



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

NATHÁLIA BARROS OLIVEIRA

**PRODUTIVIDADE DA SOJA EM NEOSSOLO QUARTZARÊNICO SOB DOSES
CRESCENTES DE CALCÁRIO DOLOMÍTICO**

COLINAS DO TOCANTINS – TO

2025

NATHÁLIA BARROS OLIVEIRA

**PRODUTIVIDADE DA SOJA EM NEOSSOLO QUARTZARÊNICO SOB DOSES
CRESCENTES DE CALCÁRIO DOLOMÍTICO**

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

Orientador: Prof. Dr. Esdras Henrique da Silva

COLINAS DO TOCANTINS – TO

2025

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

O48p Oliveira, Nathália Barross
 PRODUTIVIDADE DA SOJA EM NEOSSOLO QUARTZARÊNICO
 SOB DOSES CRESCENTES DE CALCÁRIO DOLOMÍTICO / Nathália
 Barross Oliveira. – Colinas do Tocantins, TO, 2025.
 71 f. : il. color.

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

Orientador: Dr. Esdras Henrique da Silva

1. Solos de Cerrado. 2. Adubação. 3. Calcário. I. Silva, Esdras Henrique
da. 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).

NATHÁLIA BARROS OLIVEIRA

**PRODUTIVIDADE DA SOJA EM NEOSSOLO QUARTZARÊNICO SOB DOSES
CRESCENTES DE CALCÁRIO DOLOMÍTICO**

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

Aprovado em: 08/08/2025

BANCA EXAMINADORA

Prof.º: Dr. Esdras Henrique da Silva
Orientador
IFTO - *Campus* Colinas do Tocantins

Prof.º: Dr. Elias Mendes Costa
IFTO - *Campus* Araguatins

Prof.º: M.S.c. Eduardo Castro Ribeiro
IFTO - *Campus* Colinas do Tocantins

Colinas do Tocantins – TO, 08 de agosto de 2025

Aos meus pais, que, sob muito sol, me fizeram
chegar até aqui, na sombra. É por eles. É para
eles.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pela vida, por ter me protegido durante toda essa caminhada, por me conceder saúde e, principalmente, por me dar força, persistência e me guiar ao longo desses anos de graduação. Encerro aqui mais um ciclo da minha vida, com erros e acertos, mas, acima de tudo, com eterna gratidão por tudo o que vivi e aprendi.

Aos meus pais, Francisca Verônica e Nilson, pelo amor, incentivo e apoio incondicional. Lutaram por mim e fizeram de tudo para que eu tivesse o que preciso e um conforto maior do que um dia tiveram. Ao meu irmão Thiago, por ser minha companhia e meu maior incentivo para nunca desistir, além de me ensinar a ser uma irmã mais velha melhor.

Aos meus avós, João Batista e Maria de Jesus, pelo apoio em todos os sentidos, sempre com muito carinho e amor, me incentivando a continuar nos estudos.

Ao meu namorado Boanergis, por todo o carinho ao longo dessa jornada. Sempre estive ao meu lado, me apoiando, ajudando, incentivando e acreditando em mim, mesmo nos momentos mais difíceis.

Aos amigos e colegas que tornaram essa caminhada mais leve, não só pela ajuda nos trabalhos e projetos, mas também pelas alegrias, conversas, tristezas, brigas e todos os momentos vividos juntos, que levarei para a vida. Em especial, ao meu colega de pesquisa Bruno Isac, pela ajuda do início ao fim.

Ao meu orientador Esdras Henrique, pela oportunidade, pelos ensinamentos, pela confiança, orientação, paciência e toda a ajuda. Sem esse apoio, não seria possível concluir este trabalho.

Ao IFTO *Campus* Colinas do Tocantins, pela oportunidade de realizar meu sonho de cursar a graduação em Engenharia Agrônômica.

A todos os professores do instituto, que com dedicação compartilharam conhecimentos teóricos e práticos importantes para minha formação, e aos funcionários, que também fizeram parte dessa caminhada, o meu sincero agradecimento.

A todos, o meu muito obrigada.

"A fé é o firme fundamento das coisas que se esperam, e a prova das coisas que não se veem".

Hebreus 11:1

RESUMO

A soja é uma das principais culturas do agronegócio brasileiro, com papel estratégico na economia e nas exportações. Sua produtividade está diretamente ligada à qualidade do solo, sendo a acidez um fator limitante, sobretudo em solos arenosos. A calagem com calcário dolomítico é essencial para corrigir a acidez e fornecer nutrientes às plantas. No entanto, o método de saturação por bases, amplamente adotado para calcular a dose de calcário, apresenta limitações, especialmente em áreas recém-abertas, como as do Cerrado, onde o uso de doses elevadas ainda gera dúvidas quanto à sua real eficiência. Diante desse contexto, este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de doses crescentes de calcário dolomítico sobre a produtividade da soja cultivada em Neossolo Quartzarênico em segundo ano de uso agrícola, no norte do Tocantins. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com cinco tratamentos (0; 2,5; 5,0; 7,5 e 10,0 t ha⁻¹) e quatro repetições, utilizando a variedade M 8606 i2x. As parcelas mediram 3x3 m (9 m²) e continham cinco linhas de plantio com espaçamento de 50 cm entre elas. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e regressão, com comparação de médias pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, utilizando o software Speed Stat versão 3.3. Foram avaliadas características morfológicas da cultura, além de parâmetros químicos do solo, após um ano da aplicação do corretivo. Os resultados demonstraram que a calagem aumentou os teores de cálcio e magnésio, reduziu a acidez potencial e elevou o pH, a saturação por bases e a soma de bases trocáveis, principalmente nas doses intermediárias. Embora não tenham sido observadas diferenças estatísticas significativas nas características morfológicas, a dose de 5,0 t ha⁻¹ resultou na maior produtividade, com incremento de aproximadamente 11 sacas por hectare em relação à testemunha, além de grãos mais pesados. Em contrapartida, a dose de 10,0 t ha⁻¹ não promoveu ganhos expressivos e apresentou tendência de redução nos teores de Ca²⁺ e Mg²⁺, possivelmente em função da saturação excessiva ou lixiviação. Conclui-se que a aplicação de calcário dolomítico melhora os atributos químicos do solo e pode contribuir significativamente para o aumento da produtividade da soja, especialmente em solos arenosos e ácidos. A calagem, mesmo em doses superiores às usualmente recomendadas, exerce efeito positivo desde que respeitadas as características do solo e a capacidade de absorção da cultura.

Palavras-chave: Solos de Cerrado. Adubação. Calcário.

ABSTRACT

Soybean is one of the main crops in Brazilian agribusiness, playing a strategic role in the economy and exports. Its productivity is directly related to soil quality, with acidity being a limiting factor, especially in sandy soils. Dolomitic limestone application is essential to correct acidity and supply nutrients to plants. However, the base saturation method, widely used to calculate lime requirements, has limitations, particularly in newly opened areas such as the Cerrado, where the effectiveness of high doses is still uncertain. This study aimed to evaluate the effect of increasing rates of dolomitic limestone on soybean yield grown in a Quartzarenic Neosol in its second year of agricultural use, in northern Tocantins, Brazil. The experiment was conducted in a completely randomized design with five treatments (0, 2.5, 5.0, 7.5, and 10.0 t ha⁻¹) and four replicates, using the M 8606 i2x cultivar. Plots measured 3 × 3 m (9 m²) and contained five planting rows spaced 50 cm apart. Data were subjected to analysis of variance and regression, with means compared by the Scott–Knott test at a 5% probability level, using the Speed Stat software version 3.3. Morphological traits and soil chemical properties were evaluated one year after lime application. Results showed that liming increased calcium and magnesium contents, reduced potential acidity, and raised pH, base saturation, and sum of exchangeable bases, mainly at intermediate rates. Although no significant statistical differences were found for morphological traits, the 5.0 t ha⁻¹ dose resulted in the highest yield, with an increase of approximately 11 bags ha⁻¹ compared to the control, as well as heavier grains. Conversely, the 10.0 t ha⁻¹ dose did not provide significant gains and tended to reduce Ca²⁺ and Mg²⁺ contents, possibly due to excessive saturation or leaching. It is concluded that dolomitic limestone improves soil chemical attributes and can significantly contribute to soybean yield in acidic sandy soils. Even higher-than-recommended doses can have positive effects, provided soil characteristics and crop absorption capacity are respected.

Keywords: Cerrado soils. Fertilization. Limestone.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Disponibilidade de nutrientes do solo em função do pH em CaCl_2 e em H_2O	18
Figura 2 - Ocorrência de Neossolos Quartzarênicos no Brasil, com destaque para o bioma Cerrado e a região do Matopiba (Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia).....	29
Figura 3 - Mapa do Estado do Tocantins com a localização da cidade de Colinas do Tocantins (A), localização do IFTO – Campus Colinas (B) e imagem aérea da área experimental (C) ..	31
Figura 4 - Temperatura mínima, máxima e precipitação mensal durante o período experimental (–mai).	32
Figura 5 - Instalação do experimento com aplicação das diferentes doses de calcário no delineamento experimental.....	32
Figura 6 - Preparo da área experimental para plantio em segundo ano (A), micronutrientes (Lander Mix) (B) e cloreto de potássio (C)	34
Figura 7 - Croqui do experimento	35
Figura 8 - Plantio (A), controle fitossanitário (B) e limpeza manual da área (C)	36
Figura 9 - Preparo para dessecação (A) e soja dessecada (B)	37
Figura 10 - Colheita da área útil do experimento (A) e identificadas (B).....	37
Figura 11 - Coleta da altura da planta (A) e o Peso de mil grãos (B).....	39
Figura 12 - Peso de mil grãos de soja submetidas a diferentes doses de calcário	44
Figura 13 - Produtividade da soja em sacas por hectares submetidas a diferentes doses de calcário.....	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Altura (cm) no estágio R5.2, número de nós na haste principal no estágio R8 e número de vagens no estágio R8, em resposta a aplicação dos tratamentos	40
Tabela 2 – Inserção da primeira vagem (cm), diâmetro caule (cm), no estágio R5.3 e Clorofila total em R2.2 em resposta a aplicação dos tratamentos	42
Tabela 3 - Análise dos parâmetros químicos do solo, coletados na profundidade de 0-20 cm, referentes aos cinco tratamentos submetidos a diferentes doses de calcário no ano de 2024 ..	46
Tabela 4 - Análise dos parâmetros químicos do solo, coletados na profundidade de 0-20 cm, referentes aos cinco tratamentos submetidos a diferentes doses de calcário no ano de 2025 ..	47

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1 A cultura da soja (<i>Glycine max</i> (L.) Merrill)	16
2.2 Calagem	18
2.2.1 Cálcio (Ca^{2+})	22
2.2.2 Magnésio (Mg^{2+})	24
2.2.3 Potencial hidrogeniônico (pH)	25
2.2.4 Capacidade de troca de cátions (CTC)	27
2.3 O cultivo de soja em solos arenosos	28
3 METODOLOGIA.....	31
3.1 Caracterização da área experimental	31
3.2 Histórico e preparo da área	32
3.3 Calagem e adubação	33
3.4 Delineamento experimental e tratamentos	33
3.5 Cultivar utilizada e tratos culturais	35
3.6 Dessecação da soja	36
3.7 Coleta de dados e análise de solo	38
3.7.1 Altura de planta	38
3.7.2 Número de vagens por planta	38
3.7.3 Peso de mil grãos (PMG)	38
3.7.4 Produtividade	38
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
4.1 Variáveis analisadas	40
4.2 Atributos químicos do solo em função das doses crescentes de calcário dolomítico após um ano da aplicação	45
4.2.1 pH (H_2O)	47
4.2.2 Teores de cálcio e magnésio no solo	49
4.2.3 Teor de fósforo no solo	50
4.2.4 Acidez potencial ($\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$) e saturação por bases (V%)	51
4.2.5 Capacidade de troca de cátions e soma de bases trocáveis no solo	52
4.2.6 Micronutrientes	54
5 CONCLUSÕES.....	56
REFERÊNCIAS	57

APÊNDICE A - ETAPAS DURANTE O EXPERIMENTO	71
--	-----------

1 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma planta oleaginosa pertencente à família Fabaceae, originária da Ásia Oriental, das regiões central e ocidental da China. Sua introdução no Brasil ocorreu no ano de 1882, por meio de sementes vindas dos Estados Unidos (Klahold, 2005). Como commodities, vem sendo muito cultivada ao redor do mundo, ganhando destaque no mercado nacional e internacional entre as oleaginosas mais produzidas, por ser fonte de matéria-prima para diversos produtos. É a cultura agrícola mais relevante do agronegócio brasileiro, devido à sua ampla gama de utilização, tanto dos grãos *in natura* quanto de seus derivados, como o óleo e o farelo, sendo que os teores de óleo e de proteína dos seus grãos podem ultrapassar 20% e 40%, respectivamente (Carvalho *et al.*, 2023).

No Brasil, conforme destaca a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), é a cultura mais cultivada, para safra 2024/2025, estima uma área plantada 47,36 milhões de hectares, produção esperada em 167.869,8 mil toneladas e produtividade de 5.703 kg por hectare (CONAB, 2025). Em relação à produção total de grãos no país, ela é responsável por 50% desse volume. No estado do Tocantins, é a principal cultura em termos de participação do Produto Interno Bruto (PIB) (Faria *et al.*, 2018).

Nas últimas décadas, a produção brasileira de soja apresentou um grande avanço, de acordo com Ruwer (2019), esse crescimento é motivado não apenas pela expansão da área cultivada, mas também pela crescente produtividade. Apesar disso, a cultura ainda enfrenta desafios relacionados à qualidade do solo, tendo constantes buscas por práticas que permitam alcançar melhores resultados no campo. Para Oliveira *et al.* (2005) a obtenção de altas produtividades de grãos está associada às práticas de manejo do solo, com destaque para a correção da acidez. No entanto, aumentar o potencial produtivo e melhorar o perfil de fertilidade dos solos é um desafio devido a acidificação (Meng *et al.*, 2019), fator comum em solos tropicais. Solos arenosos e com baixas fertilidade, como os encontrados em grande parte da região do MATOPIBA (composta pelos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia) (Gomes, 2023), podem apresentar níveis de acidez elevado, baixa capacidade de reter cátions (Bissani *et al.*, 2008), causando redução no desenvolvimento da planta, conforme apontado por Nolla *et al.* (2007), afetando o rendimento das culturas (Kerkhoff, 2024).

O estado do Tocantins é considerado um produtor agropecuário de destaque nacional, possuindo 10 classes de solos segundo o IBGE (2007a), com predominância em Plintossolos com 35,3%, e os Latossolos e Neossolos Quartzarênicos ocupando 40,4% da área do estado,

solos que sustentam boa parte desta produção. Neossolos Quartzarênicos apresentam textura arenosa ou franco arenosa em todos os horizontes (Santos *et al.*, 2018), de até 2 m de profundidade e teor de argila inferior a 15%.

A acidez do solo é causada por vários fatores, como a lixiviação de nutrientes, o uso de fertilizantes ácidos, retirada de cátions pelas culturas (Santiago; Rossetto, 2022) e decomposição da matéria orgânica. Podendo ser classificada em ativa (presença de íons H^+ na solução do solo) e potencial (íons H^+ e Al^{3+} adsorvidos nos colóides do solo) seja da matriz mineral ou orgânica (Lepsch, 2011). Para a cultura da soja, um pH adequado do solo é fundamental para promover um ambiente favorável para o desenvolvimento radicular, a absorção de nutrientes e a nodulação eficiente pelas bactérias fixadoras de nitrogênio.

Em solos com alta acidez e saturação por alumínio, doses elevadas de calcário têm se mostrado eficazes, muitas vezes superando as recomendações convencionais. No entanto, seu uso requer planejamento criterioso, considerando a capacidade de tamponamento do solo, a reatividade do corretivo e os efeitos sobre a dinâmica dos nutrientes. Em estudos realizados pela EMBRAPA (2024) na região do Matopiba, indicaram que a aplicação de doses elevadas de calcário no cultivo da soja de primeira safra resultou em um incremento de produtividade de até 30%, quando comparado às recomendações presentes em manuais técnicos oficiais. A prática da superdosagem é comum em solos do Cerrado, especialmente em áreas recém-abertas, que ainda não passaram por correção. Nolla e Anghinoni (2006) também observaram em dois experimentos, que o uso de doses crescentes de calcário (0; 1,8; 3,6 e 7,2 e 0; 2,2; 4,4 e 8,8 t ha^{-1} de calcário) no cultivo da soja em Latossolo Vermelho aluminoférrico típico, resultou em melhorias em diversos parâmetros das plantas, proporcionalmente ao aumento da dose aplicada. No entanto, Murara *et al.* (2019) identificaram que os maiores incrementos de produtividade ocorrem com doses mais baixas de calcário em Cambissolo Húmico Aluminico, havendo redução nos ganhos com aplicações mais elevadas (5,0; 7,5; 9,2; 15; 21; 29 toneladas de calcário dolomítico), que indica a necessidade de se considerar os limites fisiológicos e as condições específicas de cada solo para definir a dose ideal.

Perante dos benefícios da calagem em solos arenosos, torna-se fundamental aprofundar os estudos sobre as doses aplicadas, visando maior eficiência na correção da acidez e no aumento da produtividade da soja. Dessa forma, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito de doses crescentes de calcário dolomítico sobre a produtividade da soja cultivada em uma área de Neossolo Quartzarênico no segundo ano de plantio na região norte do Estado do Tocantins.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill)

Considerada uma das culturas agrícolas mais relevantes em nível mundial, destacando-se por sua ampla adaptabilidade, versatilidade de uso e elevado valor econômico, a soja tem o seu cultivo estendido por diversas regiões do planeta, sendo a oleaginosa mais produzida e consumida no mundo, conforme destacado por Silva *et al.* (2011). No contexto brasileiro, ela exerce papel fundamental na economia nacional, consolidando-se como o principal grão cultivado no país (Carvalho *et al.*, 2023).

A espécie *Glycine max* pertencente ao reino Plantae, divisão Magnoliophyta, classe Magnoliopsida, ordem Fabales, família Fabaceae (Leguminosae), subfamília Faboideae (Papilionoideae), gênero *Glycine*, (Fiorese, 2013). A soja é uma planta herbácea, com caule hispido, possuindo pelos e pouco ramificada, de ciclo anual, com germinação epígea da semente, raízes com eixo principal (pivotante) e muitas ramificações, crescimento partindo do eixo embrionário, onde nota-se a presença de nódulos com bactérias simbióticas, como o *Bradyrhizobium japonicum*, com função de fixar o nitrogênio atmosférico, contribuindo assim para o fornecimento de nitrogênio para planta (Missão, 2006). Ela contém terminações com racemo (crescimento determinado), ou sem racemo terminal (crescimento indeterminada), dependendo da variedade (Tejo *et al.*, 2019), essa característica é determinada através da produção ou não de nós depois do florescimento.

A soja possui um ciclo de vida (emergência à maturação) que varia de 70 a 200 dias, altura da inserção da primeira vagem de 10 a 20 cm e altura da planta variando de 30 a 250 cm (Santos, 2024), conforme a variedade, disponibilidade de nutrientes no solo e do tempo de exposição diário à luz. Tem folhas trifolioladas, exceto o primeiro par que é simples. Suas flores são autógamas, iniciando na parte inferior da haste, com coloração branca, roxa ou intermediária. Produzem vagens levemente arqueadas que mudam de cor conforme amadurecem, contendo de uma a cinco sementes lisas, elípticas ou globosas, com tegumento amarelo-pálido e hilo preto, marrom ou amarelo-palha (Farias *et al.*, 2009).

Quanto à sua origem, Carvalho *et al.* (2023) relatam que a leguminosa é nativa da Ásia, mais precisamente no nordeste da China. Sua chegada às Américas ocorreu entre o final do século XVII e o início do século XVIII, segundo Vidal *et al.* (2023) em 1942 os Estados Unidos eram os maiores produtores mundiais da cultura da soja. No Brasil, sua introdução se deu por volta de 1882, através de um professor da Escola de Agronomia da Bahia em Cruz (Vidal *et al.*,

2023), em seguida levada por imigrantes para São Paulo, e apenas, em 1914, foi inserida no estado do Rio Grande do Sul, variedades obtidas dos EUA, onde se adaptaram às condições edafoclimáticas e ao fotoperíodo (Bonetti, 1981), ocorrendo a primeira distribuição de sementes e conseqüentemente a plantação, no município de Santa Rosa (Gazzoni, 2018) e sua expansão significativa começou na década de 1970, quando se estabeleceu como uma das principais culturas agrícolas, principalmente nas regiões sul.

