T 26CC	Unidade	1	R\$ 1.458,64	R\$1.458,64
KIT de EPI para aplicação	Unidade	1	R\$ 192,97	R\$ 192,97
Deslocamento	Km	10	R\$ 6,00	R\$ 60,00
Total				R\$ 3.283,31

Fonte: Autor, 2025

9. RESULTADOS ESPERADOS

Com este projeto, espera-se compreender a dinâmica dos micronutrientes no solo e na planta da cultura do milho, bem como identificar possíveis fatores que influencia na sua disponibilidade.

Ao final do estudo, a pesquisa evidenciara quais os micronutrientes necessário para o desenvolvimento do milho na área do experimento é seu impacto na produtividade, bem como avaliação da eficiência das estratégias de manejo dos micronutrientes via solo e foliar. Além disso, pretende-se, também, gerar dados que auxiliem no uso racional dos insumos agrícolas

Portanto, este projeto estabelece as bases para um estudo que poderá oferecer contribuições relevantes tanto para o avanço técnico-científico quanto para a prática agrícola, promovendo um sistema de produção mais equilibrado, eficiente e ambientalmente responsável no cultivo do milho.

REFERÊNCIAS

ALCÂNTARA, Flávia Aparecida de; STONE, Luís Fernando; HEINEMANN, Alexandre Bryan; MARTINS, Éder de Souza. **Atributos do solo e produtividade de milho em sistema agroecológico após adubação verde e fertilizantes orgânicos**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, Embrapa Arroz e Feijão, v. 62, 2022. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1148817/1/bpd-62-2022.pdf>. Acesso em: 10 maio 2025.

ALVES, C. R.; SILVA, E. C.; BARBARÁ, M. A. **Uso de estimulante e adubo foliar na cultura do milho.** Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, v. 13, n. 2, 2022. Disponível em: <https://periodicorease.pro.br/rease/article/download/7241/2822>. Acesso em: 18 maio 2025.

ALVES, Celso Rocha; SILVA, Evandro Carlos; BARBARÁ, Mariane Aparecida; ORTIN, Sileno Marcos Araujo. **Uso de estimulante e adubo foliar na cultura do milho.** Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação, São Paulo, v. 8, n. 10, p. 1358–1369, out. 2022. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/21d5/35ad55a04af63829456d4e66547699b17885.pdf>. Acesso em: 20 de março de 2025

BARBOSA, A. I. L. **Práticas sustentáveis escolares: a importância dos nutrientes do solo para a produção de alimentos orgânicos.** 2023. Disponível em: <https://repositorio.ifpb.edu.br/bitstream/177683/3745/1/TCC%20-%20Antonia%20Ilza%20Leal%20Barbosa.pdf>. Acesso em: 15 maio 2025.

BLANK, F. J.; FELDMANN, N. A.; MÜHL, F. R. **Avaliação do manejo do solo e de mapas de fertilidade em uma área de abertura para o cultivo de soja.** Inovação: Gestão e Tecnologia, 2024. Disponível em: <https://revistas.uceff.edu.br/inovacao/article/view/743/813>. Acesso em: 15 maio 2025.

BORGES, L. C. O. **Cultivares de Urochloa brizantha adubados com enxofre na implantação.** [S.l.], 2024. Disponível em: <https://ufr.edu.br/cursos/ppgzoo/wp-content/uploads/sites/13/2025/03/31-2024-Luis-Carlos-Oliveira-Borges.pdf>. Acesso em: 15 maio 2025.

BRITES, A. A.; *et al.* **"Dinâmica e disponibilidade de micronutrientes em solos tropicais."** Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 41, 2017.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **6º Levantamento da Safra de Grãos 2024/2025.** Brasília, DF: Conab, mar. 2025. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 30 mar. 2025.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Produção de grãos na safra 2024/25 é de 328,3 milhões de toneladas em nova estimativa da Conab.** 2025. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/5980-producao-de-graos-na-safra-2024-25-e-de-328-3-milhoes-de-toneladas-em-nova-estimativa-da-conab#:~:text=Conab%20%2D%20Produ%C3%A7%C3%A3o%20de%20gr%C3%A3os%20na,em%20nova%20estimativa%20da%20Conab.> Acesso em: 19 de março de 2025.

COSTA, R. S. S. **Aplicação de quelatos de zinco em um solo deficiente cultivado com milho em casa de vegetação.** 2008. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, SP. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/ebf01409-31c7-4304-9184-afd80d15ed74/content>. Acesso em: 15 maio 2025.

