

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO-UEMA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROECOLOGIA

ALAN DE SOUSA SOUSA

**EFEITOS DE DOSES DE MOLIBDÊNIO APLICADAS NA FOLHAGEM NA
PRODUTIVIDADE E CONTEÚDO DE MOLIBDÊNIO NA SEMENTE DE FEIJÃO-
CAUPI**

São Luís

2024

ALAN DE SOUSA SOUSA

**EFEITOS DE DOSES DE MOLIBDÊNIO APLICADAS NA FOLHAGEM NA
PRODUTIVIDADE E CONTEÚDO DE MOLIBDÊNIO NA SEMENTE DE FEIJÃO-
CAUPI**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agroecologia da Universidade Estadual do Maranhão, para a obtenção do título de Mestre em Agroecologia.

Orientador: Prof. Dr. Rogério Faria Vieira

São Luís

2024

Sousa, Alan de Sousa

Efeitos de doses de molibdênio aplicadas na folhagem na produtividade e conteúdo de molibdênio na semente de feijão-caupi. / Alan de Sousa Sousa. – São Luis, MA, 2024.

32 f

Dissertação (Mestrado em Agroecologia) – Universidade Estadual do Maranhão, 2024.

Orientador: Prof. Dr. Rogério Faria Vieira

1.Vigna unguiculata. 2.Sementes enriquecidas com Mo. 3.Nitrogênio.
I.Título.

CDU: 633.35

**EFEITOS DE DOSES DE MOLIBDÊNIO APLICADAS NA FOLHAGEM NA
PRODUTIVIDADE E CONTEÚDO DE MOLIBDÊNIO NA SEMENTE DE
FEIJÃO-CAUPI**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agroecologia da Universidade Estadual do Maranhão, para a obtenção do título de Mestre em Agroecologia.

Orientador: Prof. Dr. Rogério Faria Vieira

Aprovado em: 26/03/2024

BANCA EXAMINADORA:



Documento assinado digitalmente
ROGERIO FARIA VIEIRA
Data: 17/04/2024 09:26:51-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Rogério Faria Vieira-EPAMIG

Doutor em Fitotecnia



Documento assinado digitalmente
FABRICIO DE OLIVEIRA REIS
Data: 17/04/2024 12:33:16-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Fabrício de Oliveira Reis –UEMA

Doutor em Produção vegetal



Documento assinado digitalmente
JOAO BATISTA ZONTA
Data: 17/04/2024 14:43:32-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr^a. João Batista Zonta-EMBRAPA COCAIS

Doutor em Fitotecnia

“N3o tenha medo do caminho, tenha medo de n3o caminhar”.

(Augusto Cury)

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me concebido a vida, e me dar coragem, forças e determinação para enfrentar todas as dificuldades.

Ao meu orientador prof. Rogerio Faria Vieira e meu coorientador prof. Heder Braun, pela competente orientação e pela disposição em repassar seus conhecimentos e experiências que foram e são de suma importância para meu crescimento acadêmico.

À minha família pelo apoio incondicional para que eu pudesse concluir mais essa etapa tão importante em minha vida, em especial meus pais Antônia Soares de Sousa e Joatan Sousa. Aos meus amigos que deram apoio diretamente ou indiretamente.

Aos meu amigo e irmão de caminhada Marcos Teixeira pela motivação, por me fazer acreditar em minha capacidade e por contribuir para construção e troca de novos conhecimentos. Agradeço também a todos os integrantes do nosso grupo de pesquisa pela colaboração ao longo desse mestrado.

À Universidade Estadual do Maranhão por dar condições para conclusão desse curso. Assim agradeço a todos os funcionários da Agroecologia por realizarem seu trabalho com excelência.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agroecologia por oferta esse curso de altíssima qualidade e por contribuir com nossa formação enquanto acadêmicos

A CAPES pelo financiamento durante todo o Mestrado em Agroecologia

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	8
2 REVISÃO DE LITERATURA	10
2.1 Feijão-caupi	10
2.2 Molibdênio.....	12
2.3 Nitrogênio.....	15
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	16
3.1 Local e caracterização da área experimental	16
3.2 Tratamentos e delineamento experimental	18
3.3 Instalação e condução do experimento.....	18
3.4 Características avaliadas.....	19
3.5 Análises estatísticas	20
4 RESULTADOS	21
5 DISCUSSÃO	24
6 CONCLUSÃO.....	26
REFERÊNCIAS	26