Na década de 1990, o cultivo da soja já mostrava avanços significativos na região central do Brasil, estando fortemente vinculado à expansão da lavoura no Cerrado. Atualmente, o país é o maior produtor de soja no mundo, conforme destaca a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), sendo essa cultura mais cultivada no país, com produção estimada para 2024/2025 de 167.869,8 mil toneladas, um aumento de 13,6% em relação à última safra. Essa quantidade representa a metade da colheita nacional de grãos, que, em 2025, estima-se um total aproximado de 330,3 milhões de toneladas, maior aumento já registrado pela CONAB e um crescimento de 32,6 milhões em relação ao ciclo passado. Sendo um dos principais produtos de exportação do país, se destaca no cenário mundial como um dos líderes na produção do grão (Marques *et al.*, 2022), ela vem gerando empregos e contribuindo para o desenvolvimento econômico e o crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) (CEPEA, 2025).

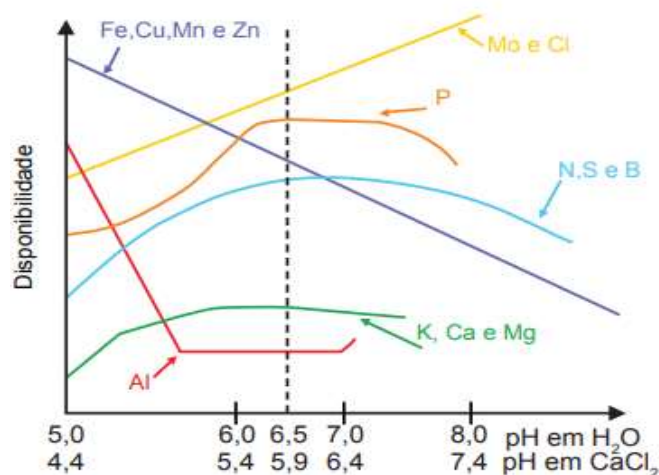
Os primeiros cultivos de soja no estado do Tocantins tiveram início no final da década de 1980 e início da década de 1990 (Rosanova *et al.*, 2022) e após anos, segundo o IBGE (2006) sua produção teve uma notável expansão, entre 1996 e 2006, obteve um avanço médio anual de 35%, superando significativamente o ritmo de crescimento nacional, que foi de aproximadamente 9,5% ao ano, na mesma época. Dados da CONAB, apontam que a soja continua crescendo cada vez mais, o Tocantins deve atingir sua maior colheita de grãos na atual safra (2024/2025), estimada em 8,9 milhões de toneladas, um aumento de 16% em relação ao ano anterior, e, para a produção de soja, estima 5,12 milhões de toneladas, mostrando ser o principal grão cultivado do estado, com uma área plantada de 1,483 milhão de hectares (CONAB, 2025).

Gerando um grande impacto econômico, a soja se coloca com uma das maiores commodities nacionais, responsável pelo maior número de exportações de produtos agrícolas do Brasil (Trevisoli, 2018), devido às suas características químicas; apresentando alta concentração de proteínas (em torno de 40%) para alimentação humana quanto animal. Grande parte da produção mundial de grãos de soja é usada na ração de bois, frangos e porcos, como excelente fonte de proteína (Barboza, 2021); outra parte é processada para obtenção de produtos, como óleo, leite, cosméticos, tintas, rações e biodiesel, entre outros.

2.2 Calagem

A maioria dos solos brasileiros apresentam acidez natural, o que causa degradação química do solo em função da baixa disponibilidade de cátions afetando elementos essenciais como cálcio, magnésio, potássio, além da presença de alumínio trocável (Kochian *et al.*, 2015). A acidez do solo é um dos principais fatores que limitam o potencial produtivo das culturas agrícolas (Kerkhoff, 2024). A acidificação do solo ocorre por processos naturais, como a liberação de íons hidrogênio (H^+) pelas raízes das plantas, a dissociação de dióxido de carbono (CO_2), a hidrólise de alumínio (Al^{3+}), o uso contínuo de fertilizantes nitrogenados, a decomposição da matéria orgânica e a remoção de bases trocáveis (Machado *et al.*, 2017). Neste tipo de solo, o crescimento das plantas é prejudicado principalmente por fatores indiretos associados ao pH, como a elevação da toxicidade de elementos como alumínio e manganês e a redução na disponibilidade de nutrientes essenciais como cálcio, magnésio, fósforo e molibdênio (Marschner, 1995). A acidez do solo afeta diretamente a disponibilidade de nutrientes e de alumínio para as plantas, pois interfere na solubilidade dos minerais. Esses processos estão intimamente ligados à atividade dos íons hidrogênio presentes na solução do solo (Figura 1).

Figura 1 - Disponibilidade de nutrientes do solo em função do pH em $CaCl_2$ e em H_2O



Fonte: Embrapa (2013)

Para o adequado cultivo das plantas, são indispensáveis nutrientes em diferentes proporções. Macronutrientes como nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) são exigidos em maiores quantidades, enquanto micronutrientes como ferro (Fe), cobre (Cu), manganês (Mn), zinco (Zn), boro (B), cloro (Cl), molibdênio (Mo) e níquel (Ni) são requeridos em menores concentrações (Domingos *et al.*, 2015). De acordo

com Zambolim *et al.* (2012), todos esses elementos são essenciais, pois contribuem para a sanidade vegetal, aumentando a resistência das plantas a estresses abióticos e bióticos. O solo, por sua vez, é um sistema complexo, composto por fatores físicos, químicos e biológicos, cujo equilíbrio é fundamental para alcançar elevadas produtividades.

Em função das restrições impostas pela acidez do solo, a absorção de nutrientes é prejudicada, o que reduz sua eficiência. Para corrigir esse problema, é necessário adotar práticas que neutralizam a acidez do solo, sendo o uso do calcário uma das mais eficazes. Esta prática destaca-se como essencial para a correção da fertilidade e o bom desempenho das culturas, favorecendo a absorção de nutrientes e minimizando a toxicidade de certos elementos.

O calcário agrícola é composto principalmente por carbonato de cálcio (CaCO_3) e carbonato de magnésio (MgCO_3), elementos responsáveis por neutralizar os íons H^+ presentes no solo (Primavesi, 2004). Dependendo da proporção de magnésio e cálcio em sua composição, os calcários são classificados em calcíticos (1% a 5% de MgO e 45% a 55% de CaO), magnesianos (5% a 12% de MgO e 40% a 42% de CaO) e dolomíticos (13% a 21% de MgO e 25% a 35% de CaO). A aplicação adequada desse corretivo é essencial para melhorar a disponibilidade de nutrientes e criar um ambiente mais favorável ao crescimento das plantas.

Devido à sua baixa solubilidade, o calcário apresenta reação lenta no solo, o que justifica a recomendação de aplicação com antecedência mínima de 20 a 30 dias antes do plantio. Segundo Neto *et al.* (2000), o tempo médio necessário para que o corretivo reaja plenamente no solo é de aproximadamente 60 dias. Para culturas mais sensíveis à acidez, como as leguminosas, recomenda-se que a calagem seja realizada com essa mesma antecedência. Quando não for possível aplicar o calcário no período ideal, é aconselhável utilizar corretivos com maior Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT), que reagem mais rapidamente no solo e apresentam maior eficiência a curto prazo (Veloso *et al.*, 2020). Segundo Guarçoni (2015), ele pode manter o pH do solo em níveis ideais por até 7 anos após a aplicação, considerando a camada superficial de 0-20 cm, dependendo do poder tampão do solo. Essa reação depende da umidade do solo e das suas próprias características.

A eficácia do calcário, especialmente o CaCO_3 , depende da lâmina de precipitação, que influencia sua dissolução e movimentação no solo (Amaral *et al.*, 2004). Pesquisas apontam que a água funciona como solvente e facilita a movimentação de íons, o que agiliza as reações químicas responsáveis pela neutralização da acidez no solo (Gabriel, 2022). De acordo com Nolla *et al.* (2020), elevados índices pluviométricos podem tanto intensificar a lixiviação de íons básicos, como cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}), quanto acelerar o processo de neutralização da acidez.

O efeito da reação do calcário no solo também varia conforme o manejo adotado. No plantio direto, a correção da acidez ocorre principalmente na superfície, enquanto em sistemas convencionais a ação é mais profunda. (Youssef Neto *et al.*, 2017; Sakrezenski; Margalho, 2018). Porém, estudos recentes mostram que a aplicação superficial pode ser tão eficiente quanto a incorporada, dependendo das condições (Nolla *et al.*, 2020).

Segundo Rheinheimer *et al.* (2000), a velocidade de reação do corretivo da acidez do solo depende basicamente do tempo e da dose aplicada, sendo que, enquanto existir acidez superficial ($\text{pH} \leq 5$), os produtos (OH^- e HCO_3^-) são impedidos de se movimentar profundamente, pois reagem com os componentes ácidos da superfície. Ernani *et al.* (2001) afirmam que a profundidade de reação do corretivo é bastante variável conforme as propriedades químicas do solo, como o poder tampão, podendo, em certos casos, atingir profundidades de até 0,6 m.

O tempo de reação do corretivo no solo também está diretamente relacionada a fatores como a granulometria e o poder relativo de neutralização total (PRNT). Segundo Raij (2011), a granulometria influencia significativamente a velocidade de reação, uma vez que partículas menores apresentam maior área superficial, favorecendo a reação com os componentes do solo e, conseqüentemente, acelerando a neutralização da acidez. Nesse contexto, o PRNT torna-se um parâmetro fundamental para estimar a eficiência dos corretivos, pois representa a combinação entre o poder de neutralização (PN), ligado às propriedades químicas do material, e a reatividade (RE), relacionada às suas características físicas. De acordo com Brasil (2006), o PRNT é calculado pela multiplicação desses dois fatores, dividida por 100. Quanto maior for esse valor, mais eficiente será o corretivo, permitindo o uso de menores quantidades para a correção da acidez do solo.

O método de aplicação e uso do calcário na agricultura é conhecido como calagem, e sua escolha para realização, assim como a forma de aplicá-la, costuma considerar a sensibilidade da cultura ao pH, o nível de acidez do solo e o tipo de sistema de produção planejado para a área (CQFS-RS/SC, 2016). Atualmente, os métodos mais utilizados para determinar a quantidade de calcário a ser aplicada no solo baseiam-se, em geral, na meta de elevar a saturação por bases (V%), que pode chegar a 70% para culturas como a soja, ou em garantir que os teores de cálcio e magnésio ultrapassem os níveis críticos exigidos por cada espécie cultivada (Quaggio; Rai, 2022). Esse procedimento tem como principal objetivo elevar a saturação por bases e corrigir o pH, promovendo melhorias nas condições químicas e físicas do solo. Esses fatores podem aumentar a disponibilidade de nutrientes, principalmente fósforo, e reduzir elementos tóxicos como o alumínio (Rodrigues; Pinotti, 2024).

Estudos indicam que a calagem pode levar ao aumento da produtividade das culturas, melhorando a estrutura do solo e a retenção de nutrientes, particularmente em solos ácidos comuns em regiões temperadas e tropicais (Abdi, 2024), contribui significativamente para a neutralização do alumínio, que prejudica o crescimento radicular das plantas, além de neutralizar a acidez, fornece Cálcio (Ca^{2+}) e Magnésio (Mg^{2+}), nutrientes fundamentais para o desenvolvimento vegetal. Ela também potencializa a eficiência da adubação, promovendo maior disponibilidade de elementos como nitrogênio, potássio, enxofre, molibdênio e outros, resultando em ganhos expressivos de produtividade.

Conforme ilustrado na Figura 1, o aumento do pH do solo reduz a disponibilidade de micronutrientes como ferro (Fe), cobre (Cu), manganês (Mn) e zinco (Zn), enquanto o molibdênio (Mo) ocorre o inverso. O fósforo (P) apresenta maior disponibilidade em uma faixa intermediária de pH, com pico próximo a 6,9 (medido em CaCl_2). Acima desse valor, sua absorção tende a diminuir. Já o alumínio (Al), altamente tóxico para as plantas, se torna mais solúvel em solos muito ácidos, evidenciando a importância de manter o pH em níveis adequados para garantir o equilíbrio nutricional.

Outro benefício importante da calagem é o estímulo à atividade biológica do solo, que favorece a decomposição da matéria orgânica e a ciclagem de nutrientes (Silva, 2023). A prática ainda contribui para a melhoria da estrutura do solo por meio do cálcio liberado na reação do calcário, o qual promove a agregação das partículas, aumentando a aeração e facilitando o desenvolvimento das raízes (Natale *et al.*, 2007; Moraes, 2019). Além de favorecer a absorção de água pelas raízes, reduzindo a sensibilidade das plantas ao estresse hídrico (Pimenta *et al.*, 2010; Bortoluzzi *et al.*, 2008).

Entretanto, quando a calagem é realizada de forma inadequada, pode provocar efeitos indesejáveis no solo, como a diminuição da atividade microbiana, a menor disponibilidade de micronutrientes metálicos, além da redução na absorção de fósforo, devido à sua precipitação com o cálcio. Também pode haver queda na disponibilidade de potássio, em razão do desequilíbrio na relação cálcio/magnésio, o que pode comprometer o desempenho produtivo da cultura instalada (Silva; Mendonça, 2007; Souza *et al.*, 2007).

Dessa forma, a correção da acidez não apenas melhora a fertilidade do solo, mas também assegura o aproveitamento dos nutrientes, contribui para o bom desenvolvimento radicular e aumenta a rentabilidade da atividade agrícola em ambientes com solos naturalmente ácidos.

2.2.1 Cálcio (Ca^{2+})

O cálcio (Ca) é um macronutriente essencial ao desenvolvimento vegetal, apresentando funções estruturais e fisiológicas fundamentais. Assim como o boro (B), é um elemento imóvel no floema, não sendo redistribuído pela planta. Dessa forma, sua deficiência se manifesta, prioritariamente, nos tecidos mais novos, como folhas em formação e meristemas apicais (Malavolta, 1985; Devlin, 1975).

Entre as funções desempenhadas pelo cálcio, destaca-se sua atuação na formação do pectato de cálcio, composto presente na lamela média das paredes celulares, essencial para a adesão entre células vegetais. O cálcio também participa ativamente da germinação do grão de pólen e do crescimento do tubo polínico, sendo, portanto, indispensável ao sucesso reprodutivo das plantas. No apoplasto, espaço extracelular da parede celular, o Ca é quantitativamente o nutriente mais proeminente, com função dupla: estabiliza as cadeias pécticas, à semelhança do boro, e modifica as propriedades mecânicas do gel péctico, influenciando na plasticidade e rigidez celular (White; Broadley, 2003; Ma; Berkowitz, 2007).

Outra função essencial do cálcio está relacionada à integridade da membrana plasmática, especialmente no que tange à seletividade do transporte de íons pelas células vegetais (Epstein; Bloom, 2004). Sua presença é imprescindível para a manutenção da estrutura e funcionamento das membranas celulares e paredes celulares. Em situações de deficiência, observa-se efluxo do conteúdo citoplasmático, redução do crescimento em tecidos meristemáticos, deformações em folhas novas e clorose. Na cultura da soja, por exemplo, a carência de Ca provoca atrofia do sistema radicular, morte da gema apical, atraso na emergência foliar e encarquilhamento das folhas recém-emergidas, além do colapso do pecíolo (Sediyama, 2009).

A absorção do cálcio pelas plantas ocorre na forma de íons Ca^{2+} , via fluxo de massa, sendo absorvido principalmente nas pontas das raízes, onde as barreiras apoplásticas são interrompidas. Por esse motivo, é essencial que o nutriente esteja bem distribuído ao longo do perfil do solo, favorecendo o desenvolvimento radicular e a absorção eficiente (Quaggio, 2000). Após absorvido, o cálcio pode ser utilizado pelas células da raiz ou transportado para a parte aérea via xilema, acompanhando o fluxo transpiratório. Como a remobilização via floema é mínima, a distribuição interna do cálcio depende da transpiração, o que explica sua baixa disponibilidade em órgãos com menor taxa transpiratória, como frutos (Gilliam *et al.*, 2011).

A deficiência de cálcio manifesta-se principalmente em pontos novos de crescimento, tanto da raiz quanto do caule, podendo provocar queda de flores e diversos distúrbios

fisiológicos em frutos (Freitas; Mitcham, 2012). Plantas dicotiledôneas, como a soja, apresentam maior exigência por cálcio (0,5 a 2,0% da matéria seca), em comparação com monocotiledôneas como o milho e gramíneas (0,3 a 1,25%), sendo, portanto, mais suscetíveis à deficiência e aos efeitos negativos da carência desse nutriente (St. John *et al.*, 2013).

A aplicação de calcário no solo é a principal forma de fornecimento de cálcio às plantas. No entanto, a quantidade a ser aplicada dependerá de diversos fatores, como os resultados da análise química do solo, a granulometria do calcário, os teores de CaO e MgO, a textura do solo, as exigências da cultura, o sistema de produção adotado e o método utilizado para recomendação da calagem (Tomé Jr, 1997). O equilíbrio entre absorção, distribuição e armazenamento de cálcio é essencial para garantir um desenvolvimento adequado das plantas e maximizar sua produtividade.

Salvador *et al.* (2011) relatam que níveis elevados de cálcio e magnésio no solo podem engatilhar uma “inibição competitiva” entre os nutrientes, principalmente com o potássio. A supercalagem, não apenas altera o balanço da solução do solo, como também reduz a absorção de certos nutrientes pelas plantas. Segundo os mesmos autores, o excesso de cálcio também pode causar problemas ligados à absorção de magnésio, uma vez que o cálcio tem preferência sobre esse nutriente, competindo com os sítios de absorção.

Porém em estudo com doses de calcário, como Moraes (2019), não foi detectado impacto significativo nos teores de cálcio nas folhas de soja mesmo com a aplicação de altas doses de calcário dolomítico (PRNT 83%). Em contraste, o solo apresentou um aumento linear nos teores de cálcio trocável, variando de 1,4 cmolc dm⁻³ na ausência de calcário até cerca de 2,2 cmolc dm⁻³ com a dose máxima de 15 t ha⁻¹. No trabalho conduzido por Lange *et al.* (2022), foram avaliadas aplicações de calcário dolomítico (PRNT 99%) em doses crescentes de 3, 6 e 9 t ha⁻¹ na cultura da soja, imediatamente após a incorporação do corretivo. Os resultados revelaram que os teores de cálcio foliar permaneceram estáveis, cerca de 6 g kg⁻¹, mesmo quando comparadas as doses recomendada e máxima (9 t ha⁻¹). Em contraste, os teores de cálcio trocável no solo demonstraram um aumento linear, passando de aproximadamente 1,8 cmolc dm⁻³ na dose mais baixa até 3,2 cmolc dm⁻³ na dose mais elevada.

Segundo Ribeiro *et al.* (1999), em solos do bioma Cerrado, considera-se como adequados os teores de cálcio trocável entre 2,41 e 4,00 cmolc dm⁻³ para a maioria das culturas.

2.2.2 Magnésio (Mg^{2+})

O magnésio (Mg) é um macronutriente secundário fundamental para a nutrição das plantas, sendo absorvido na forma iônica Mg^{2+} . Entre suas funções mais conhecidas está sua atuação como átomo central da molécula de clorofila, o que o torna diretamente envolvido na fotossíntese. Estima-se que entre 13 a 35% do magnésio total presente na planta esteja localizado nos cloroplastos (Cakmak; Yazici, 2010), refletindo sua importância para a eficiência do processo fotossintético. Além disso, o Mg é um cofator essencial para diversas enzimas, especialmente aquelas envolvidas em reações de transferência de energia, como as que dependem de ATP. Ele forma uma ponte entre o ATP, o ADP e as enzimas, participando de processos metabólicos essenciais como a glicólise, a via das pentoses fosfato e a síntese de compostos orgânicos. Na fotossíntese, destaca-se pela ativação da Rubisco, uma das enzimas mais abundantes e importantes no planeta.

Esse nutriente também tem papel decisivo na fixação biológica de nitrogênio (FBN), uma vez que a enzima nitrogenase requer a presença de Mg-ATP para catalisar a conversão do N_2 atmosférico em formas assimiláveis pelas plantas (Seefeldt *et al.*, 2009). Ainda, o magnésio é vital para a redistribuição de fotoassimilados (Gout *et al.*, 2014; Ceylan *et al.*, 2016), permitindo o transporte eficiente dos produtos da fotossíntese das folhas para as regiões de crescimento, como raízes, frutos e sementes.