DA SILVA BELMIRO, J. M.; DE CEDRO, D. A. **Comparativos de fertilidade de solos para área preservada e área de cultivo intensivo**. Revista Eletrônica Interdisciplinar, v. 4, n. 8, p. 1–11, 2022. Disponível em: <http://revista.univar.edu.br/rei/article/view/253/254>. Acesso em: 15 maio 2025.

DUARTE, M. v; MAGALHÃES, E. m.; Silva, J. s. **Produtividade De Milho (Zea mays L.) Para Silagem Submetido A Diferentes Tipos De Adubações1**. Disponível em: <http://65.108.49.104/xmlui/bitstream/handle/123456789/579/tcc%20marconi.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 19 de março de 2025

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. 2. ed. Londrina: Edusp, 2006. Disponível em: <https://www.agrolink.com.br/downloads/nutri%C3%A7%C3%A3o%20mineral%20de%20plantas%20-%20princ%C3%ADpios%20e%20conceitos.pdf>. Acesso em: 17 maio 2025.

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2005. Disponível em: https://dcs.ufla.br/images/imagens_dcs/pdf/Prof_Faquin/Nutricao%20mineral%20de%20plantas.pdf. Acesso em: 4 maio 2025.

FELDMANN, N. A.; LAUSCHNER, C. F.; MÜHL, F. R. **Uso de cobalto e molibdênio no tratamento de sementes de soja e seus benefícios para o desenvolvimento inicial da cultura. Inovação: Gestão e Tecnologia**, 2023. Disponível em: <https://revistas.uceff.edu.br/inovacao/article/download/247/247>. Acesso em: 15 maio 2025.

FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P.; RAIJ, B. van. **Diagnóstico do Estado nutricional das plantas**. Agro@mbiente On-line, Boa Vista, v. 6, n. 3, p. 36–45, 2012. Disponível em: <https://revista.ufrr.br/agroambiente/article/view/569>. Acesso em: 21 abr. 2025.

FRIGONI, André Sellaro. **Micronutrientes na cultura do milho em diferentes fontes, doses e épocas de aplicação**. 2004. Monografia (Graduação em Agronomia) – Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2004. Disponível em: https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/42470/1/2004_2_03.pdf. Acesso em: 11 maio 2025.

GALVÃO, J. C. C.; BORÉM, A.; PIMENTEL, M. A. **Milho: do plantio à colheita**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2017. 382 p. Disponível em: https://dn720006.ca.archive.org/0/items/milho-do-plantio-a-colheita/Milho%20-%20do%20plantio%20a%20colheita_text.pdf. Acesso em: 15 maio 2025.

GIELOW, A. M. **Fontes de fósforo e potássio no cultivo orgânico de grãos**. [S.l.], 2023. Disponível em: <https://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/33607/1/fontesfosforocultivoorganico.pdf>. Acesso em: 15 maio 2025.

GOMES, Eliane Aparecida; SILVA, Ubiana de Cássia; PAIVA, Christiane Abreu de Oliveira; LANA, Ubiraci Gomes de Paula; MARRIEL, Ivanildo Evódio; SANTOS, Vera Lúcia dos Santos. **Microrganismos promotores do crescimento de plantas.** Documentos 208. Embrapa, 2016. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1063799/1/doc208.pdf>. Acesso em: 09 maio 2025.

JESUS, N. C. M. **Omissão de macronutrientes primários na implantação do capim Mombaça.** [S.l.], 2021. Disponível em: https://ufr.edu.br/zootecnia/wp-content/uploads/2020/02/TCZOO_DE-JESUS_NCM_2021_1.pdf. Acesso em: 15 maio 2025.

LUCIANO, B. H.; DA SILVA, C. M. **A influência dos macro e micronutrientes na produção de semente de qualidade.** Observatório Latino-Americano, 2024. Disponível em: <https://ojs.observatoriolatinoamericano.com/ojs/index.php/olel/article/download/3716/2564>. Acesso em: 15 maio 2025

MACIEL, I. C. **Doses de magnésio via solo com ou sem adubação foliar complementar com magnésio na cultura da soja.** [S.l.], 2024. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/19b05f29-2206-47b9-96ef-aa7979a76dec/content>. Acesso em: 15 maio 2025.

MATOS, Carlos Henrique Lima de; MONTENEGRO, Raiovane Araújo; UCHÔA, Sandra Cátia Pereira; VALE JÚNIOR, José Frutuoso do; SABÓIA, Victor Hugo Carvalho; TAVARES, Ingridy do Nascimento. **Micronutrientes do solo: dinâmica, disponibilidade e manejo de adubação.** Seven Editora, 2024. Disponível em: <https://sevenpublicacoes.com.br/editora/article/view/4561/8923>. Acesso em: 09 maio 2025.