Apesar de sua importância, por muito tempo o Mg foi considerado um elemento negligenciado na adubação, sendo sua deficiência frequentemente subestimada. Atualmente, sua relevância tem sido cada vez mais reconhecida, especialmente em culturas exigentes como a soja. A mobilidade do Mg no floema permite que ele seja redistribuído para tecidos em crescimento ativo (White; Broadley, 2008). Por isso, os sintomas de deficiência geralmente se manifestam primeiro em folhas mais velhas (Billard *et al.*, 2016), apresentando clorose internerval (Mengutay *et al.*, 2013) que em casos mais severos, pode evoluir para um padrão em “V” invertido em relação ao pecíolo, devido à alta mobilidade do nutriente no floema (Taiz; Zeiger, 2004).

A deficiência de Mg também está associada ao acúmulo de carboidratos nas folhas, o que limita o crescimento radicular devido à restrição de transporte de açúcares para as raízes como afirma Yang *et al.* (2012). Isso pode impactar negativamente o desenvolvimento da planta e, conseqüentemente, a produtividade. Em termos de absorção, o magnésio é levado da solução do solo às raízes principalmente por fluxo de massa, sendo posteriormente transportado via xilema, impulsionado pela transpiração. A absorção foliar de Mg também tem mostrado

resultados promissores, especialmente em estágios críticos da soja, como a floração e o enchimento de grãos. Estudos indicam que a aplicação de MgSO_4 pode melhorar a taxa fotossintética, aumentar a biomassa e elevar os rendimentos da cultura. Como destaca a pesquisa de Galbardi e Simonetti (2019), a adubação foliar feita em momentos adequados do ciclo da soja promove incrementos significativos na produtividade.

Esse nutriente exerce uma série de funções cruciais na fisiologia vegetal, desde a formação da clorofila, ativação enzimática, metabolismo energético, até o transporte de fotoassimilados (Maciel, 2024). A nutrição adequada com Mg é essencial para alcançar altos índices de produtividade na soja, além de contribuir para a resistência a estresses bióticos e abióticos. É importante destacar, contudo, que altas concentrações de magnésio no solo podem interferir negativamente na absorção de outros nutrientes, como cálcio, potássio e manganês (Jones; Huber, 2007). Isso pode acarretar desequilíbrios fisiológicos e reduzir o crescimento vegetal, evidenciando a necessidade de um manejo equilibrado da adubação.

No estudo de Lange *et al.* (2022), aplicaram-se doses crescentes de calcário dolomítico (PRNT 99%) de 3,6 e 9 t ha⁻¹, com amostragem realizada 90 dias após a incorporação do corretivo. O teor de magnésio trocável no solo apresentou incremento expressivo, variando de 1,5 cmolc dm⁻³ na dose mínima (3 t ha⁻¹) até 3,5 cmolc dm⁻³ na dose mais elevada (9 t ha⁻¹). Em contraste, o tecido foliar da soja mostrou-se pouco sensível à correção, sem alterações significativas nos teores de magnésio mesmo nos tratamentos com maior quantidade de corretivo.

Filho (2024), com aplicação de diferentes doses de calcário dolomítico, elevou significativamente os teores de magnésio (Mg) no solo, passando de 0,6 para 1,0 cmolc dm⁻³. Resultados semelhantes foram observados por Almeida (2013), que avaliou a aplicação de doses crescentes de calcário dolomítico com PRNT de 91%, onde, os teores de Mg aumentaram de 0,3 cmolc dm⁻³, na ausência de calagem, para 0,6 cmolc dm⁻³ com a dose recomendada de 1,3 t ha⁻¹, e atingiram 1,3 cmolc dm⁻³ com a dose de 5,2 t ha⁻¹, cinco meses após a aplicação do corretivo.

2.2.3 Potencial hidrogeniônico (pH)

No Brasil, a maior parte dos solos cultivados apresenta pH H₂O ácido, geralmente < 5,0, o que exige práticas de correção da acidez para viabilizar a produção agrícola eficiente, sobretudo em regiões tropicais como o Cerrado, comprometendo a camada superficial e a do subsolo, atrasando o crescimento das raízes e na absorção correta de água e nutrientes

(Bambolim *et al.*, 2015; Li *et al.*, 2019; Fiorini *et al.*, 2022). O pH, ou potencial hidrogeniônico, reflete a concentração de íons hidrogênio (H^+) presentes no solo. Dessa forma, considera-se que um solo é ácido quando apresenta elevada quantidade desses íons e baixa presença de cátions como cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}) e potássio (K^+) retidos no complexo coloidal de troca.

Solos com pH baixo, ou seja, com elevada acidez, costumam apresentar baixa disponibilidade de bases, especialmente cálcio e magnésio, além de altos teores de alumínio em formas tóxicas, excesso de manganês, intensa fixação de fósforo pelos coloides e carência de certos micronutrientes. O pH do solo, por refletir uma condição integrada de natureza biológica, física e química, não deve ser interpretado apenas pelos seus efeitos químicos diretos sobre as raízes. Cerca de 70% dos solos brasileiros apresentam acidez excessiva (baixos valores de pH), resultado da origem geológica, da lixiviação intensa e da ausência de minerais primários e secundários, fatores intensificados pelas elevadas precipitações típicas das regiões tropicais (Camargo, 2005).

O pH fornece indícios das condições químicas gerais do solo e atua como um regulador da disponibilidade dos nutrientes, influenciando diretamente na solubilidade e na absorção dos elementos pelas plantas. Micronutrientes como ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) apresentam disponibilidade altamente dependente do pH como mostra a Figura 1, sendo que valores inadequados podem limitar sua absorção e causar deficiências nutricionais (Pereira *et al.*, 2007). No cultivo da soja, esses aspectos tornam-se particularmente relevantes. A planta apresenta maior eficiência produtiva em solos com pH próximo à neutralidade, geralmente entre 6,0 e 6,5, faixa em que a maioria dos nutrientes está disponível em concentrações adequadas. Em solos com pH abaixo de 5,5, a absorção de nutrientes pela soja é prejudicada, resultando em menor desenvolvimento vegetativo e reprodutivo (Correia, 2009; Natale *et al.*, 2012).

Dessa forma, a correção da acidez do solo é indispensável para o bom desempenho da soja, especialmente em regiões como o Cerrado, onde predominam solos naturalmente ácidos e pobres em nutrientes. A prática da calagem, além de elevar o pH, reduz a toxidez por alumínio e manganês, melhora a disponibilidade de macro e micronutrientes e proporciona um ambiente mais favorável ao desenvolvimento radicular e à eficiência da absorção de insumos (Correia, 2009; Franchini *et al.*, 2001).

O pH do solo é amplamente utilizado como indicador da eficácia da calagem na neutralização da acidez. Conforme os dados apresentados na Tabela 1, a aplicação de calcário dolomítico promoveu incremento linear nos valores de pH medidos em solução de $CaCl_2$, atingindo níveis entre 5,3 e 5,5. De acordo com Malavolta (1979), essa faixa é considerada adequada para o crescimento de diversas culturas, uma vez que favorece a disponibilidade de

nutrientes essenciais como cálcio (Ca), magnésio (Mg) e potássio (K), especialmente dentro do intervalo de pH CaCl_2 entre 4,8 e 5,4. A elevação do pH, além de reduzir a toxicidade do alumínio trocável, também melhora a absorção de nutrientes. No entanto, quando o pH ultrapassa valores próximos a 7, a solubilidade de elementos como fósforo (P), zinco (Zn), cobre (Cu), manganês (Mn) e ferro (Fe) tende a diminuir, o que pode prejudicar o equilíbrio nutricional das plantas. Assim, a aplicação exagerada de corretivos pode resultar em supercalagem, sendo recomendável o monitoramento contínuo da acidez e da fertilidade por meio de análises periódicas do solo.

De acordo com Anjos *et al.* (2011), Moreira e Fageria (2010) e Marcelo *et al.* (2012), observaram um incremento linear no pH do solo em resposta à aplicação de doses crescentes de calcário, alcançando até 9,5; 10,3 e 3,6 t ha⁻¹, respectivamente. Por outro lado, Carneiro *et al.* (2018) relatam que, mesmo com aplicações elevadas do corretivo, o pH do Latossolo Vermelho amarelo distrófico, permaneceu dentro da faixa considerada ideal para o desenvolvimento das culturas (5,5 a 6,5). Esse comportamento pode estar relacionado ao poder tampão desses solos, pois, apesar das doses aplicadas, a acidez potencial (H⁺Al) manteve-se superior a 1,5 cmolc dm⁻³, e a dose de 4,5 t ha⁻¹ foi suficiente para reduzir esse valor a níveis praticamente nulos.

Caires *et al.* (2000), ao avaliarem quatro doses de calcário aplicadas superficialmente em sistema de plantio direto (0, 2, 4 e 6 t ha⁻¹), constataram redução na produtividade acumulada da soja ao longo de três safras quando empregada a dose de 6 t ha⁻¹. Esse efeito foi atribuído à menor absorção de zinco (Zn) e manganês (Mn) pelas plantas, resultado da redução na disponibilidade desses micronutrientes na solução do solo devido à elevação do pH promovida pela calagem.

De forma complementar, Filho, (2024) verificou que a aplicação de calcário não apenas aumentou os valores de pH do solo, como também elevou os teores de cálcio (Ca) e magnésio (Mg), ao mesmo tempo em que diminuiu os níveis de alumínio trocável e a acidez potencial nas áreas avaliadas. Portanto, o manejo adequado do pH do solo é uma estratégia essencial para garantir altas produtividades na cultura da soja, promovendo o equilíbrio nutricional e a saúde do solo.

2.2.4 Capacidade de troca de cátions (CTC)

A Capacidade de Troca de Cátions (CTC) corresponde à quantidade total de cargas negativas disponíveis nos colóides do solo, como a argila e a matéria orgânica, responsáveis

por reter e trocar cátions. Essa propriedade é fundamental para a nutrição vegetal, pois influencia diretamente a disponibilidade de nutrientes essenciais, como cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}) e potássio (K^+), indispensáveis ao desenvolvimento das plantas. Segundo Moreira (2023), a CTC é um fator decisivo para a maior ou menor oferta desses elementos no solo. Ambientes com CTC elevada apresentam melhor capacidade de retenção, favorecendo a absorção de nutrientes pelas raízes. Quando essa capacidade é predominantemente ocupada por cátions como Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ , o solo é considerado fértil e adequado para o cultivo. Em contrapartida, a presença dominante de íons potencialmente tóxicos, como H^+ e Al^{3+} , caracteriza solos ácidos e pobres em qualidade nutricional.

Solos com alta CTC retêm mais nutrientes e, portanto, oferecem maior suporte ao crescimento vegetal. Já em solos com baixa CTC, como os muito intemperizados ou originados de materiais quimicamente pobres, a retenção de cátions é limitada. Gonçalves *et al.* (1997) destacam que, quanto menor a CTC, menor a capacidade do solo em reter cátions trocáveis, o que compromete a disponibilidade de nutrientes para as plantas. Nesses casos, adubações e calagem devem ser feitas em doses fracionadas, reduzindo as perdas por lixiviação e melhorando o aproveitamento dos insumos aplicados. A CTC pode ser expressa como CTC total, quando inclui todos os cátions trocáveis ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+ + \text{Na}^+ + \text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$), ou como CTC efetiva, quando exclui o H^+ , já que este só é removido da superfície de troca por reações com íons OH^- , formando água.

O estado nutricional das culturas está diretamente relacionado à disponibilidade de nutrientes no solo, ao pH e à CTC. Esses fatores afetam o crescimento e o desenvolvimento vegetal e, na maioria das situações, os solos não conseguem suprir toda a demanda nutricional das plantas. Magalhães e Gomes (2020) afirmam que, devido à limitação da oferta natural de nutrientes, o uso de fertilizantes (orgânicos ou químicos), torna-se necessário para suprir as exigências nutricionais das culturas.

2.3 O cultivo de soja em solos arenosos

As principais regiões de expansão da cultura da soja no Brasil são caracterizadas por solos de textura arenosa. Segundo Donagemma *et al.* (2016), aproximadamente 8% do território nacional é ocupado por esse tipo de solo. O desenvolvimento da cultura começou a partir da década de 1980, especialmente em regiões como o Matopiba (Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia). Como ilustrado na Figura 2, os Neossolos Quartzarênicos, estão amplamente distribuídos na região do Cerrado. Apesar de suas limitações agronômicas, esses solos passaram

a ser utilizados devido à expansão da fronteira agrícola e à crescente demanda por novas áreas de cultivo. Esse avanço foi favorecido pelo preço mais acessível das terras e pelo relevo plano dessas regiões, que facilita o manejo e o plantio (Dos Santos *et al.*, 2024).

Figura 2 - Ocorrência de Neossolos Quartzarênicos no Brasil, com destaque para o bioma Cerrado e a região do Matopiba (Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia).



Fonte: Santos *et al.* (2011)

Embora a intensa exploração agrícola, solos arenosos apresentam desafio para sua produção, onde possuem baixa fertilidade natural, maior vulnerabilidade à erosão, propensão à contaminação e dificuldade em reter água, resultando em déficit hídrico (Donagemma *et al.*, 2016). Mesmo sendo solos profundos e com boa drenagem, apresentam importantes limitações de ordem química, física e microbiológica, principalmente devido aos baixos teores de matéria orgânica (Albuquerque Filho *et al.*, 2020), apresentam alta porosidade e rápida drenagem, o que pode levar à lixiviação de nutrientes, principalmente potássio, nitrogênio e enxofre. Os solos arenosos são definidos por sua alta proporção de areia, geralmente acima de 70%, capacidade de troca catiônica (CTC) reduzida, o que dificulta a retenção e a disponibilidade de nutrientes essenciais às plantas.

A cultura da soja, apesar de sua adaptabilidade, responde fortemente às condições edáficas, exigindo ambientes com disponibilidade adequada de água, pH próximo à neutralidade e nutrientes em equilíbrio. Dessa forma, o seu cultivo em solos arenosos requer estratégias específicas de manejo, principalmente relacionadas à correção da acidez, reposição nutricional e conservação da umidade. Entre as práticas recomendadas, destaca-se a calagem,

tornando os solos arenosos mais produtivos, neutralizando o alumínio, corrigindo o pH, e liberando o cálcio e magnésio necessários para as plantas, promovendo melhores condições para o desenvolvimento radicular.

Em solos arenosos, tem se tornado uma prática comum a aplicação de doses elevadas de calcário, frequentemente variando entre 6 e 12 t ha⁻¹, superando as recomendações estabelecidas pelos manuais de correção e adubação do solo (Donagemma *et al.*, 2016; Zancanaro *et al.*, 2018; Oliveira *et al.*, 2024; Singer, 2024). Essas doses são aplicadas mesmo em áreas cuja necessidade calculada seria em torno de 2 t ha⁻¹ (Alvarez; Ribeiro, 1999; Sousa *et al.*, 2007). Isso se deve, em grande parte, ao fato de que, em solos arenosos, o baixo poder tampão faz com que pequenas doses de calcário sejam suficientes para corrigir o pH e neutralizar o alumínio (Al) tóxico, porém essas doses não são eficazes para elevar os teores de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) a níveis adequados (50 a 65% de Ca, 15 a 20% de Mg, em relação a CTC (pH 7)) conforme (Bear; Toth *apud* Oliveira *et al.*, 2001; Mclean, 1984; Albrecht, 2005), especialmente em sistemas intensivos e com culturas de alta exigência nutricional (Dos Santos *et al.*, 2024).

Trabalhos recentes evidenciam a necessidade de aplicar doses mais elevadas de calcário em solos arenosos. Maraschin *et al.* (2020) observaram que, a partir de 5,5 t ha⁻¹, os valores de pH ultrapassaram 6,0 e os teores de alumínio foram reduzidos a 0,0 cmolc dm⁻³. O aumento nos níveis de cálcio e magnésio contribuiu para a elevação da CTC até a dose de 4 t ha⁻¹. Acima desse valor, em solo de textura média, constatou-se uma tendência de estabilização em torno de 5,50 cmolc dm⁻³. Esse acréscimo é relevante para a fertilidade, pois amplia a capacidade dos colóides do solo de reter cátions como Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺, essenciais à nutrição das plantas.

De acordo com Dos Santos *et al.* (2024), há a necessidade de ampliar as doses comumente recomendadas de calagem para solos arenosos, especialmente na cultura da soja. Os autores indicam aplicações entre 5 e 10 t ha⁻¹, por possibilitarem níveis de Ca e Mg superiores a 2 cmolc dm⁻³ na camada de 0-20 cm, além de concentrações mais elevadas entre 20-40 cm, conforme demonstrado pelos modelos de regressão ajustados em sua pesquisa.

O experimento conduzido por Richart (2016) demonstrou que a aplicação de superdoses variadas de calcário promoveu aumentos médios nos atributos químicos do solo, como pH, cálcio, magnésio e potássio. Considerando que a utilização de doses elevadas de corretivos tem se tornado uma prática comum entre os produtores, muitas vezes aplicando o dobro da recomendação técnica, torna-se essencial investigar os efeitos dessa estratégia. A realização de estudos nessa área é necessária para avaliar se tais práticas estão sendo conduzidas de maneira correta, tanto do ponto de vista agrônomo quanto da viabilidade econômica.

3 METODOLOGIA

3.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido em condições de campo no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins - *Campus* Colinas do Tocantins, localizado no município de Colinas do Tocantins, TO (Figura 3). A área experimental encontra-se nas coordenadas geográficas 08°03'33''S de latitude, 48°28'30''W de longitude, a uma altitude de 227 metros. O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo Aw (clima tropical com estação seca no inverno) (Alvares *et al.*, 2013). O solo da área experimental foi classificado como Neossolo Quartzarênico distrófico de textura arenosa, contendo 15% de argila, conforme Santos *et al.* (2018).

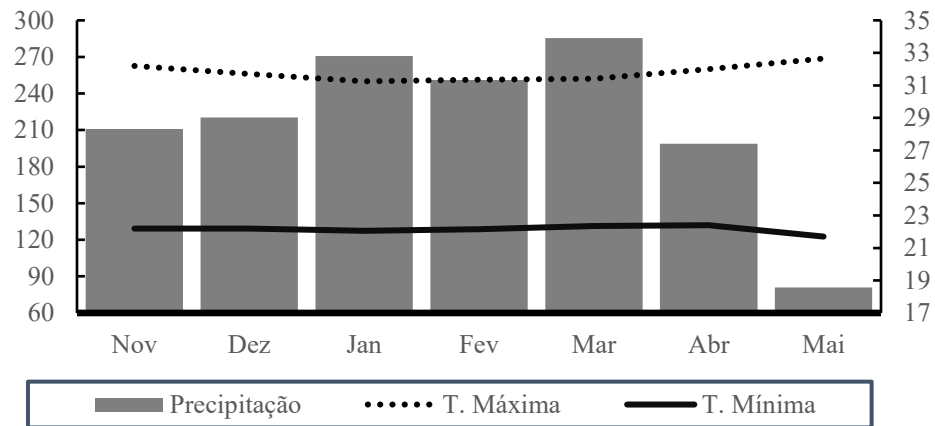
Figura 3 - Mapa do Estado do Tocantins com a localização da cidade de Colinas do Tocantins (A), localização do IFTO – Campus Colinas (B) e imagem aérea da área experimental (C)



Fontes: A: IBGE (2025); B: Google Earth (2025); C: Autoria própria (2025)

A precipitação média anual da região é de aproximadamente 1.730 mm. Durante o período do plantio até a colheita, foi registrado um acumulado de 1.242 mm, esses dados de precipitação e temperatura estão representados graficamente na Figura 4. As variáveis climáticas de precipitação e temperatura da área experimental foi baseada em dados médios históricos do INMET, calculados a partir de uma série de 30 anos de observações (1991-2020) das cidades de Araguaína - TO e Pedro Afonso - TO.

Figura 4 - Temperatura mínima, máxima e precipitação mensal durante o período experimental (nov–mai).



Fonte: Autoria própria (2025)

3.2 Histórico e preparo da área

Este experimento é continuidade de um trabalho anterior com a aplicação das doses de calcário, no qual foi realizado para o primeiro cultivo de soja na safra 2023/2024. A calagem e preparo inicial da área para os experimentos teve início em 18 de novembro de 2023, com a aplicação manual de doses crescentes de calcário dolomítico nas parcelas experimentais (Figura 5). Foram realizadas duas gradagens, com incorporação a 20 cm de profundidade, visando à homogeneização do corretivo ao solo. No mesmo ano, também foi realizada a adubação fosfatada com a aplicação de 100 kg de P_2O_5 , utilizando-se 195 kg ha^{-1} de superfosfato triplo (44% de P_2O_5 e 12% de cálcio). Como fonte de potássio foi utilizado cloreto de potássio, na dose de 193 kg ha^{-1} , dividida em três aplicações durante o experimento de 2023.

Figura 5 - Instalação do experimento com aplicação das diferentes doses de calcário no delineamento experimental



Fonte: Filho (2024)

3.3 Calagem e adubação

O calcário dolomítico foi adquirido de uma empresa no município de Bandeirantes-TO, a cerca de 80 km da área experimental, apresentando a seguinte composição: 31,7% de óxido de cálcio (CaO), 19,9% de óxido de magnésio (MgO) e poder relativo de neutralização total (PRNT) de 88%.

A dose de 2,5 toneladas por hectare utilizada neste estudo foi determinada com base no cálculo da elevação da saturação por bases (V%) da camada de 0-20 cm para 60%, valor considerado adequado para a cultura da soja, conforme Rajj *et al.* (1997). A partir dessa dose inicial, definiram-se as demais doses crescentes. A incorporação foi realizada por meio de gradagem, utilizando a grade de 20 cm disponível no momento.

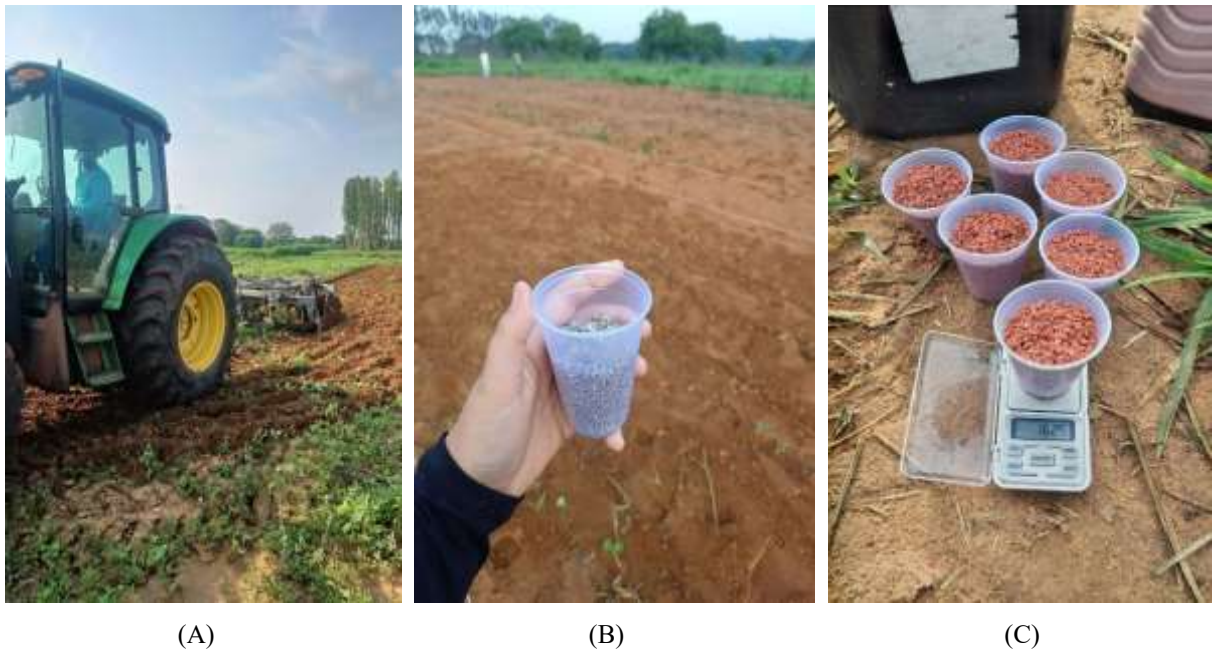
Antes da implantação do experimento de segundo ano, em maio de 2024, a área passou por coleta de amostras de solo, utilizando trado tipo sonda, nas profundidades de 0-20 cm, para cada dose (0; 2,5; 5; 7,5 e 10 t ha⁻¹). Os resultados forneceram informações sobre as condições químicas e físicas do solo (Tabela 3).

3.4 Delineamento experimental e tratamentos

O preparo da área para o segundo ano de cultivo iniciou-se em 23 de novembro de 2024, com gradagem para eliminação da vegetação espontânea (Figura 6A), visto que a área permanecia sem cobertura vegetal desde a conclusão do cultivo anterior, apresentando infestação de plantas daninhas e acúmulo de material vegetal remanescente. A calagem foi realizada apenas uma vez, antes do início do experimento de segundo ano, utilizando-se a aplicação realizada em 2023, no primeiro ano de cultivo. A área foi monitorada durante todo o período experimental, permanecendo demarcada com estacas em cada parcela, o que possibilitou a continuidade do estudo na mesma área.

Após setes dias da limpeza da área, foi realizada a aplicação manual na área total de micronutrientes em oxisulfatos (Lander Mix), conforme recomenda De Resende, 2003 (Figura 6B), fornecida pela empresa Bience, contendo Boro (B) 6%, Manganês (Mn) 4%, Zinco (Zn) 2% e Cobre (Cu) 1,2%, na dose de 5 g m⁻² (50 kg ha⁻¹), seguida de incorporação mecânica a 20 cm de profundidade. Após isso, a área foi nivelada manualmente com enxadas. Um mês depois, foi realizada adubação com aplicação de cloreto de potássio (KCl), na dose de 250 kg ha⁻¹, dividida em três aplicações: a primeira com 4 dias antes do plantio, a segunda no estágio V2 e a terceira em V6, com intervalo de aproximadamente um mês entre elas (Figura 6C).

Figura 6 - Preparo da área experimental para plantio em segundo ano (A), micronutrientes (Lander Mix) (B) e cloreto de potássio (C)

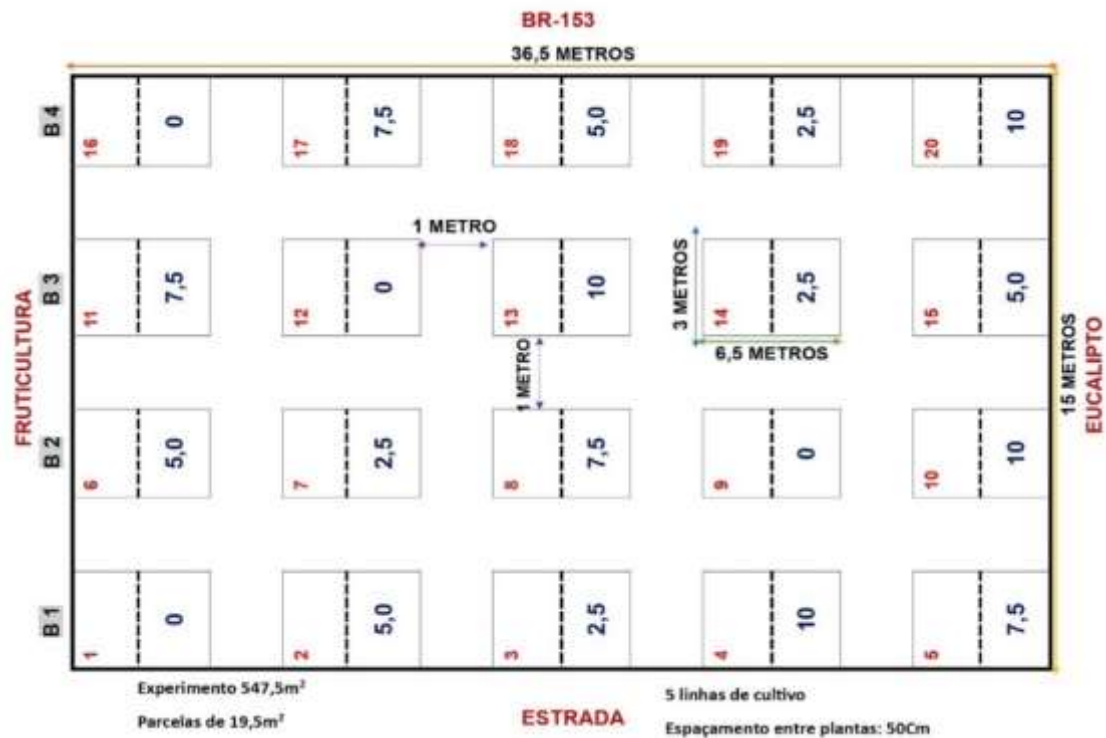


Fonte: Autoria própria (2025)

O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados (DBC), com cinco tratamentos correspondentes a doses crescentes de calcário (0; 2,5; 5,0; 7,5 e 10,0 t ha⁻¹) e quatro repetições, das quais apenas três foram consideradas na análise devido a danos causados por vacas em algumas parcelas.

As unidades experimentais mediram 3,0 m × 3,0 m (9 m²), compostas por cinco linhas de cultivo com espaçamento de 50 cm entre linhas (Figura 7). A área útil de cada parcela correspondeu às três linhas centrais, com 3 m de comprimento. Foram coletadas 20 plantas ao acaso por parcela, dentro da área útil, em três repetições.

Figura 7 - Croqui do experimento



Fonte: Autoria própria (2025)

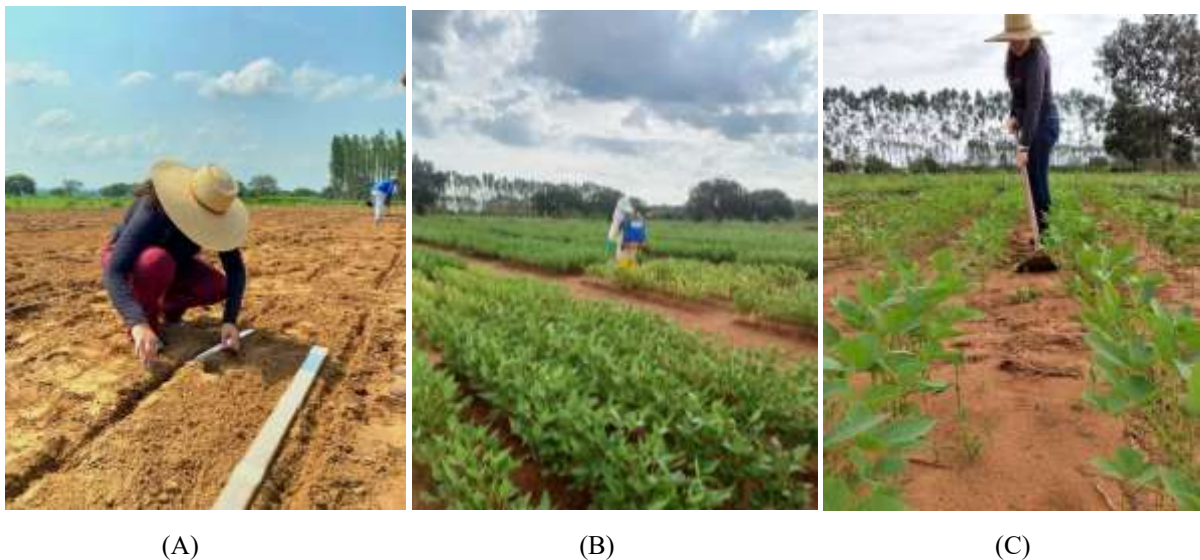
3.5 Cultivar utilizada e tratos culturais

A cultivar utilizada foi a M 8606 i2x, desenvolvida pela Monsoy, com ciclo de 120 dias, hábito de crescimento determinado e grupo de maturação 8.6. Esta cultivar apresenta boa adaptação às condições edafoclimáticas do norte do Tocantins, sendo indicada para áreas de abertura, com resistência moderada à antracnose, mancha-alvo e macrofomina, e resistência ao cancro-da-haste e cancro de talo. É recomendada para solos de baixa a média fertilidade e possui elevado potencial produtivo.

A semeadura foi realizada em 03 de janeiro de 2025, caracterizando um plantio tardio, pois se tratou de um replantio. O primeiro plantio em dezembro, ficou submetido a um período de oito dias sem chuva, o que ocasionou falhas na germinação e escaldadura das plântulas. O replantio foi conduzido com abertura manual dos sulcos, utilizando-se a densidade de 12 sementes por metro linear (Figura 8A). As sementes foram previamente tratadas com Germinete® (micronutrientes: Mo, Co, Ni e Zn), Standak Top® (fungicida e inseticida), e os inoculantes Starfix® (*Bradyrhizobium japonicum*) e Lalriseazos® (*Azospirillum brasilense*), conforme recomendações dos fabricantes. O tratamento das sementes foi realizado no laboratório do *campus*, no dia do plantio, em ambiente sombreado, arejado e úmido.

Foram realizadas aplicações de fungicidas para o controle e a prevenção de doenças fúngicas na cultura da soja, utilizando os produtos comerciais Cerconil® WP (Tiofanato-metílico + Clorotalonil), Bravonil® (Clorotalonil) e Tebufort® (Triazol). Associadas a essas aplicações, também foram empregados inseticidas para o controle de pragas presentes na área, sendo utilizados Imidagold® 700 WG (Imidacloprido) e Decis® (Deltametrina), conforme as recomendações para a cultura. Todas as pulverizações foram realizadas com bomba costal manual, em intervalos de 15 dias, no período de V4 a R5, totalizando quatro aplicações, devido à elevada ocorrência de vaquinhas e percevejos. Também foi feito duas aplicações de aminoácido, para ajudar a reduzir a fitotoxicidade dos produtos (Figura 8B). No controle de plantas daninhas não foi realizada nenhuma aplicação de herbicida, o controle foi realizado mediante a capina manual assim que necessário (Figura 8C).

Figura 8 - Plantio (A), controle fitossanitário (B) e limpeza manual da área (C)



Fonte: Autoria própria (2025)

3.6 Dessecação da soja

A dessecação foi realizada no estágio R7 (caracterizada pela presença de ao menos uma vagem madura na haste principal, amareladas ou marrons, e a semente perde a cor verde), quando a soja atinge a maturação fisiológica, semente atingindo o máximo de matéria seca e não transfere mais nutrientes para as vagens. Foi utilizado o dessecante “Diquat Nortox” à base de diquate, conforme recomendações do produto para a cultura da soja (Figura 9A).

Figura 9 - Preparo para dessecação (A) e soja dessecada (B)



(A)

(B)

Fonte: Autoria própria (2025)

A colheita da área útil experimental foi realizada 119 dias após o plantio, de forma manual, com o auxílio de uma tesoura de poda rente ao solo. Todos os tratamentos foram colhidos no mesmo dia, para posterior realização das demais coletas de dados. Foram colhidas 20 plantas por parcela, que foram devidamente identificadas (Figura 10).

Figura 10 - Colheita da área útil do experimento (A) e identificadas (B)



(A)

(B)

Fonte: Autoria própria (2025)

3.7 Coleta de dados e análise de solo

Foram mensurados os componentes de produtividade classificados como diretos (ou primários), como número de vagens por planta e peso de mil grãos e produtividade (sacas/ha) (Navarro Júnior; Costa, 2002), e os componentes indiretos (ou secundários), como altura de planta (cm) (Mundstock; Thomas, 2005), além do teor de clorofila da folha, inserção da primeira vagem (cm), diâmetro do caule (mm), número de nós produtivos, população de plantas.

3.7.1 Altura de planta

A medição foi realizada em campo no estádio R5.2, com a planta já encerrando seu crescimento vegetativo, devido ao ciclo determinado (Figura 11A). Mediu-se a altura do colo até o ápice do caule com fita métrica de 3 metros, sendo obtidos os valores médios por repetição e tratamento.

3.7.2 Número de vagens por planta

Foram selecionadas 9 plantas ao acaso das 20 plantas colhidas na parcela contadas as vagens. O valor médio foi considerado representativo da parcela.

3.7.3 Peso de mil grãos (PMG)

A partir de três repetições, foram contadas 300 sementes de cada tratamento, pesadas em balança analítica com precisão de 0,0001 g (Figura 11B). O valor foi extrapolado para mil grãos. O teor de umidade foi medido com analisador de umidade Drawell DW-MW, com amostras de 14 g por tratamento. A massa foi corrigida para 13% de umidade.

3.7.4 Produtividade

Os grãos provenientes de 20 plantas colhidas por tratamento foram trilhados e pesados, com correção da umidade para 13%. A produtividade foi estimada em kg ha^{-1} , a partir da extrapolação dos dados da área útil para hectare. Para o cálculo em sacas ha^{-1} , o peso médio dos grãos (g) foi dividido por 1.000, multiplicado pelo estande de plantas da área experimental e, posteriormente, dividido pelo número de plantas colhidas (20).

Figura 11 - Coleta da altura da planta (A) e o Peso de mil grãos (B)



Fonte: Autoria própria (2025)

Os dados foram submetidos à ANOVA e análise de regressão. As médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade, utilizando o software estatístico SpeedStat versão 3.3 (Carvalho *et al.*, 2020).

Em março de 2025, foram retiradas amostras de solo da camada de 0-20 cm em cada parcela, compondo uma amostra composta por tratamento. Cada amostra composta resultou da mistura de três amostras simples, provenientes das três repetições.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Variáveis analisadas

A altura das plantas, o número de nós na haste principal e o número de vagens por planta não foram influenciados significativamente pela aplicação de doses crescentes de calcário. Apesar das variações observadas entre os tratamentos, não houve diferença estatística significativa ($P \leq 0,05$), evidenciando a semelhança entre os valores médios dessas variáveis (Tabela 1).

Tabela 1 - Altura (cm) no estágio R5.2, número de nós na haste principal no estágio R8 e número de vagens no estágio R8, em resposta a aplicação dos tratamentos

Tratamentos	Altura (cm)	Número de nós	Número de vagens
T0	41,9	11,2	39,4
T2,5	42,1	11,8	42,8
T5,0	38,5	12,5	37,5
T7,5	40,8	11,6	43,4
T10	39,3	11,5	41,4
CV%	5.08	9.41	14.94

Fonte: Autoria própria (2025)

Os resultados obtidos a partir da avaliação da altura das plantas são apresentados na tabela 2. O maior valor de altura foi registrado na dose de 2,5 t ha⁻¹ (42,1 cm), seguida pelas doses de 0 t ha⁻¹ (41,9 cm), 7,5 t ha⁻¹ (40,8 cm), 10 t ha⁻¹ (39,3 cm) e, por fim, a menor altura foi observada na dose 5 t ha⁻¹ (38,5 cm). A altura das plantas varia, dependendo das condições do ambiente (fertilidade do solo, fotoperíodo) e da variedade (cultivar). A estatura considerável ideal na cultura da soja é de 60 a 110 cm, o que, em lavouras comerciais, pode facilitar a colheita mecânica e evitar o acamamento.

Embora fosse esperado um incremento na altura das plantas em função da aplicação dos corretivos de acidez do solo, os dados obtidos revelaram variações sem padrão definido. Tal comportamento pode estar associado a fatores externos ao manejo químico do solo, como a época de semeadura. No estado do Tocantins, a janela recomendada para o plantio da soja é de outubro a dezembro. A semeadura realizada fora desse período pode resultar em floração precoce, o que, por sua vez, pode diminuir a altura das plantas devido ao encurtamento do ciclo

vegetativo. No presente estudo, o plantio foi realizado fora do período recomendado (novembro) pela empresa Agro Bayer, responsável pela comercialização da cultivar utilizada, o que possivelmente interferiu no desempenho vegetativo das plantas.

Um aspecto relevante a ser considerado é que não foi realizada adubação fosfatada na área experimental no segundo ano, em razão da aplicação já efetuada no primeiro ano, sob a hipótese de que o fósforo ainda estaria disponível no solo, o que possivelmente comprometeu o desenvolvimento das plantas. O fósforo é essencial para a cultura da soja, não apenas para a formação de grãos, mas também para características vegetativas como a altura da planta, a inserção da primeira vagem e a formação de nódulos responsáveis pela fixação biológica do nitrogênio (Araujo *et al.*, 2005), sendo o teor em P Mehlich considerado ideal para a cultura em solos arenosos, cerca de 20 mg/dm³.