MENOSSEI, Leonardo Felipe; MARTINS, Ronaldo Cesar Leal; BRANDI, José Rodolfo. **A cultura do milho e sua importância econômica.** In: ENCONTRO CIENTÍFICO-ACADÊMICO, 2022, São João da Boa Vista. Anais do Encontro Científico-Acadêmico 2022. São João da Boa Vista: UNIFEOB, 2022. v. 2, p. 67-74. Disponível em: http://ibict.unifeob.edu.br:8080/jspui/bitstream/prefix/5123/1/Anais%20Encontro%20Cient%C3%ADfico-Acad%C3%AAmico%202022_Volume%202.pdf#page=67. Acesso em: 19 de março de 2025

MORAES, W. dos S. *et al.* **Delineamento em blocos casualizados nas pesquisas em ciências agrárias: uma revisão integrativa de literatura.** Research, Society and Development, v. 10, n. 8, 2021. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/17616>. Acesso em: 5 maio 2025.

MOREIRA, A. M. M. **Influência do boro na cultura do feijão-caupi (Vigna unguiculata (L.) Walp).** 2025. Disponível em: https://repositorio.ifgoiano.edu.br/bitstream/prefix/5115/1/tcc_%20Arielly%20Mendes%20Marcelino%20Moreira.pdf. Acesso em: 15 maio 2025.

NACHTIGALL, Gilmar Ribeiro; NAVA, Gilberto. **Adubação foliar: fatos e mitos.** Agropecuária Catarinense, Florianópolis, v. 23, n. 2, p. 87–97, 2010. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/858552/1/124352010p.8797.pdf>. Acesso em: 18 maio 2025.

OLIVEIRA, F. B. de; BURAK, D. L.; DAN, M. L. **Os atributos do solo e as tendências na silvicultura de precisão: revisão de literatura sistemática.** 2023. Disponível em: <https://biblioteca.incaper.es.gov.br/digital/bitstream/item/4518/1/Topicos-Especiais-em-Agroquimica-III.pdf>. Acesso em: 15 maio 2025.

PEREIRA, G. M. D. *et al.* **Identificação e quantificação do efeito de fatores ambientais na produtividade da cultura do milho na região de Janaúba, MG.** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2012. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/902592/1/Identificacaoquantificacao.pdf>. Acesso em: 10 maio 2025.

PEREIRA, R. A. P. **Desempenho agrônomo e fisiológico de feijão à adubação potássica sob estresse hídrico.** [S.l.], 2025. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/f2aed234-c637-4ade-a3d7-01d4ffeffe3e/content>. Acesso em: 15 maio 2025.

QUINTAM, C. P. R.; ASSUNÇÃO, G. M. de. **Panorama do agronegócio exportador brasileiro.** *RECIMA21 – Revista Científica Multidisciplinar*, v. 3, n. 6, p. 1–19, 2022. Disponível em: <https://recima21.com.br/index.php/recima21/article/view/3642/2575>. Acesso em: 15 maio 2025.

RAMALHO, N. T. C.; CAVICHIOLI, F. A. **Técnicas de preparo de solo e sua importância na produção agrícola.** *Revista Interface Tecnológica*, 2023. Disponível em: <https://www.fatectq.edu.br>. Acesso em: 06 abr. 2025.
REIS, L. M. O. dos; BIGELI, B. C. M. N. **Estratégia logística do milho no Estado do Tocantins.** *Revista JRG de Estudos Acadêmicos*, 2024. Disponível em: <https://revistajrg.com/index.php/jrg/article/view/1726/1401>. Acesso em: 30 mar. 2025.

REZENDE, C. C.; SILVA, M. A.; FRASCA, L. L. M. **Microrganismos multifuncionais: utilização na agricultura.** *Research, Society and Development*, [S. l.], 2021. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/download/12725/11549>. Acesso em: 15 maio 2025.

ROSA, A. **Fertilidade do solo e acúmulo de metais pesados em Latossolo adubado com dejetos de animais.** 2022. Disponível em: https://tede.unioeste.br/bitstream/tede/6417/5/Anderson%20_Rosa.2022.pdf. Acesso em: 15 maio 2025.