A ausência de fósforo nos estádios iniciais do desenvolvimento pode restringir severamente o crescimento das plantas, sendo uma limitação da qual muitas vezes a planta não consegue se recuperar totalmente ao longo do ciclo (Grant *et al.*, 2001). Além disso, a deficiência desse nutriente pode causar sintomas como crescimento lento, folhas menores com coloração verde-escura a azulada, atraso no florescimento e redução do número de folhas, frutos e sementes, afetando diretamente a produtividade (Grant *et al.*, 2001; Hinsinger, 2001).

Ressalta-se ainda que a altura das plantas nem sempre está diretamente relacionada com a produtividade da soja. No presente estudo, as plantas mais altas não foram, necessariamente, as mais produtivas. De acordo com Klein *et al.* (2018), ao avaliar diferentes arranjos espaciais na cultura da soja, observaram-se variações nas alturas das plantas que não influenciaram significativamente a produtividade, mas tiveram impacto na altura de inserção da primeira vagem. Além disso, plantas excessivamente altas podem representar risco de acamamento, dificultando a colheita mecanizada e gerando prejuízos ao produtor. Vale lembrar que a cultivar utilizada neste experimento apresenta crescimento determinado. Assim, ao atingir o estágio reprodutivo, o crescimento em altura é interrompido, o que limita a variação de altura entre os tratamentos.

O número de nós na haste principal das plantas de soja variou entre 11,2 (T0) e 12,5 (T5,0), conforme apresentado na Tabela 1. Como mencionando anteriormente, não houve diferença significativamente para esta variável, indicando que a aplicação de calcário nas doses avaliadas não influenciou de forma expressiva essa característica morfológica. Apesar da ausência de significância estatística, observa-se uma leve tendência de aumento no número de nós com o incremento das doses até 5,0 t ha⁻¹. Conforme Do Carmo *et al.* (2018), a capacidade produtiva da soja está altamente associada ao número de nós produtivos, número e comprimento

de ramos, portanto busca-se que haja maior desenvolvimento e otimização desses parâmetros para alcançar maiores rendimentos na produção da soja. Além disso, essa variável pode variar em função do fotoperíodo, conforme observado por Setiyono *et al.* (2007).

O número de vagens por planta variou entre os tratamentos, com valores oscilando de 37,5 (T5,0) a 43,4 (T7,5), porém, sem diferença estatística significativa ($P \leq 0,05$) (Tabela 1). Embora as diferenças encontradas não tenham sido estatisticamente significativas, é possível observar uma tendência de incremento associada ao aumento das doses de calcário aplicadas ao solo. O tratamento com 7,5 t ha⁻¹ de calcário resultou no maior valor médio, com 43,4 vagens por planta. Esta variável é dependente do arranjo de plantas, e pode sofrer alterações conforme o manejo (Ritchie *et al.*, 1994).

Na Tabela 2, observa-se que a altura da inserção da primeira vagem, o diâmetro do caule e o teor de clorofila total também não apresentaram diferenças estatísticas entre os tratamentos ($P \leq 0,05$).

Tabela 2 – Inserção da primeira vagem (cm), diâmetro caule (mm), no estágio R5.3 e Clorofila total em R2.2 em resposta a aplicação dos tratamentos

Tratamentos	Inserção da primeira vagem (cm)	Diâmetro caule (mm)	Clorofila total
T0	9,7	5,0	34,8
T2,5	8,5	5,4	34,2
T5,0	8,8	4,9	34,2
T7,5	9,2	4,8	34,0
T10	8,5	4,6	33,8
CV%	8.36	11.95	3.33

Fonte: Autoria própria (2025)

A inserção da altura da primeira vagem variou entre 8,5 cm (T2,5) e 9,7 cm (T0), conforme observado na Tabela 2. Essa amplitude indica que as doses de calcário aplicadas não promoveram efeito expressivo nessa característica fenológica. De forma semelhante, Delavale *et al.* (2000), em estudo realizado sob semeadura direta com calagem superficial, também não encontraram efeito significativo do calcário na altura de inserção da primeira vagem, não havendo diferenças estatísticas. A importância dessa variável agrônômica é ressaltada por Sedyama *et al.* (2009), que estabelece exigência mínima de 12 cm para reduzir as perdas durante a operação da colheita mecanizada. Portanto, com base neste valor de referência, a

altura de inserção da primeira vagem obtida neste estudo ficou abaixo desse patamar, o que poderia indicar risco de perdas na colheita, caso não fossem adotadas estratégias técnicas de manejo da barra de corte.

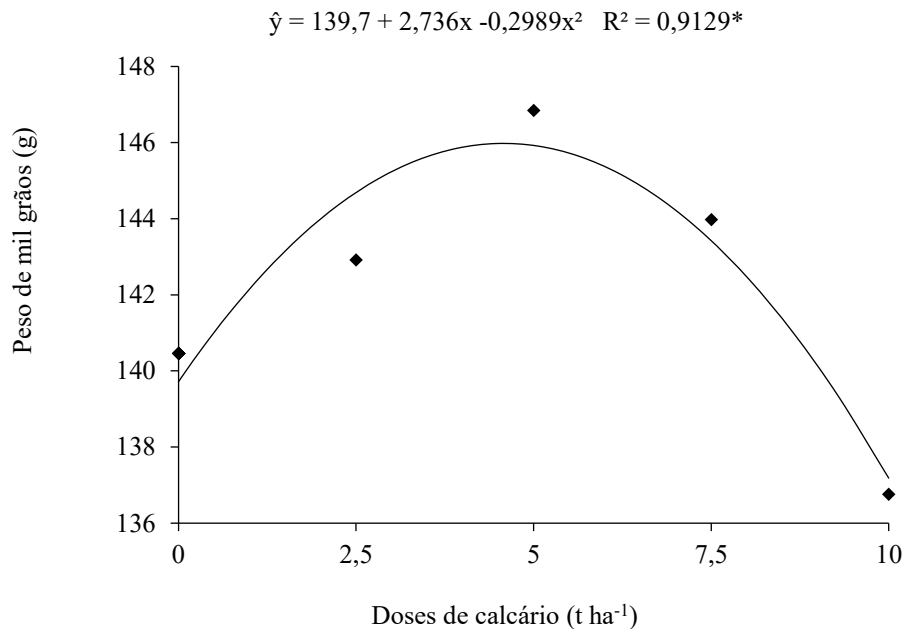
Apesar da variação numérica entre os tratamentos, variando de 4,6 mm (T10) a 5,4 mm (T2,5), o diâmetro do caule da soja não apresentou diferença significativa com a aplicação das doses de calcário conforme demonstrado na Tabela 2, o que sugere que a calagem, nas doses aplicadas, não influenciou este parâmetro morfológico da planta. Isso indica que a calagem, nas condições deste experimento, não impactou o desenvolvimento estrutural do caule. Esse resultado está em concordância com estudos como o de Sampaio *et al.* (2021), que avaliou os efeitos de doses elevadas de calcário calcítico (0, 3, 6 e 9 t ha⁻¹) em Latossolo Vermelho eutroférico e não observaram alteração significativa no diâmetro do caule da soja. Além disso, Da Silva *et al.* (2024), com estudos conduzidos em vasos no Cerrado maranhense em Latossolo Amarelo distrófico, com 0,64; 1,2 e 1,76 toneladas por hectare de calcário dolomítico, também relataram ausência de efeito morfométrico (incluindo diâmetro do caule) do calcário.

A análise dos dados de clorofila total (Tabela 2), revelou ausência de efeito significativo das doses de calcário, com valores variando entre 33,8 e 34,8 entre os tratamentos. Essa uniformidade sugere que a aplicação do corretivo, nas condições avaliadas, não interferiu na síntese ou acúmulo de clorofila pelas plantas. Isso é consistente com estudos que observam neutralidade da calagem em relação à clorofila. Rezende *et al.* (2024) avaliaram o teor de clorofila em plantas de soja submetidas a diferentes corretivos de solo, não apresentaram diferença estatística significativa no teor de clorofila. Estudo conduzido por Spehar (1993) em solos de Cerrado, afirma que, embora a calagem aumente a disponibilidade de Ca e Mg nas plantas, o efeito sobre a clorofila só é percebido quando há alteração considerável na nutrição de magnésio, algo que não ocorreu neste experimento.

Os dados das médias de peso de mil grãos são apresentados na Figura 12. O tratamento com dose 5T apresentou o maior valor para essa variável (146,84 g), embora ainda abaixo do padrão ideal estabelecido pela empresa responsável pela comercialização, que considera adequados valores entre 160 e 170 g. Porém, a dose 0 e a dose 10 T produziram grãos menos pesados quando comparados com os outros tratamentos. Observe-se que mesmo a dose de 2,5 toneladas de calcário (dose encontrada pelo cálculo de elevação da saturação por base) não é suficiente para aumentar o peso de mil grãos. De acordo com Soares (2016), a variável peso de mil grãos está mais relacionada aos fatores genéticos, ambientais e manejo adequado do solo. Esta variável é bastante dependente da nutrição com elementos como boro e potássio, que atuam

diretamente no metabolismo e transporte de carboidratos (ativação da sintetase do amido) (Malavolta, 1980).

Figura 12 - Peso de mil grãos de soja submetidas a diferentes doses de calcário



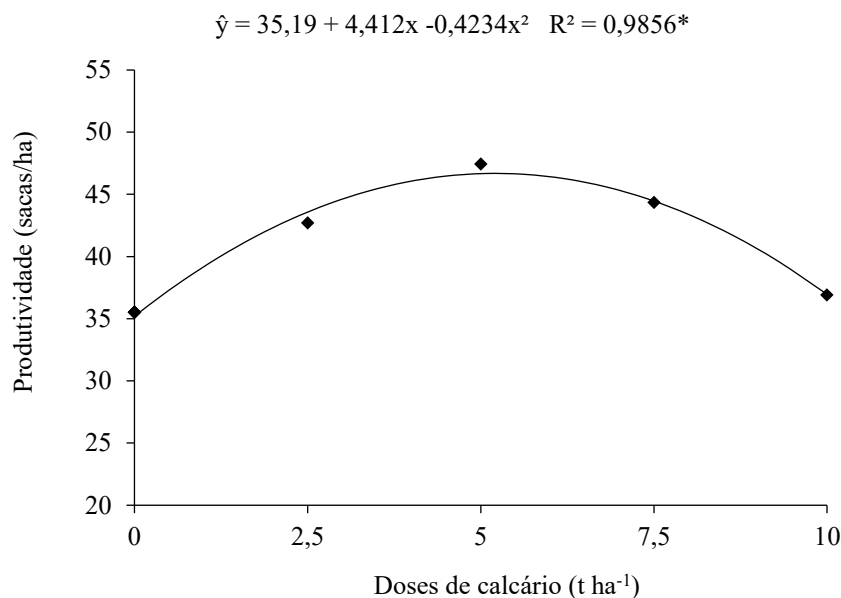
*R² com S.Q. Regressão significativa e falta de ajuste não-significativa pelo teste F da ANOVA da regressão

Com relação à produtividade, observa-se um aumento na produção da soja com o uso de doses crescentes de calcário até um ponto máximo, seguido de uma leve redução (Figura 13). A equação de regressão ajustada indica um comportamento quadrático, com aumento da produtividade até um ponto ótimo estimado em torno de 5,0 t ha⁻¹ de calcário, dose que proporcionou a maior produtividade estimada de aproximadamente 47,42 sacas por hectare. Doses superiores a essa quantidade, como 7,5 t ha⁻¹ e 10 t ha⁻¹, apresentaram produtividades inferiores, estimadas em cerca de 44,34 e 36,91 sacas ha⁻¹, respectivamente, indicando que, nas condições em que o ensaio foi conduzido, a aplicação excessiva de calcário pode ter limitado o potencial de produtividade. Já a menor produtividade foi observada na dose 0 (sem calagem), com valor estimado de 35,51 sacas ha⁻¹, o que demonstra uma diferença de mais de 11 sacas por hectare em relação à dose mais produtiva (5,0 t ha⁻¹).

Caires *et al.* (2003), ao avaliarem diferentes níveis de calagem (0; 1,5 e 4,5 t ha⁻¹ de calcário dolomítico) em Latossolo Vermelho distrófico textura argilosa, não identificaram diferenças significativas na produtividade dos grãos, indicando que o efeito pode variar conforme as condições do solo e clima. De forma semelhante, Lima (2006) concluiu que a presença ou ausência de cálcio não gerou variações expressivas na produtividade da soja em

seu experimento com (0, 75, 150, 225 g ha⁻¹ de Mo) na ausência e presença de cálcio (100 ppm) em um Latossolo Vermelho Distrófico típico, muito argiloso. No entanto, Miranda *et al.* (2005) destacou que a aplicação de doses adequadas de calcário em áreas sob sistema de plantio direto em Latossolo Vermelho argiloso, contribui positivamente para o aumento da produtividade, reforçando a relevância do manejo correto dessa prática. Estudos mais recentes, como o de

Figura 13 - Produtividade da soja em sacas por hectares submetidas a diferentes doses de calcário



Santos (2023), indicam que a maior produtividade foi alcançada com a aplicação de 4 t ha⁻¹ de calcário, em experimento conduzido em solo classificado como Latossolo Amarelo Distrófico.

*R² com S.Q. Regressão significativa e falta de ajuste não-significativa pelo teste F da ANOVA da regressão

4.2 Atributos químicos do solo em função das doses crescentes de calcário dolomítico após um ano da aplicação

Os parâmetros químicos do solo referentes aos cinco tratamentos avaliados (0, 2,5, 5, 7,5 e 10 t ha⁻¹ de calcário dolomítico) encontram-se apresentados na Tabela 3 e 4. Após 18 meses da aplicação de diferentes doses de calcário, observou-se aumento dos valores de pH e da saturação por bases (V%), assim como elevação dos teores de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) e redução da acidez potencial (H⁺+Al³⁺) nas amostras coletadas de 0-20 cm (Tabela 4). Como foi feito apenas uma análise composta por tratamento não há como submeter os dados a análise estatística, porém com os resultados das análises pode-se inferir que a aplicação do corretivo

promoveu modificações nos atributos químicos do Neossolo Quartzarênico avaliadas um ano após a intervenção.

O calcário foi incorporado ao solo, logo após a aplicação, no início de novembro de 2023. A primeira amostragem foi realizada em maio de 2024, conforme apresentado na Tabela 3. A segunda coleta ocorreu 18 meses após a calagem (Tabela 4). Considera-se que ainda há material em processo de reação, o que poderá ocasionar modificações adicionais nos atributos químicos nos próximos anos. Entre novembro de 2023 e maio de 2025, foram registrados 3.506,15 mm de precipitação acumulada, de acordo com os dados mensais de pluviosidade referentes à área experimental.

Tabela 3 - Análise dos parâmetros químicos do solo, coletados na profundidade de 0-20 cm, referentes aos cinco tratamentos submetidos a diferentes doses de calcário no ano de 2024

Determinação	Unidade	Dose 0*	Dose 2,5*	Dose 5*	Dose 7,5*	Dose 10*
pH CaCl ₂	-	5,3	5,4	5,4	5,4	5,5
P meh	mg.dm ⁻³	1,90	2,30	3,70	3,20	2,60
S-SO ₄ ⁻²	mg.dm ⁻³	6,00	5,00	6,00	5,00	6,00
K	cmol _c .dm ⁻³	0,10	0,09	0,08	0,09	0,10
Ca	cmol _c .dm ⁻³	1,70	1,80	1,90	1,90	2,00
Mg	cmol _c .dm ⁻³	0,60	0,80	0,90	1,00	1,00
Al	cmol _c .dm ⁻³	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H + Al	cmol _c .dm ⁻³	2,20	2,00	1,80	2,00	1,80
B	mg.dm ⁻³	0,23	0,21	0,17	0,19	0,15
Cu	mg.dm ⁻³	0,40	0,30	0,30	0,40	0,30
Fe	mg.dm ⁻³	27,00	11,00	12,00	11,00	9,00
Mn	mg.dm ⁻³	0,80	0,30	0,40	0,30	0,30
Zn	mg.dm ⁻³	0,50	0,40	0,40	0,40	0,40
SB	cmol _c .dm ⁻³	2,40	2,69	2,88	2,99	3,10
CTC _T	cmol _c .dm ⁻³	4,60	4,69	4,68	4,99	4,90
CTC _t	cmol _c .dm ⁻³	2,40	2,69	2,88	2,99	3,10
V	%	52,00	57,00	62,00	60,00	63,00
M	%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ca/T	%	37,00	38,00	41,00	38,00	41,00
Mg/T	%	13,00	17,00	19,00	20,00	20,00
K/T	%	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Ca/Mg	-	2,80	2,20	2,10	1,90	2,00
Ca/K	-	17,00	20,0	23,80	21,10	20,00
Mg/K	-	6,00	8,90	11,20	11,10	10,00

Amostras de solo coletadas na profundidade de 0-20 cm, referentes aos cinco tratamentos com diferentes doses de calcário: Dose 0 - sem aplicação; Dose 2,5 - aplicação de 2,5 t ha⁻¹; Dose 5 - aplicação de 5 t ha⁻¹; Dose 7,5 - aplicação de 7,5 t ha⁻¹; Dose 10 - aplicação de 10 t ha⁻¹

Tabela 1 - Análise dos parâmetros químicos do solo, coletados na profundidade de 0-20 cm, referentes aos cinco tratamentos submetidos a diferentes doses de calcário no ano de 2025

Determinação	Unidade	Dose 0*	Dose 2,5*	Dose 5*	Dose 7,5*	Dose 10*
pH H ₂ O	-	5,96	6,76	6,95	7,20	7,25
P-Rem	mg/L	42,10	39,60	40,20	37,70	37,5
P Mehlich	mg.dm ⁻³	1,20	2,10	0,90	2,20	1,20
K	cmol _c .dm ⁻³	0,23	0,32	0,31	0,22	0,22
Ca ²⁺	cmol _c .dm ⁻³	1,32	1,61	1,49	2,01	1,67
Mg ²⁺	cmol _c .dm ⁻³	0,56	0,87	0,80	1,16	0,92
Al ³⁺	cmol _c .dm ⁻³	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H + Al	cmol _c .dm ⁻³	1,50	0,60	0,50	0,00	0,00
Cu	mg.dm ⁻³	0,12	0,29	0,10	0,20	0,21
Fe	mg.dm ⁻³	25,50	19,80	17,10	16,70	16,5
Mn	mg.dm ⁻³	5,10	5,20	4,10	5,20	3,50
Zn	mg.dm ⁻³	9,82	10,32	17,24	8,55	11,64
SB	cmol _c .dm ⁻³	2,11	2,80	2,61	3,40	2,82
CTC _t	cmol _c .dm ⁻³	2,11	2,80	2,61	3,40	2,82
CTC _r	cmol _c .dm ⁻³	3,61	3,40	3,11	3,40	2,82
V	%	58,40	82,40	83,90	100,00	100,00
m	%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Amostras de solo coletadas na profundidade de 0-20 cm, referentes aos cinco tratamentos com diferentes doses de calcário: Dose 0 - sem aplicação; Dose 2,5 - aplicação de 2,5 t ha⁻¹; Dose 5 - aplicação de 5 t ha⁻¹; Dose 7,5 - aplicação de 7,5 t ha⁻¹; Dose 10 - aplicação de 10 t ha⁻¹

4.2.1 pH (H₂O)

Após 6 meses da realização da calagem, os valores de pH (CaCl₂) variaram 5,30 e 5,50, correspondendo 5,90 e 6,10 medidos em H₂O, com pequena resposta ao aumento das doses (Tabela 3). Já após 18 meses, observa-se um aumento progressivo do pH (H₂O) com o incremento das doses de calcário, passando de 5,96 (dose 0 t ha⁻¹) para 7,25 (dose 10 t ha⁻¹) (Tabela 4), sendo um excelente indicador do impacto da calagem na neutralização da acidez do solo. É importante destacar que os valores de pH obtidos em água tendem a ser superiores aos determinados em solução de CaCl₂, geralmente com diferença em torno de 0,6 unidade. Em solos com acidez elevada, essa variação pode atingir até 1 unidade, enquanto em condições próximas da neutralidade, os resultados tendem a se igualar (Tomé Jr, 1997).