SÁ, A. A. S.; *et al.* **A importância do cálcio para a nutrição de plantas: uma revisão.** *Scientific Electronic Archives*, v. 17, n. 2, 2024. Disponível em:

<https://sea.ufr.edu.br/index.php/SEA/article/download/1873/1912>. Acesso em: 15 maio 2025.

SALDANHA, Carolina Beleli *et al.* **Ciência do solo: fertilidade do solo e nutrição mineral de plantas**. Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2016. 192 p. Disponível em: https://cm-cls-content.s3.amazonaws.com/201602/INTERATIVAS_2_0/CIENCIA_DO_SOLO_FERTILIDADE_DO_SOLO_E_NUTRICAO_MINERAL_DE_PLANTAS/U1/LIVRO_UNICO.pdf. Acesso em: 15 maio 2025.

SALDANHA, E. C. M.; [ENGENHEIRO AGRÔNOMO, D.] **Nutrição e adubação da cultura da pitaia**. In: ROCHA, V. (Org.). 2022. Disponível em: <http://fepaf.org.br>. Acesso em: 15 maio 2025. SALDANHA, E. C. M.; ENGENHEIRO AGRÔNOMO..., D. Nutrição e adubação da cultura da pitaia, Vander Rocha ..., 2022. fepaf.org.br

SANTOS, Fernanda Dias dos; FANTINEL, Roberta Aparecida; WEILER, Elenice Broetto; CRUZ, Jussara Cabral. **Fatores que afetam a disponibilidade de micronutrientes no solo**. *Tecno-Lógica*, Santa Cruz do Sul, v. 25, n. 2, p. 272–278, jul./dez. 2021. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Roberta-Fantinel/publication/354632149_Fatores_que_afetam_a_disponibilidade_de_micronutrientes_no_solo/links/617698d8a767a03c14ae93b6/Fatores-que-afetam-a-disponibilidade-de-micronutrientes-no-solo.pdf. Acesso em: 19 de março de 2025.

SANTOS, Gleyce Kelly da Silva; FONTES, Raiane Souza; SANTOS, Rogério Nunes. **Importância do uso de micronutrientes como condicionante para obtenção de melhoria de rendimento na cultura do milho**. 2023. Disponível em: <https://repositorio-api.animaeducacao.com.br/server/api/core/bitstreams/dde7f674-599b-43ec-8cbc-ff2a35f6b580/content>. Acesso em: 10 maio 2025.

SANTOS, J. O. **Resposta de rendimento da cultura do milho frente à correção do solo em profundidade**. 2022. Disponível em: https://repositorio.uergs.edu.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/2722/_resposta_de_rendimento_da_cultura_do_milho_frente_a.pdf?sequence=-1&isAllowed=y. Acesso em: 15 maio 2025.

SILVA, C. A. **Matéria orgânica e a fertilidade do solo: a matéria orgânica do solo em ambientes tropicais e sua importância**. [S.l.], 2023. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/587101479.pdf#page=49>. Acesso em: 17 maio 2025.

SILVA, J. A.; SOUSA, R. F. Importância dos micronutrientes na nutrição vegetal. **Revista de Ciência do Solo**, v. 35, n. 2, p. 123-135, 2019.

SILVA, F. C. da (coord.). *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes*. 2. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. 627 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1060129/1/Manual2Capitulo1.pdf>. Acesso em: 17 de maio de 2025

SILVA, M. A. da; OLIVEIRA, F. A. de; LIMA, F. S. de; SILVA, J. S. da; LIMA, M. A. de. **Resposta da cultura do milho à adubação com boro e zinco em solo de tabuleiro costeiro**. *Acta Scientiarum. Agronomy*, Maringá, v. 28, n. 4, p. 591–598,

out./dez. 2006. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/3030/303026568004.pdf>. Acesso em: 18 maio 2025.

SOUZA, J. I. R. **Comparação de redutores de pH em solos de diferentes capacidade tampão.** [S.l.], 2024. Disponível em: <https://releia.ifsertaope.edu.br/jspui/bitstream/123456789/1358/1/TCC%20-%20COMPARA%C3%87%C3%83O%20DE%20REDUTORES%20DE%20pH%20EM%20SOLOS%20DE%20DIFERENTES%20CAPACIDADE%20TAMP%C3%83O.pdf>. Acesso em: 15 maio 2025.

YARA BRASIL. **Deficiência de zinco no milho.** 2025. Disponível em: <https://www.yarabrasil.com.br/nutricao-de-plantas/milho/deficiencias-milho/deficiencia-de-zinco-milho/>. Acesso em: 21 abr. 2025.