A faixa de pH considerada ideal para o desenvolvimento da maioria das plantas de interesse agrônômico situa-se entre 4,8 e 5,4 (CaCl₂) e 5,4 a 6,0 (H₂O) intervalo no qual se observa maior disponibilidade de cálcio (Ca), magnésio (Mg) e potássio (K). A calagem, ao promover a elevação do pH, contribui para a neutralização do alumínio tóxico e favorece a disponibilidade de determinados nutrientes. Contudo, valores de pH superiores a 7, como os

observados nas duas maiores doses de calcário (Tabela 4), podem reduzir a solubilidade e, consequentemente, a absorção de elementos como fósforo (P), zinco (Zn), cobre (Cu), manganês (Mn) e ferro (Fe). De acordo com Rodighero *et al.* (2015) níveis elevados de pH no solo podem comprometer a disponibilidade de micronutrientes essenciais, os quais, em tais condições, podem demandar suplementação.

Esse comportamento evidencia que doses mais elevadas de calcário promovem uma elevação mais rápida do pH em comparação às menores aplicações. Porém, aplicação em excesso pode resultar em supercalagem, sendo fundamental a realização de análises periódicas do solo para acompanhar a evolução desses parâmetros e evitar desequilíbrios químicos.

Maraschin *et al.* (2020), ao avaliarem doses de 0 a 20 Mg ha⁻¹ de calcário dolomítico incubado no solo, identificaram correlação exponencial entre o pH e as quantidades aplicadas de CaCO₃. Os autores relataram elevação do pH do solo, acompanhada por redução nos teores de alumínio trocável, saturação por alumínio e concentração de íons H⁺, além de aumento nos níveis de cálcio e magnésio, na soma de bases e na saturação por bases. Foi constatada também redução dos teores de ferro no solo com o aumento das doses de calcário, comportamento que também foi evidenciado nas duas análises realizadas no presente experimento.

Lange *et al.* (2022) observaram comportamento linear no incremento do pH, assim como elevação dos teores de Ca, Mg e da saturação por bases em diferentes períodos de amostragem (90, 200 e 300 dias) sob doses crescentes de calcário. De modo complementar, Aguiar (2021) verificou elevação de 0,5 unidade no pH após 269 dias da aplicação superficial de 3,57 Mg ha⁻¹ de calcário. No presente estudo, entretanto, os efeitos se limitaram ao aumento do pH e da saturação por bases (V%).

No estudo conduzido por Sousa *et al.* (2013), a aplicação de calcário em um Argissolo, com doses de até 10 t ha⁻¹, resultou em uma resposta do pH do solo com comportamento quadrático, atingindo os valores máximos nas quantidades de 9,42 t ha⁻¹ (pH em água) e 8,60 t ha⁻¹ (pH em CaCl₂). Em contrapartida, os trabalhos de Anjos *et al.* (2011), Moreira e Fageria (2010) e Marcelo *et al.* (2012) reportaram incremento linear do pH em função do aumento das doses do corretivo, mesmo quando estas alcançaram 9,5; 10,3 e 3,6 t ha⁻¹, respectivamente. Apesar das aplicações elevadas, os valores de pH permaneceram dentro da faixa considerada adequada para a maioria das culturas (entre 5,5 e 6,5). No presente experimento, por sua vez, o pH ultrapassou esse intervalo, chegando a 7,25 na maior dose aplicada. Tal diferença pode ser atribuída à menor capacidade tampão do solo avaliado, uma vez que, enquanto nos estudos citados os valores de acidez potencial (H⁺+Al³⁺) se mantiveram acima de 1,5 cmolc dm⁻³, neste

trabalho, nas doses de 7,5 e 10 t ha⁻¹, essa variável foi completamente neutralizada, atingindo 0 cmolc dm⁻³ após um ano da calagem.

De acordo com Athanase *et al.* (2013), o pH do solo é um dos principais indicadores químicos da qualidade do solo, refletindo a acidez, que está relacionada às concentrações de íons hidrogênio (H⁺) e alumínio (Al³⁺). A elevação desses íons ácidos prejudica plantas sensíveis a solos ácidos, ocasionando redução na produtividade agrícola. A prática da calagem visa corrigir essa acidez, promovendo o aumento do pH e a neutralização do alumínio tóxico. Esse processo ocorre por meio da reação do alumínio e dos íons hidrogênio com os hidróxidos (OH⁻), que, em excesso, elevam o pH do solo, efeito mais evidente da aplicação do calcário.

4.2.2 Teores de cálcio e magnésio no solo

O cálcio (Ca²⁺) e o magnésio (Mg²⁺) são os principais nutrientes fornecidos pela calagem, sendo suas disponibilidades diretamente influenciadas pelas concentrações desses elementos no corretivo utilizado. Conforme aumentou as doses de calcário aplicadas, observou-se elevação nos teores trocáveis de Ca²⁺ e Mg²⁺. Nos primeiros 6 meses (Tabela 3), os teores de cálcio variaram de 1,70 para 2,00 cmolc/dm³, enquanto após 18 meses da aplicação (Tabela 4), os valores foram de 1,32 cmolc/dm³ (dose 0 t/ha) para 2,01 cmolc/dm³ (dose 7,5 t/ha). Para o magnésio, os teores subiram de 0,60 para 1,00 cmolc/dm³ no primeiro ano, alcançando 1,16 cmolc/dm³ na dose 7,5 t/ha. Observou-se incremento nos teores em função das doses crescentes de calcário, embora as variações entre os anos avaliados tenham sido pouco expressivas.

Esse incremento era esperado, uma vez que o calcário dolomítico constitui uma fonte significativa desses nutrientes. Entretanto, na dose mais elevada (10 t/ha), observou-se uma leve redução nos teores de Ca²⁺ e Mg²⁺, o que pode indicar um possível efeito de saturação dos complexos de troca ou mesmo a ocorrência de perdas por lixiviação. Segundo Rios *et al.* (2008), a principal forma de remoção desses elementos no solo ocorre por meio da lixiviação provocada pela água de percolação, que promove a substituição das bases por íons hidrogênio e alumínio, intensificando a acidificação. Esse processo tende a ser ainda mais pronunciado em Neossolos Quartzarênicos, em razão de sua textura arenosa e consequente baixa capacidade de retenção de cátions.

De acordo com a Tabela 4, o tratamento que recebeu 7,5 t ha⁻¹ de calcário apresentou os maiores valores dos elementos Ca²⁺ e Mg²⁺; contudo, não foi observada diferença significativa na produtividade (Figura 13), mesmo com o aumento nos teores desses nutrientes. Esse comportamento pode ser explicado pelo fato de que, conforme relatado por Pauletti *et al.* (2014)

e Sousa e Lobato (2004), no primeiro ano após a aplicação, cerca de 50% do calcário incorporado reage no solo, enquanto o restante permanece como efeito residual, com atuação esperada nos anos subsequentes. Assim, é possível que os efeitos positivos da calagem sobre a produtividade da soja sejam mais evidentes em cultivos posteriores.

Com o incremento das doses de calcário, observou-se elevação nos teores de magnésio no solo. Esse resultado está associado ao fato de que a calagem fornece simultaneamente os nutrientes cálcio e magnésio, os quais compõem a estrutura do calcário dolomítico (Benites *et al.*, 2010). Assim, é esperado que o aumento das doses promova maiores disponibilidades desses elementos no solo. Em solos do Cerrado, os teores de Ca^{2+} considerados adequados para a maioria das culturas situam-se entre 2,41 e 4,00 cmolc dm^{-3} , conforme indicado por Ribeiro *et al.* (1999). No presente estudo, mesmo com a aplicação de 10 t ha^{-1} , os teores de cálcio não atingiram esse patamar mínimo. Diversos estudos, como os de Marcelo *et al.* (2012), com aplicação de até 3,6 t ha^{-1} ; Freiria *et al.* (2008), com 4 t ha^{-1} ; Araújo *et al.* (2009), com 6,9 t ha^{-1} ; Alleoni *et al.* (2005), com 7,8 t ha^{-1} ; Anjos *et al.* (2011), com 9,5 t ha^{-1} ; e Moreira e Fageria (2010), com até 10,3 t ha^{-1} de calcário, observaram aumentos nos teores de Ca^{2+} em função da calagem. Esses resultados corroboram com os encontrados neste trabalho, evidenciando o efeito positivo da aplicação de altas doses de calcário no aumento da disponibilidade de cálcio no solo.

Segundo Alcarde (1992), a reação do calcário no solo pode iniciar em até três meses após a aplicação. Contudo, sua efetividade é altamente influenciada por fatores como a umidade do solo, a composição química do corretivo (teores de Ca e Mg), o poder relativo de neutralização total (PRNT), a granulometria e a mineralogia do material (Alcarde, 1992; Zancanaro, 1996). Em função dessas variáveis, Araújo *et al.* (2009) constataram que mesmo após três anos da aplicação ainda é possível detectar calcário não reagido no solo, variando conforme o tipo de corretivo utilizado. De maneira geral, a reatividade do calcário é estimada em 50% no primeiro ano, 30% no segundo e 20% no terceiro, conforme Sousa e Lobato (2004).

4.2.3 Teor de fósforo no solo

A concentração de fósforo disponível no solo (P-Mehlich) variou de 1,90 a 3,70 mg/dm^3 na análise feita 6 meses após a calagem (Tabela 3). Após 18 meses, observou-se uma oscilação nos teores, que passaram a variar de 0,90 a 2,20 mg/dm^3 (Tabela 4). Esse declínio pode ser atribuído à ausência de reposição do nutriente ao longo do experimento, uma vez que não foi realizada adubação fosfatada, o que resulta na diminuição dos teores disponíveis no solo devido

à absorção pelas plantas e à fixação em formas menos disponíveis. A soja absorve de 10 a 12 kg de P_2O_5 por tonelada de grãos produzida. Portanto, para manter os níveis de fósforo no solo, a adubação de manutenção (ou de reposição) é necessária. No presente experimento, essa adubação não foi aplicada, evidenciando a importância da reposição do nutriente.

Carneiro *et al.* (2018), os quais verificaram elevação nos teores de fósforo disponível no solo quando aplicadas doses de calcário superiores às usualmente recomendadas. Isso reforça a hipótese de que a calagem pode favorecer a disponibilidade de fósforo no solo, conforme também apontado por Dias *et al.* (2015). Contudo, nos tratamentos com doses mais elevadas, como 7,5 e 10 t ha⁻¹, observou-se uma tendência de redução nos teores desse nutriente (Tabela 4). Esse comportamento é coerente com os achados de Rodighero *et al.* (2015), que associaram o excesso de calcário à diminuição da absorção de fósforo pelas plantas. Tal efeito pode ser atribuído à formação de compostos pouco solúveis, como os fosfatos de cálcio, processo esse descrito por Furtini *et al.* (2004), principalmente em solos do Cerrado. Esses autores também destacaram que o uso excessivo de calcário pode comprometer a disponibilidade de micronutrientes. Assim, conclui-se que o fósforo apresenta uma resposta variável às diferentes doses de calagem, podendo ser beneficiado ou limitado conforme a quantidade aplicada.

4.2.4 Acidez potencial ($H^+ + Al^{3+}$) e saturação por bases (V%)

Nos primeiros 6 meses da reação, os valores de $H^+ + Al^{3+}$ se mantiveram elevados (1,80 a 2,20 cmolc/dm³), e a saturação por bases (V%) variou de 52 a 63% conforme mostra a Tabela 3. Após 18 meses de reação, a acidez potencial ($H^+ + Al$) reduziu-se de 1,50 para 0,00 cmolc/dm³ nas doses mais elevadas, mostrando a eficiência da calagem na redução da acidez do solo. O índice de saturação por bases (V%) também aumentou consideravelmente, saindo de 58,4% na testemunha para 100% nas doses de 7,5 e 10 t/ha, refletindo a neutralização do alumínio trocável (Al^{3+}), que foi zerado em todas as doses (Tabela 4).

Esses resultados estão em consonância com os achados de Anjos *et al.* (2011), que observaram uma redução da acidez potencial do solo em resposta às doses crescentes de calcário, seguindo comportamento quadrático, com tendência à completa neutralização em doses mais elevadas, chegando a 9,5 t ha⁻¹. De forma semelhante, Marcelo *et al.* (2012) e Moreira e Fageria (2010) também constataram diminuição da acidez potencial em função da calagem, porém com respostas lineares, utilizando doses máximas de 3,6 t ha⁻¹ e 10,3 t ha⁻¹, respectivamente.

Os valores máximos de saturação por bases (V%), atingindo 100%, foram observados nas doses de 7,5 e 10 t ha⁻¹ de calcário (Tabela 4). Segundo Ribeiro *et al.* (1999), a faixa considerada ideal para o V% está entre 60,1% e 80%. Os menores valores registrados no experimento ocorreram nas doses de aproximadamente 0 e 2,5 t ha⁻¹, ficando próximos ao limite inferior dessa faixa recomendada.

Zambiasi Júnior (2016) observou que, dois anos após a aplicação de calcário dolomítico, os efeitos da calagem foram evidentes na camada de 0-20 cm do solo, com aumento da saturação por bases em comparação aos períodos anteriores, resultado semelhante ao verificado no presente estudo. Esse efeito está associado à correção da acidez do solo, decorrente da redução do alumínio trocável e do fornecimento de cátions básicos, como cálcio (Ca) e magnésio (Mg), à solução do solo. O aumento da saturação por bases (V%) em função da supercalagem está diretamente relacionado à diminuição da acidez potencial ($H^+ + Al^{3+}$) e à elevação dos teores de cálcio (Ca^{2+}) no solo. Resultado semelhante foi reportado por Calonego *et al.* (2012), ao investigarem os efeitos da calagem e da silicatagem em um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico.

A manutenção de níveis adequados de saturação por bases (V%) é essencial para a maioria dos sistemas agrícolas, pois influencia diretamente a disponibilidade de nutrientes e o equilíbrio do pH do solo (Athanasie *et al.*, 2013). Valores reduzidos de V% indicam elevada acidez e presença de íons potencialmente tóxicos, como Al^{3+} e H^+ , os quais podem comprometer o desenvolvimento das plantas. Em contrapartida, quando a V% está acima de 50%, há maior oferta de cátions como Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ , além da estabilidade do pH, reduzindo os riscos de toxidez. Já valores inferiores a 25% caracterizam solos fortemente ácidos, com alta atividade de alumínio, capaz de provocar efeitos fitotóxicos (Athanasie *et al.*, 2013).

4.2.5 Capacidade de troca de cátions e soma de bases trocáveis no solo

Os valores da capacidade de troca catiônica a pH 7 (CTC_T) teve um leve aumento e a capacidade de troca catiônica efetiva (CTC_t) apresentou uma leve redução, conforme evidenciado nas tabelas 3 e 4, após um ano da incorporação do calcário. Na Tabela 3, referente ao período inicial, os valores de CTC_t variaram entre 2,40 e 3,10 cmolc/dm³, enquanto a CTC_T situou-se entre 4,69 e 4,99 cmolc/dm³, demonstrando tendência de aumento proporcional às doses aplicadas. Já após um ano (Tabela 4), os valores de CTC_T ficaram entre 3,61 e 2,82 cmolc/dm³, e os de CTC_t entre 2,11 e 3,40 cmolc/dm³, indicando uma leve redução em algumas doses em relação aos dados iniciais. Esse comportamento pode estar associado à diminuição da

acidez trocável ($H+Al$), uma vez que a neutralização do alumínio tóxico reduz a participação dos cátions ácidos na CTC efetiva, enquanto os cátions básicos (Ca^{2+} e Mg^{2+}) ainda se encontram em processo de equilíbrio e redistribuição no perfil do solo.

A capacidade de troca catiônica potencial (CTC_T) é determinada pela soma das bases trocáveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+) com a acidez potencial (H^++Al^{3+}), conforme descrito por Alleoni *et al.* (2005). Devido a essa composição, as variações na CTC_T em resposta à calagem tendem a ser discretas, pois, embora a aplicação de calcário reduza a acidez potencial, ocorre simultaneamente o aumento da concentração de cálcio, que passa a ocupar os mesmos sítios de troca no complexo coloidal. Resultados semelhantes foram observados por Moreira e Fageria (2010), que trabalharam com doses de calcário variando entre 0 e 10,3 t ha⁻¹, constatando alterações pouco expressivas na CTC_T , mesmo diante do aumento dos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} e da redução de H^++Al^{3+} , comportamento também verificado no presente estudo.

Embora raros, estudos sobre os efeitos da supercalagem em solos do Cerrado são necessários, especialmente devido ao uso crescente do plantio direto com manejo inadequado, como a aplicação superficial de calcário em altas doses. Nessas condições, a baixa CTC potencial desses solos aumenta o risco de supercalagem, comprometendo a disponibilidade de nutrientes, principalmente micronutrientes. Esse risco é agravado por recomendações que desconsideram a capacidade tampão do solo.

A Soma de Bases (SB), representando a soma dos cátions básicos trocáveis do solo (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+), apresentou resultados bem semelhantes 18 meses após a aplicação de doses crescentes de calcário dolomítico (Tabela 4), quando comparada aos valores observados após poucos meses da calagem (Tabela 3).

Na análise inicial (Tabela 3), os valores de SB variavam de 2,40 cmolc/dm³ (dose 0) a 3,10 cmolc/dm³ (dose 10). Já na avaliação realizada um ano após a calagem (Tabela 4), os valores de SB foram inferiores (variando de 2,11 a 3,40 cmolc/dm³), mas com uma composição diferente e reflexo claro do efeito corretivo do calcário. Considera-se ideal uma soma de bases (SB) entre 3,61 e 6,00 cmolc dm⁻³ para que os solos do Cerrado apresentem níveis adequados de fertilidade (Ribeiro *et al.*, 1999). Dessa forma, as doses aplicadas não foram suficientes para alcançar o valor mínimo recomendado de SB para a fertilidade do solo.

Apesar da aparente redução numérica da SB entre as duas avaliações (18 meses após a incorporação) deve-se considerar que, na Tabela 4, a presença de alumínio trocável (Al^{3+}) foi totalmente neutralizada, e a acidez potencial ($H+Al$) foi zerada nas doses acima de 7,5 t/ha, o que levou a uma elevação da saturação por bases (V%) para 100% nas doses de 7,5 e 10 t/ha, enquanto na análise anterior o V% era inferior, mesmo com SB mais alta. Isso demonstra que

a calagem tornou a SB mais funcional e eficiente, com prevalência de cátions benéficos na CTC, especialmente Ca^{2+} e Mg^{2+} .

Ademais, a composição da SB houve variação: na última análise (Tabela 4), a SB é composta quase exclusivamente por Ca^{2+} e Mg^{2+} , elementos diretamente fornecidos pelo calcário dolomítico, com valores que aumentaram de 1,32 para 2,01 cmolc/dm³ (Ca^{2+}) e de 0,56 para 0,92 cmolc/dm³ (Mg^{2+}), conforme a dose de calcário aplicada. Isso confirma o efeito residual positivo da calagem na melhoria da fertilidade do solo, com aumento da disponibilidade desses nutrientes essenciais.

4.2.6 Micronutrientes

Em relação aos micronutrientes, observou-se redução nos teores de cobre (Cu) 18 meses após a aplicação das doses de calcário (Tabela 4), especialmente nas doses mais baixas. Esse comportamento é frequentemente relatado na literatura e está associado ao aumento do pH do solo, o qual reduz a solubilidade do Cu, conforme demonstrado por Caires *et al.* (2006). No entanto, essa tendência de redução pode não se manifestar em todas as condições edafoclimáticas e sistemas de manejo, como apontado por Pegoraro *et al.* (2006) e Moreira *et al.* (2017).

No caso do ferro (Fe), verificou-se aumento nos teores a partir da dose de 2,5 t ha⁻¹, seguido de declínio nas doses mais elevadas (7,5 e 10 t ha⁻¹). A testemunha, por sua vez, apresentou os maiores valores desse micronutriente. Apesar do aumento inicial, é esperado que o incremento no pH reduza a disponibilidade de Fe^{2+} em função de sua oxidação e posterior formação de óxidos e hidróxidos, formas menos acessíveis às plantas (Shuman, 1986; Rhoton, 2000; Caires *et al.*, 2003). Tal comportamento foi confirmado neste estudo, especialmente nas maiores doses de calcário, evidenciando que o excesso de calagem pode comprometer a disponibilidade de ferro no solo.

As reduções observadas nos teores de Cu, Fe, Ca, Mg, SB, t, T e V ao longo do tempo podem ser atribuídas, em parte, à extração dos nutrientes pelas culturas implantadas, a qual superou a capacidade de reposição proporcionada pela reação do calcário. Ressalta-se que a calagem foi realizada apenas uma vez, antes do início do experimento, o que pode ter limitado sua eficiência residual no fornecimento contínuo de cátions básicos durante o ano agrícola.

No que se refere ao manganês (Mn) e ao zinco (Zn), os resultados indicaram que a aplicação de doses mais elevadas de calcário não promoveu variações significativas entre os tratamentos (Tabela 4), com exceção da dose de 5,0 t ha⁻¹, que apresentou o maior teor de Zn.

Essa pequena variação entre as doses corrobora os resultados de Christensen *et al.* (2022), Viana *et al.* (2023) e Oliveira *et al.* (2024), que também observaram comportamento estável dos micronutrientes frente à calagem.

Entretanto, ao se comparar os valores obtidos na primeira análise (Tabela 3) com aqueles registrados após um ano (Tabela 4), nota-se um expressivo aumento nos teores de Mn e Zn. O Mn elevou-se de 0,30-0,80 para 3,50-5,20 mg dm⁻³, enquanto o Zn passou de 0,40-0,50 para 8,55-17,24 mg dm⁻³. Esse aumento é atribuído à adubação com micronutrientes realizada antes do plantio, na qual foi aplicada uma formulação contendo micronutrientes com as seguintes concentrações: boro (B) 6%, manganês (Mn) 4%, zinco (Zn) 2% e cobre (Cu) 1,2%, na dose de 5 g m⁻² (equivalente a 50 kg ha⁻¹).

Embora a elevação do pH geralmente reduza a solubilidade de Zn e Mn no solo, trabalhos como os de Moreira *et al.* (2016) e Teixeira *et al.* (2003) demonstraram teores elevados desses elementos nas camadas superficiais sob sistema de plantio direto, mesmo com pH alto, semelhante ao observado neste estudo. Soratto e Crusciol (2008) destacam que não houve decréscimo significativo na absorção de manganês, quando se aplicou doses de calcário em excesso, porém Sousa *et al.* (2007), afirma que o aumento do pH do solo reduz a solubilidade do Mn, e que em altas concentrações resulta em problemas de toxidez às culturas.

No presente trabalho, essa dinâmica foi evidente, já que, com o aumento do pH para 7,25, observou-se uma redução nos teores de Mn, que passaram de 5,20 para 3,50 mg dm⁻³, após um ano da incorporação do calcário.

5 CONCLUSÕES

A aplicação de doses crescentes de calcário em Neossolo Quartzarênico, após 18 meses da calagem, não promoveu efeitos estatisticamente significativos sobre as variáveis agronômicas avaliadas, tais como altura de planta, número de vagens, número de nós, diâmetro do caule, inserção da primeira vagem e teor de clorofila. Entretanto, a dose de 5 t ha⁻¹ de calcário destacou-se por proporcionar o maior peso de mil grãos (146,84 g) e a maior produtividade (47,42 sacas ha⁻¹), evidenciando que, nas condições em que o experimento foi conduzido, doses inferiores e superiores a 5 t ha⁻¹ podem desfavorecer o desempenho da cultura.

Quanto aos atributos químicos do solo, constatou-se aumento dos teores de cálcio (Ca²⁺) e magnésio (Mg²⁺) com o incremento das doses de calcário, confirmando a eficiência do corretivo na elevação da disponibilidade desses nutrientes na camada de 0-20 cm do solo. O Ca²⁺ atingiu seu pico na dose de 7,5 t ha⁻¹, assim como o Mg²⁺, reforçando os benefícios de doses elevadas.

REFERÊNCIAS

- ABDI, Bezuayehu Tola. Estudos sobre os efeitos da calagem de solo ácido na melhoria das propriedades físico-químicas do solo e da produtividade das culturas: uma revisão. **Revista de Pesquisa em Agricultura e Ciência dos Alimentos do Oriente Médio**, v. 4, n. 03, p. 95-103, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.36348/merjafs.2024.v04i03.001>. Acesso: 04 jun. 2025.
- AGUIAR, B. L. **Calagem superficial até 12 t ha⁻¹ em plantio direto: produtividade da soja e efeitos no solo**. 2021. 65 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Mato Grosso, Sinop, MT, 2021.
- ALBRECHT, W. **Soil fertility and animal health**. 2. ed. Austin, Texas: ACRES U.S.A., 2005.
- ALBUQUERQUE FILHO, M. R. *et al.* Caracterização pedológica da área do Projeto Trijunção no Oeste da Bahia, Região do Matopiba. Sete Lagoas: **Embrapa Milho e Sorgo**, 2020. 63 p.
- ALCARDE, J. C. **Corretivos da acidez dos solos: características e interpretações técnicas**. 2.ed. São Paulo: ANDA, 1992. 26p.
- ALLEONI, L. R. F.; CAMBRI, M. A.; CAIRES, E. F. Atributos químicos de um latossolo de cerrado sob plantio direto, de acordo com doses e formas de aplicação de calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 6, p. 923-934, 2005. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832005000600010>. Acesso em: 19 jul. 2025.
- ALMEIDA, A. L. G. **Resposta de cultivares de Feijão-Caupi a calagem**. 2013. Tese (Doutorado), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Unesp, Jaboticabal, 2013.
- ALVARES, C. A. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ALVAREZ, V. H.; RIBEIRO, A. C. 1999. Calagem. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. Viçosa: SBCS, 1999. p. 43-61.
- AMARAL, A. S. *et al.* Movimentação de partículas de calcário no perfil de um Cambissolo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 2, p. 359-367. 2004. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/PdmfdStVkWzQ7zRngHncCzw/?lang=pt>. Acesso em: 25 mai. 2025.
- ANJOS, J. L.; SOBRAL, L. F.; LIMA JÚNIOR, M. A. Efeito da calagem em atributos químicos do solo e na produção da laranjeira. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.11, p.1138-1142, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662011001100005>. Acesso em: 11 jun. 2025.
- ARAÚJO, S. R.; DEMATTÊ, J. A. M.; GARBUJO, F. J. Aplicação de calcário com diferentes graus de reatividade: alterações químicas no solo cultivado com milho. **Revista Brasileira de**

Ciência do Solo, v. 33, n. 6, p. 1755-1764, 2009. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832009000600024>. Acesso em: 19 jul. 2025.

ARAÚJO, Wellington Farias; SAMPAIO, Regynaldo Arruda; DE MEDEIROS, Roberto Dantas. Resposta de cultivares de soja à adubação fosfatada. **Revista Ciência Agronômica**, v. 36, n. 2, p. 129-134, 2005.

ATHANASE, N. *et al.* **Soil acidification and lime quality**: sources of soil acidity, its effects on plant nutrients, efficiency of lime and liming requirements. 2013.

BAMBOLIM, A. *et al.* 2015. Calcário líquido e calcário convencional na correção da acidez do solo. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 2, n. 3, p. 34-38.

BARBOZA, A. B. O. **Posição das sementes de cultivares de soja no teste de crescimento de plântulas**. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia – MG, p. 22. 2021.

BEAR, F.E.; TOTH, S. T. **Influence of calcium on availability of other soil cations** *Soil Science*, Baltimore, v.65, n. 1, p.69-74, 1948.

BENITES, V. D. M. *et al.* Potássio, cálcio e magnésio. In: (Org.) **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes: Nutrientes**. 1. ed. Piracicaba: IPNI Brasil, 2010, v. 2. p. 133-204.

BIENCE AGRISCIENCE. Lander Mix. Goiânia: **Bience**, [2025]. Disponível em: <https://www.bience.com.br/tecnologias/lander-mix>. Acesso em: 27 jun. 2025.

BILLARD, V. *et al.* Mg deficiency affects leaf Mg remobilization and the proteome in *Brassica napus*. **Plant Physiology and Biochemistry**, Los Angeles, v. 107, p. 337-343, 2016.

BISSANI, C. A. *et al.* **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas**. 2ª Ed. Porto Alegre, Metrópole, 2008, 344p. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/567844036/Livro-Fertilidade-Do-Solo-Bissani-Et-Al>. Acesso em: 22 mar. 2025.

BONETTI, L. P. Distribuição da soja no mundo: origem, história e distribuição. In: MIYASAKA, S.; MEDINA, J.C. (Ed.). **A soja no Brasil**. Campinas: ITAL, p. 1-6, 1981.

BORTOLUZZI, E. C. *et al.* Efeito da calagem na relação entre solo e água. **Revista Brasileira De Ciência Do Solo**, v. 32(spe), p. 2621–2628. 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000700003>. Acesso em: 02 mai. 2025.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 35, de 4 de julho de 2006. Aprova as normas sobre especificações e garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos corretivos de acidez, de alcalinidade e de sodicidade e dos condicionadores de solo, destinados à agricultura. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-35-de-4-7-2006-corretivos.pdf/view>. Acesso em: 07 jun. 2025.

- CAIRES, E. F. *et al.* Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de ciência do Solo**, v. 27, p. 275-286, 2003.
- CAIRES, E. F. *et al.* Calagem na superfície em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 24:161-169, 2000.
- CAIRES, Eduardo Fávero *et al.* Calagem superficial e cobertura de aveia preta antecedendo os cultivos de milho e soja em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 30, n. 1, p. 87-98, 2006.
- CAKMAK, I.; YAZICI, A. Magnesium: a forgotten element in crop production. **Better Crop**, v. 94, n. 2, p. 23-25, 2010.
- CALONEGO, Juliano Carlos *et al.* Calagem e silicatagem em solo incubado com diferentes umidades. In: **Colloquium Agrariae. ISSN: 1809-8215**, v.8, n.2, p.46-56, 2012.
- CAMARGO, S. L. **Acidez do solo e calagem (Reação do Solo)**. Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária. Cuiabá - MT, p. 26. 2005.
- CARNEIRO, J. S. S. *et al.* Supercalagem: alterações em atributos químicos de um Latossolo Vermelho amarelo distrófico. **Revista de Ciências Agroambientais**, v. 16, n. 1, p. 31-38, 2018.
- CARVALHO, A. M. X. *et al.* **Speed Stat**: a free, intuitive, and minimalist spreadsheet program for statistical analyses of experiments. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 20, n. 3, 2020.
- CARVALHO, N. S. *et al.* Revisão: A importância da soja para o agronegócio brasileiro. **Fitotecnia, sistemas agrícolas ambientais e solo**. Ponta Grossa: Atena, v. 6, p. 52-60, 2023.
- Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada – ESALQ USP (CEPEA). PIB do agronegócio brasileiro. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx>. Acesso em: 01 abril 2025.
- CEYLAN, Y. *et al.* Magnesium applications to growth medium and foliage affect the starch distribution, increase the grain size and improve the seed germination in wheat. **Plant and Soil**, Amsterdam, v. 406, n. 1-2, p. 145-156, 2016.
- CHRISTENSEN, Julie Therese *et al.* Efeitos de aplicações contrastantes de calcário e fósforo a longo prazo na produtividade de grãos de cevada, no crescimento radicular e na abundância de micorrizas. **Soil Use and Management**, v. 38, n. 1, p. 991-1003, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/SUM.12750>. Acesso em: 20 jul. 2025.
- CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento). Acompanhamento safra brasileira de grãos. Brasília, DF, v.12 – safra 2024/25, n.7 - **Sétimo levantamento**, p. 1-128, abril 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras/safra-de-graos/boletim-da-safra-de-graos/7o-levantamento-safra-2024-25/boletim-da-safra-de-graos> . Acesso em: 05 abr. 2025.

CORREIA, Marcus André Ribeiro. **Efeitos da calagem na fertilidade do solo, nutrição, crescimento e produção da mangueira**. 2009.

CQFS-RS/SC, Comissão de Química e Fertilidade do Solo. **Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 11a ed. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo Regional Sul, 2016.

DA SILVA, Ricardo Feitosa *et al.* Limed using the base balance return method: soybean production and economic indicators in cerrado maranhense: Calagem pelo método de restituição do equilíbrio de bases: produção da soja e indicadores econômicos no cerrado maranhense. **Concilium**, v. 24, 2024.

DELAVALLE, F. G.; LAZARINI, E.; BUZETTI, S. Efeitos de cobertura e manejo do calcário na implantação do sistema plantio direto em solo característico de cerrado. **Fertibio, Santa Maria**, 2000.

DE RESENDE, A. V. **Adubação com micronutrientes no cerrado**. 2003.

DEVLIN, R. **Plant physiology**. New York: John Willey & Sons, 1975. 600p.

DIAS, Luciana Patrícia Rosa *et al.* Eficiência relativa de fosfatos naturais na adubação de plantio de mudas de *Eucalyptus dunnii* Maiden e *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage em solo sem e com calagem. **Ciência Florestal**, v. 25, p. 37-48, 2015.

DO CARMO, E. L. *et al.* Adensamento de plantas e épocas de cultivo de soja no cerrado. In: **Colloquium Agrariae**. [S.l.], p. 01-12, 2018.

DOMINGOS, C. da Silva; LIMA, L. H. da S.; BRACCINI, A. L. Nutrição mineral e ferramentas para o manejo da adubação na cultura da soja. **Scientia Agrária Paranaensis**, Marechal Cândido Rondon, v. 14, n. 3, p. 132-140, 2015.

DONAGEMMA, G. K. *et al.* Caracterização, potencial agrícola e perspectivas de manejo de solos leves no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1003-1020, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000900001>. Acesso em: 25 mar. 2025.

DOS SANTOS, F. C. *et al.* **Calagem em solo arenoso do Oeste da Bahia**. 2024.

EMBRAPA. **Elevadas doses de calcário no solo aumentam produtividade da soja no Matopiba**. Embrapa Meio-Norte, 2024. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/95311323/elevadas-doses-de-calcario-no-solo-aumentam-produtividade-da-soja-no-matopiba>. Acesso em: 08 mai. 2025.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas**. 2. ed. 2004.

ERNANI P. R.; STECKLING, C.; BAYER, C. Características químicas de solo e rendimento de massa seca de milho em função do método de aplicação de fosfatos, em dois níveis de acidez. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 4 p. 939-946, 2001.

FARIA, L. A. *et al.* Características agronômicas de soja cultivadas na região central do Tocantins em diferentes épocas de semeadura. **Journal Of Bioenrgy And Food Science**, Macapa, v. 3, n. 5, p. 85-96, out. 2018.

FARIAS, J. R. B.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A. L. Soja. In: MONTEIRO, J. E. B. A. (Org.). **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. Brasília, DF: INMET. p. 263-277, 2009.

FILHO, Boanergis Alves Ferreira. **Efeito de diferentes doses de calcário sob o cultivo da soja**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Agrônômica) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Campus Colinas do Tocantins, 39 p. 2024.

IORESE, Kaio Felipe. **Avaliação das características agronômicas e produtividade de cultivares de soja em diferentes sistemas de semeadura**. Trabalho de conclusão de curso (TCC) em Agronomia. Universidade de Brasília, 2013.

FIORINI, Fabrício Vilela Andrade *et al.* Doses crescentes de calcário associadas à adubação nitrogenada na cultura do milho. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 7, p. e23111729881-e23111729881, 2022.

FRANCHINI, J. C. *et al.* Potencial de extratos de resíduos vegetais na mobilização do calcário no solo por método biológico. **Scientia Agricola**, v.58, n.2, p.357-360, 2001.

FREIRIA, A. C. *et al.* Alterações em atributos químicos do solo pela aplicação de calcário na superfície ou incorporado na superfície ou incorporado. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.30, n.2, p.285-291, 2008. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v30i2.1738>. Acesso em: 14 jun. 2025.

FREITAS, S. T. de; MITCHAM, E. Factors involved in fruit calcium deficiency disorders. **Horticultural Reviews**, New York, v. 40, n. 1, p. 107-146, 2012.

FURTINI NETO, A. E.; TOKURA, A. M.; RESENDE, V. R. Interpretação de análise de solo e manejo da adubação. **Lavras: Ed. UFLA**, 2004.

GABRIEL, C. A. **Desenvolvimento do eucalipto e atributos químicos do solo alterados por doses e formas de aplicação de fontes de cálcio**. 2022. 99 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Lages, 2022. Disponível em: https://www.udesc.br/arquivos/cav/id_cpmenu/3032/Tese_de_Doutorado___Camila_Adaime_Gabriel_16739855875039_3032.pdf. Acesso em: 05 jun. 2025.

GALBARDI, G. L. S.; SIMONETTI, A. P. M. M. Adubação nitrogenada via foliar realizada em diferentes épocas na cultura da soja. **Revista Cultivando Saber**, v.12. n.4, 2019.

GAZZONI, D. L. A soja no Brasil é movida por inovações tecnológicas. **Ciência e cultura**, p. 70, n.3, p. 16-18, jul. 2018.

GILLIHAM, M. *et al.* Calcium delivery and storage in plant leaves: Exploring the link with water flow. **Journal Experimental Botany**, Oxford, v. 62, n. 7, p. 2233-2250, 2011.

GOMES, Auriane Risia Marques Garcia. **Efeito de curto prazo do calcário incorporado ou aplicado em superfície associado a superfosfato simples**. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias). Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, Rio Verde, 2023. 46 p. Disponível em: https://repositorio.ifgoiano.edu.br/bitstream/prefix/3768/1/AurianeR_Dissertacao.pdf. Acesso em: 01 abr. 2025.

GONÇALVES, J. L. M. *et al.* Soil and stand management for shortrotation plantations. In: NAMBIAR, S.; BROWN, A., (ed.). **Management of soil, nutrients and water in tropical plantation forests**. Camberra: ACIAR, CSIRO, CIFOR, 1997. p.379-418.

GOOGLE EARTH. Localização do IFTO *Campus* Colinas. Imagem de satélite. Colinas do Tocantins, 2025. Disponível em: <https://earth.google.com/web/search/colinas+do+tocantins,+to/@-8.08798955,-48.47337871,219.86712392a,1624.90899158d,35y,-0h,0t,0r/data=ciwijgokcxvnpxpyrlcdaeqw1bgqtmcdagr40gfwdpejaivhjcgupkjaqgiatodcgewqgiiaeoncpweqaa>. Acesso em: 05 jun. 2025.

GOUT, E. *et al.* Interplay of Mg^{2+} , ADP, and ATP in the cytosol and mitochondria: unravelling the role of Mg^{2+} in cell respiration. **Proceedings of the National Academy of Sciences USA**, Washington, DC v. 111, n. 43, p. 4560-4567, 2014.

GRANT, C. A. *et al.* A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. **Informações agrônômicas**, v. 95, n. 5, p. 1-5, 2001.

GUARÇONI, A. M. Características da fertilidade do solo influenciadas pelo plantio adensado de café conilon. *Semina: Ciências Agrárias*, [S. l.], v. 32, n. 3, p. 949–958, 2011.

HINSINGER, P. Biology availability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by rootinduced chemical changes: A review. **Plant and Soil**, v. 237, n. 2, p. 173-195, 2001.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Estado do Tocantins: **Pedologia, Mapa Exploratório de Solos**. bCIMd, 1ª Edição. 2007a.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/to/colinas-do-tocantins.html>. Acesso em: 05 jun. 2025.

IBGE. Banco de dados agregados (SIDRA), 2006. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/>. Acesso em: 05 jun. 2025.

INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>. Acesso em: 14 mai. 2025.

KERKHOFF, M. *et al.* **Corretivos da acidez do solo aplicados em superfície no sistema soja-milho**. 2024. 43 p. Dissertação (Mestrado) - Instituto Federal Goiano, Rio Verde, GO, 2024. Disponível em: https://sistemas.ifgoiano.edu.br/sgcursos/uploads/anexos_13/2024-09-20-09-28-24Disserta%C3%A7%C3%A3o_Marcelo%20Kerkhoff.pdf. Acesso em: 14 mar. 2025.

KLAHOLD, Celestina Alflen. **Resposta da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) à ação de bioestimulante**. 2005. 57 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2005. Disponível em: <https://tede.unioeste.br/handle/tede/1349>. Acesso em: 01 abr. 2025.

KLEIN, Claudia *et al.* Desempenho agrônômico da cultura da soja em diferentes arranjos espaciais. **ScientiaTec**, v. 5, n. 2, 2018.

KOCHIAN, Leon V. *et al.* Adaptação de plantas a solos ácidos: a base molecular da resistência das culturas ao alumínio. **Annual review of plant biology**, v. 66, p. 571-598, 2015.

LANGE, Anderson *et al.* Incubação de calcário finamente moído e características químicas do solo sob cultivo de soja e milho. **Nativa Sinop**, v. 10, n. 4, p. 585-594, 2022.

LEPSCH, I. F. **19 lições de pedologia**. São Paulo: Oficina de textos, 2011.

LI, G. D. *et al.* Long-term surface application of lime ameliorates subsurface soil acidity in the mixed farming zone of south-eastern Australia. **Geoderma**, v. 338, p. 236–246, 2019.

LIMA, E.R. **Molibdênio e cálcio via semente no desenvolvimento, nodulação e produção de grãos de soja**. (Dissertação de mestrado). Jaboticabal, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, 2006.

MA, W.; BERKOWITZ, G. A. The grateful dead: calcium and cell death in plant innate immunity. **Cellular Microbiology**, v. 9, n. 11, p. 2571-2585, 2007.

MACHADO, W.; D MELO, T. R.; TAVARES FILHO, J. Dispersão e perda de argila em Latossolo tratado com diferentes concentrações de calcário. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 6, pág. 3907-3913, 2017.

MACIEL, Isabella Caroline. **Doses de magnésio via solo com ou sem adubação foliar complementar com magnésio na cultura da soja**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Agrônômica) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira, 2024.

MAGALHÃES, A. F. J.; GOMES, J.C. Calagem e adubação. In: RITZINGER, R. *et al.* Incubação do calcário e as características químicas de solos com texturas diferentes. **Nativa**, v. 8, n. 1, p. 43-51, 2020.

MALAVOLTA, E. **ABC da Adubação**. 4. ed. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1979. 256 p.

MALAVOLTA, E. **Elementos de Nutrição Mineral de Plantas**. São Paulo: Editora agronômica Ceres Ltda. 1980. 251 p.

MALAVOLTA, E. **Nutrição de plantas**. In: FERRI, M.G. (org.) Fisiologia vegetal. São Paulo: EDUSP, 1985. Vol.1, 400p.

MARASCHIN, L.; SCARAMUZZA, J. F.; VIEIRA, C. R. Incubação do calcário e as características químicas de solos com texturas diferentes. **Revista Nativa**, Dourados, v. 8, n. 1, p. 43-51, Sinop. 2020. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/view/6908/6666>. Acesso em: 30 jun. 2025.

MARCELO, A. V.; CORÁ, J. E.; SCALA JUNIOR, N. L. Influence of liming on residual soil respiration and chemical properties in a tropical no-tillage system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, n.1, p.45-50, 2012.

MARQUES, Kleycianne Ribeiro et al. Bioativador de solo e planta e adubação fosfatada nas características de rendimento da cultura da soja. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 11, p. e541111134159-e541111134159, 2022. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/34159/28690>. Acesso em: 29 mar. 2025.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2.ed. San Diego: Academic, 1995. 889p.

MCLEAN, E. O. **Interpretação de análise de solo: diferentes conceitos na interpretação da análise de solo**: nível de suficiência (limiar) de nutrientes disponíveis versus proporção de cátions na saturação de bases. Campinas: Fundação Cargill, 1984.

MENG, C. *et al.* Global soil acidification impacts on belowground processes. **Environmental Research Letters**, v.14, n.7, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab239c>. Acesso em: 22 fev. 2025.

MENGUTAY, M. *et al.* Adequate magnesium nutrition mitigates adverse effects of heat stress on maize and wheat. **Plant and Soil**. Amsterdam v. 368, n. 1-2, p. 57-72, 2013.

MIRANDA, L.N. *et al.* Utilização de calcário em plantio direto e convencional de soja e milho em Latossolo Vermelho. Ver. **Pesq. Agropec. Bras.**, v.40, n.6, p.563-572, jun. 2005.

MISSÃO, M. R. Soja: origem, classificação, utilização e uma visão abrangente do mercado. Maringá Management: **Revista de Ciências Empresariais**, v. 3, n. 1. 2006.

MORAES, F. A. **Doses de calcário na construção da fertilidade do solo e produtividade de culturas anuais**. 2019. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2019.

MOREIRA, A.; FAGERIA, N. K. Liming influence on soil chemical properties, nutritional status and yield of alfalfa grown in acid soil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, n.4, p.1231-1239, 2010. Disponível em <http://dx.doi.org/10.1590/S010006832010000400022>. Acesso em: 09 jul. 2025.

MOREIRA, Denise da Silva. **Deposição de serapilheira e estoque de nutrientes em sistema integração lavoura-pecuária-floresta**. Trabalho de Conclusão de Curso -Graduação (Agronomia) - Universidade Estadual de Goiás, Ipameri, 31 f, 2023.

MOREIRA, Silvino Guimarães *et al.* Efeito da calagem na disponibilidade de micronutrientes para a soja cultivada em solo sob diferentes períodos de plantio direto. **Acta Scientiarum**. Maringá, v. 39, n. 1, p. 89-97, 2017.

MOREIRA, Silvino Guimarães *et al.* Formas químicas no solo e disponibilidade de manganês e zinco para a soja em diferentes sistemas de preparo do solo. **Soil and Tillage Research**, v. 163, p. 41-53, 2016.

MUNDSTOCK, C. M.; THOMAS, A. L. Soja: Fatores que afetam o crescimento e o rendimento de grãos. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, **Evangraf**, Porto Alegre - RS, p.31, 2005.

MURARA, H. G. *et al.* Efeitos da calagem na produção de soja em um cambissolo húmico no planalto serrano de SC: Produtividade da soja na safra 2018/2019. **Anais da Mostra Nacional de Iniciação Científica e Tecnológica Interdisciplinar (MICTI)-e-ISSN 2316-7165**, v. 1, n. 12, 2019.

NATALE, W. *et al.* É. Acidez do solo e calagem em pomares de frutíferas tropicais. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 34, n. 4º City Farm – 2024 – ISSN 2965-56684, p. 1294-1306, 2012.

NATALE, W. *et al.* Efeitos da calagem na fertilidade do solo e na nutrição e produtividade da goiabeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 6, p. 1475-1485, 2007.

NAVARRO, JR. H. M.; COSTA, J. A. Contribuição relativa dos componentes do rendimento para produção de grãos em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, p.269-274, 2002.

NETO, P.H.W.; CAIRES, E. F.; JUSTINO, A.; DIAS, J. Correção da acidez do solo em função de modos de incorporação de calcário. **Ciência Rural**, v. 30, n. 2, p. 257-261, 2000.

NOLLA, A; ANGHINONI, I. Critérios de calagem para a soja no sistema plantio direto consolidado. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 30, p. 475-483, 2006.

NOLLA, Antonio *et al.* Correção da acidez e disponibilização de fósforo e potássio em latossolo vermelho distrófico típico submetido à calagem incorporada e superficial. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 3, n. 3, p. 2478-2487, 2020.

NOLLA, Antonio; SCHLINDWEIN, Jairo André; ANGHINONI, Ibanor. Crescimento, morfologia radicular e liberação de compostos orgânicos por plântulas de soja em função da atividade de alumínio na solução do solo de campo natural. **Ciência Rural**, v. 37, p. 97-101, 2007.

OLIVEIRA, Doze Batista de *et al.* Efeitos de Doses de Calcário e Gesso em Novas Áreas de Soja no Cerrado do Matopiba, Brasil. **Agricultura**, v. 14, n. 7, p. 1034, 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2077-0472/14/7/1034>. Acesso em: 15 jul. 2025.

OLIVEIRA, I. P. D. *et al.* Considerações sobre a acidez dos solos de Cerrado. **Revista Eletrônica Faculdade Montes Belos**, v. 1, p. 12, 2005. ISSN 1808-8597. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/213856>. Acesso em: 07 mai. 2025.

PAULETTI, V. *et al.* Efeitos em longo prazo da aplicação de gesso e calcário no sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 2, p. 495–505, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000200014>. Acesso em: 18 jul. 2025.

PEGORARO, Rodinei Facco *et al.* Fluxo difusivo e biodisponibilidade de zinco, cobre, ferro e manganês no solo: influência da calagem, textura do solo e resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 859-868, 2006.

PEREIRA, N. M. Z.; ERNANI, P. R.; SANGOI, L. Disponibilidade de zinco para o milho afetada pela adição de Zn e pelo pH do solo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 6, n. 03, 2007.

PIMENTA, L. M. M., *et al.* Fertilidade do solo em pastagens cultivadas sob diferentes manejos, no noroeste do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n. 11. 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662010001100002>. Acesso em: 14 mai. 2025.

PRIMAVESI, A. C.; PRIMAVESI, O. **Características de corretivos agrícolas**. Embrapa Pecuária Sudeste, 2004.

QUAGGIO, J. A.; RAIJ, B. V. Manejo da acidez do solo. In: CANTARELLA, H. *et al.* (Eds.). **Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), 2022. p 61-112.

QUAGGIO, J.A. **Acidez e calagem em solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 2000.

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

RAIJ, B. Van. *et al.* Leguminosas e oleaginosas. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**, v. 2, p. 187-203, 1997.

REZENDE, Heitor Araújo *et al.* Avaliação de clorofila na soja submetida à corretivos de solo alternativos ao calcário. In: **Anais Colóquio Estadual de Pesquisa Multidisciplinar (ISSN-2527-2500) & Congresso Nacional de Pesquisa Multidisciplinar**, 2024.

RHEINHEIMER, D.S. *et al.* Alterações de atributos do solo pela calagem superficial e incorporada a partir de pastagem natural. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. p.24:797-805, 2000. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v24n4/12.pdf>. Acesso em: 14 jun. 2025.

RHOTON, F. E. Influence of time on soil response to no-till practices. **Soil Science Society of America Journal**, v. 64, p. 700-709, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.2136/sssaj2000.642700x>. Acesso em: 22 jul. 2025.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. V. H. **Recomendação para o uso de fertilizantes em Minas Gerais - 5ª aproximação**. Minas Gerais: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais – CFSEMG, 1999. 360p.

RICHART, Alfredo *et al.* Análise espaço-temporal de atributos químicos do solo influenciados pela aplicação de calcário de cloreto de potássio em taxa variável. **Scientia Agraria Paranaensis**, p. 391-400, 2016.

RIOS, Luciana Conceição *et al.* Lixiviação de cálcio, magnésio e potássio em colunas de um Latossolo Amarelo Distrófico textura média, de Luis Eduardo Magalhães-Ba, em resposta as doses de óxido de magnésio combinadas com gesso. **Manejo e conservação da água no contexto e mudanças ambientais. XVII Reunião Brasileira De Manejo e Conservação do Solo e da Água**. Rio de Janeiro, v. 10, 2008.

RITCHIE, S. W. *et al.* How a soybean plant develops. Ames: Iowa State University of Science and Tecnology, Cooperative Extension Service, 20p., 1994.

RODRIGHERO, M. B., BARTH, G., CAIRES, E. F. Aplicação superficial de calcário com diferentes teores de magnésio e granulometrias em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, n. 6, p. 1723–1736. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/01000683rbc20150036>. Acesso em: 22 jun. 2025.

RODRIGUES, M. B; PINOTTI, C. R. Calagem em solos arenosos para cultivo de soja: uma mini-revisão. **Revista Brasileira de Ciências**, [S. l.], v. 3, n. 2, p. 102–112, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.14295/bjs.v3i2.514>. Acesso em: 4 jun. 2025.

ROSANOVA, Clauber *et al.* A expansão do agronegócio da soja no Tocantins: contextualização dos impactos e mudanças no desenvolvimento regional. In: **Open Science Research IV**. Editora Científica Digital, 2022. p. 158-167.

RUWER, Pedro Henrique. **Efeito de substâncias húmicas na produtividade da soja**. 2019. 41 f. Dissertação (Mestrado). Universidade de Cruz Alta-UNICRUZ, Cruz Alta-RS, 2019. Disponível em: <https://home.unicruz.edu.br/wp-content/uploads/2020/06/Pedro-Ruwer-EFEITO-DE-SUBST%C3%82NCIAS-H%C3%9AMICAS-NA-PRODUTIVIDADE-DA-SOJA.pdf>. Acesso em: 05 fev. 2025.

SAKREZENSKI, D. A.; MARGALHO, D. A. de A. **Sistemas de preparo do solo sobre atributos químicos e resistência à penetração de um latossolo amarelo e sua influência na produtividade da soja no município de Paragominas-PA**. 2018. 46 f. TCC (Graduação) - Curso de Agronomia, Universidade Federal Rural da Amazônia, Paragominas, 2018.

SALVADOR, J. T.; CARVALHO, T. C.; LUCCHESI, L. A. C. Relações cálcio e magnésio presentes no solo e teores foliares de macronutrientes. **Revista Acadêmica de Ciências Agrárias e Ambientais**, v. 9, n. 1, p. 27-32, 2011.

SAMPAIO, Marinez Carpiski *et al.* **Atributos químicos do solo, produtividade da soja e do cártamo cultivados sob doses de calcário**, pg. 92, 2021.

SANTIAGO, A. D.; ROSSETTO, R. **Árvore do Conhecimento: cana-de-açúcar**. Calagem. **Ageitec: Agência Embrapa de Informação Tecnológica**, Brasília, v. 29, 2022.

SANTOS, H. G. *et al.* **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5ª Ed. Brasília: Embrapa. 2018. 356 p.

SANTOS, H.G. *et al.* O novo mapa de solos do Brasil: legenda atualizada. Rio de Janeiro: **Embrapa Solos**, 2011. 67p. (Embrapa Solos. Documentos, 130).

SANTOS, Jonathas Targino dos. **Superdosagem de calcário no cultivo de soja em solos arenosos**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Agrônômica) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Campus Colinas do Tocantins, Colinas do Tocantins, 38 f, 2023.

SANTOS, Samuel de Oliveira. **Bacillus sp., formas de adubação e uso de água salobra na produção da soja no Maciço de Baturité, Ceará**. 2024. 64 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2024. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/76866>. Acesso em: 11 maio 2025.

SEDIYAMA, T. **Tecnologias de produção e usos da soja**. Londrina: Ed. Mecenaz, 314. p, 2009.

SEEFELDT, L. C. *et al.* Mechanism of Mo-dependent nitrogenase. **Annual Review of Biochemistry**, Palo Alto, v. 78, p. 701-22, 2009.

SETIYONO, T. D. *et al.* Understanding and modeling the effect of temperature and daylength on soybean phenology under high-yield conditions. **Field crops research**, v. 100, n. 2-3, p. 257-271, 2007.

SHUMAN, L. M. Efeito da calagem na distribuição de manganês, cobre, ferro e zinco entre as frações do solo. **Soil Science Society of America Journal**, v. 50, n. 5, p. 1236-1240, 1986.

SILVA, AC da; LIMA, EPC de; BATISTA, Henrique Rogê. A importância da soja para o agronegócio brasileiro: uma análise sob o enfoque da produção, emprego e exportação. **V Encontro de Economia Catarinense**, 2011.

SILVA, Gustavo Barbosa Alves. **Efeito da lâmina e do intervalo de precipitação na reação do calcário**. 34 p. 2024. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Rondonópolis. Instituto de Ciências e Tecnológicas, Rondonópolis. Disponível em: <https://ufr.edu.br/cursos/ppgzoo/wp-content/uploads/sites/13/2025/03/30-2024-Gustavo-Barbosa-Alves-Silva.pdf>. Acesso em: 07 maio 2025.

SILVA, Gustavo Dias. **Aplicação de doses elevadas de calcário na disponibilidade de nutrientes e no desenvolvimento de plantas**. Rio Verde, 2023. 34 p.

SILVA, I. R. da; MENDONÇA, E. de. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R.F. *et al.* **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. Cap. 6, p. 275-357, 2007.

SINGER, A. Avaliação da reposição de calcário e gesso no SPD. **Revista Inovar**, p 1-5, 2024.

SOARES, L. H. **Alterações fisiológicas e fenométricas na cultura de soja devido ao uso de lactofen, cinetina, ácido salicílico e boro**. 2016. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11136/tde-29112016-123154/en.php>. Acesso em: 30 jun. 2025.

SORATTO, Rogério Peres; CRUSCIOL, Carlos Alexandre Costa. Produção de fitomassa e acúmulo de nutrientes pela aveia-preta em função da aplicação de calcário e gesso em superfície na implantação do sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v. 38, p. 928-935, 2008. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/cr/a/pwspj6bFhGMmXNrXF5QBZLm/?lang=pt&format=html>.

Acesso em: 21 jul. 2025.

SOUSA, D. M. G de.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004.

SOUSA, L. F. R. A. *et al.* Determinação do pH de um argissolo vermelho amarelo distrófico incubado com aplicação de doses crescentes de CaCO_3 por diferentes métodos. **Revista Agroecossistemas**, v.5, n.2, p.58-63, 2013. Disponível em:

<https://www.academia.edu/download/98791021/37d4d6aded4b281f0210a7c82d4160a2ed6e.pdf>. Acesso 17 jun. 2025.

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

SPEHAR, Carlos Roberto. Composição mineral da soja cultivada em solo sob cerrado com dois níveis de calagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, p. 645-648, 1993.

ST. JOHN, R. A. *et al.* Secondary nutrients and micronutrient fertilization. In: STIER, J. C. *et al.* **Turfgrass: biology, use, and management**. ASA, CSSA, and SSSA: Madison, USA. 2013. p. 521-541.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: ArtMed, 2004.

TEIXEIRA, I. R. *et al.* Variação dos valores de pH e dos teores de carbono orgânico, cobre, manganês, zinco e ferro em profundidade em argissolo vermelho-amarelo, sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Bragantia**, v. 62, n. 1, p. 119-126, 2003.

TEJO, D. P.; FERNANDES, C. H. S.; BURATTO, J. S. Soja: fenologia, morfologia e fatores que interferem na produtividade. **Revista científica eletrônica de Agronomia da FAEF**, v. 35, n. 1, 2019.

TOMÉ JR., J. B. **Manual para interpretação de análise de solo**. Livraria e Editora Agropecuária, 1997. p. 247.

TREVISOLI, Thayse Renata. **Aplicação de espectroscopia de infravermelho próximo para classificação de amostras de farelo de soja**. 2018. 59 f. Dissertação (Mestrado em Inovações Tecnológicas) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2008.

VELOSO, C. A. C. *et al.* Correção da acidez do solo. In: BRASIL, E. C.; CRAVO, M. da S.; VIEGAS, I. de J. M. (ed.). **Recomendações de calagem e adubação para o estado do Pará**. 2. ed. rev. e atual. Brasília, DF: Embrapa, 2020. Pt. 1, cap. 10, p. 121-131. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1127245>. Acesso em: 9 jul. 2025.

VIANA, J. H. M. *et al.* Modelagem não linear da reação de calagem e curvas base extraíveis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 27, n. 10, p. 820-827, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/18071929/agriambi.v27n10p820-827>. Acesso em: 17 jul. 2025.

VIDAL, Gleiciane Munhoz; DA ROSA, Samanda Silva. Produção e a comercialização do complexo soja no Brasil: uma análise das exportações entre 2010 e 2021. **Revista Estudo & Debate**, v. 30, n. 1, 2023.

WHITE, P. J.; BROADLEY, M. R. Biofortification of crops with seven mineral elements often lacking in human diets – iron, zinc, copper, calcium, magnesium, selenium and iodine. **New Phytologist**, London, v. 182, n. 1, p. 49-84, 2008.

WHITE, P. J.; BROADLEY, M. R. Calcium in plants. **Annals of Botany**, v. 94, n. 4, 2003.

YANG, G. H. *et al.* Physiological impacts of magnesium-deficiency in citrus seedlings: photosynthesis, antioxidant system and carbohydrates. **Trees**, Berlim, v. 26, p. 1237-1250, 2012.

YOUSSEF NETO, H. *et al.* Atributos químicos do solo e produtividade de milho cultivado com aplicação de corretivos e sistemas de manejo do solo. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 14, n. 25, p. 191-199, 2017.

ZAMBIASI JÚNIOR, M. J. **Doses de calcários filler e efeitos na fertilidade do solo, desenvolvimento e produção da soja**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) — Universidade Federal de Mato Grosso, Sinop, 2016.

ZAMBOLIM, L.; VENTURA, J. A.; JUNIOR, L. A. Z. **Efeito da nutrição mineral no controle de doenças de plantas**. 1. ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa - Departamento de Fitopatologia, 327 p. 2012.

ZANCANARO, L. *et al.* Manejo da fertilidade de solos arenosos no Cerrado mato-grossense. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 44, n. 1, p. 33-37, 2018.

ZANCANARO, L. **Reatividade de partículas de calcário e influência das composições granulométricas na neutralização da acidez do solo**. Porto Alegre: UFRGS, 1996.

APÊNDICE A - Etapas durante o experimento



Fonte: Autoria própria (2025)