RESUMO

Os solos maranhenses são geralmente arenosos e ácidos, condições que favorecem a ocorrência de deficiências nutricionais nas plantas, sobretudo de fósforo, nitrogênio (N) e molibdênio (Mo). Devido a isso, a produtividade de grãos de feijão-caupi no Maranhão é baixa em relação ao seu potencial produtivo. O fornecimento adequado de Mo a leguminosas reduz deficiências de N e o uso de adubação mineral com N, em cobertura. Logo, nosso objetivo foi determinar, em condições de baixa tecnologia no norte maranhense, a dose de Mo aplicado na folhagem, no estágio V4 do feijão-caupi, que maximiza a produtividade e a dose de Mo necessária para elevar o conteúdo de Mo na semente para aproximadamente 3,6 µg por semente, conteúdo requerido para o feijoeiro em Minas Gerais. Foram realizados ensaios de campo em 2022 em São Luís e em Nina Rodrigues, Maranhão. Não foi utilizada adubação química no plantio. Os tratamentos foram arranjos em esquema fatorial 5 x 2: doses de Mo aplicadas na folhagem aos 25 dias após a emergência-DAE (São Luís) e aos 27 DAE (Nina Rodrigues) (0, 50, 100, 200 ou 300 g ha⁻¹) e doses de N em cobertura (0 e 50 kg ha⁻¹). Foi utilizado o cultivar BRS Guariba. A média do número de nódulos por planta em São Luís foi 6,5 e 5,0 em Nina Rodrigues, e as produtividades médias alcançadas foram 465 kg ha⁻¹ em São Luís e 822 kg ha⁻¹ em Nina Rodrigues. Sem N, a pulverização de 50 g ha⁻¹ de Mo na folhagem aumentou em 14,8% o teor de N na folha e em 50% a produtividade de grãos, em relação a dose zero. Com N, as doses de Mo não influenciaram significativamente essas variáveis. Não houve interação significativa entre doses de Mo e doses de N sobre o conteúdo de Mo na semente. No entanto, o efeito do fator doses de Mo foi muito altamente significativo sobre o conteúdo de Mo na semente. As Doses de Mo aplicadas na folhagem aumentaram entre 140% a 614% o conteúdo de Mo na semente. Com a dose de 50 g ha⁻¹ de Mo foi obtido 3,54 µg de Mo por semente. Nossos resultados sugerem que, para o cultivo de feijão-caupi com baixa tecnologia, a dose de 50 g ha⁻¹ Mo aplicada na folhagem é suficiente para maximizar a produtividade de grãos e para produzir sementes enriquecidas com Mo.

Palavras-chave: *Vigna unguiculata*; Sementes enriquecidas com Mo; Nitrogênio.

1 INTRODUÇÃO

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp) é uma espécie cultivada em mais de 36 países (Lima *et al.*, 2022) e está entre as mais cultivadas nas regiões tropicais, sobretudo na África (FAO, 2021). Em 2021, a produção mundial de grãos de feijão-caupi foi de 8,9 milhões de toneladas (FAO, 2021). Em 2022, foi produzido no Brasil 630 mil toneladas de feijão-caupi, com produtividade média de 491 kg ha⁻¹ (CONAB, 2022). Os estados brasileiros com as maiores produtividades em 2022 foram: Distrito Federal, com 1.355 kg ha⁻¹; Roraima, com 1.195 kg ha⁻¹ e Goiás, com 1.100 kg ha⁻¹. O Maranhão ocupa a décima posição nesse ranking, com produtividade média de 576 kg ha⁻¹. Essa produtividade de feijão-caupi no Maranhão é considerada baixa em relação ao potencial produtivo da cultura. O cultivar de feijão-caupi BRS Guariba, por exemplo, muito cultivado no Maranhão, pode atingir produtividades de 1.500 a 2.098 kg ha⁻¹ (Freire Filho *et al.*, 2004).

Em parte do Brasil, especialmente no Norte e Nordeste, o feijão-caupi é alimento básico das populações urbanas e rurais, e é gerador de emprego e renda (Dutra *et al.*, 2012). Os grãos de feijão-caupi são ricos em proteínas, carboidratos, minerais e fibras (Gondwe *et al.*, 2019). Logo, o feijão-caupi contribui de forma significativa para a segurança alimentar dessas populações.

No Maranhão, um dos principais fatores que contribui para a baixa produtividade do feijão-caupi é a baixa fertilidade dos solos (Silva *et al.*, 2021). Os solos maranhenses são geralmente arenosos e ácidos, condições que favorecem a ocorrência de deficiências nutricionais nas plantas, sobretudo de fósforo, nitrogênio (N) e molibdênio (Mo) (Jaiswal; Dakora, 2019). A disponibilidade de Mo é muito influenciada pela textura do solo e, principalmente, pelo pH. Estima-se que a concentração de Mo na solução do solo pode aumentar 2,6 vezes quando a percentagem de silte e argila é maior que 35%, e em até 100 vezes com o aumento de cada unidade de pH acima de 3,0 (Rutkowska *et al.*, 2017). Além disso, grande parte das propriedades rurais no Maranhão são de agricultores familiares de baixo poder aquisitivo, que geralmente não usam fertilizantes. Logo, as plantas não expressam todo o potencial produtivo, embora o feijão-caupi seja rústico e tenha boa capacidade de fixar o N atmosférico (N₂) (Baoua, 2021; Barros *et al.*, 2021; Aliyu *et al.*, 2023a). Por isso, é necessário desenvolver tecnologias que maximizem a aquisição pelas plantas de Mo e/ou N de forma sustentável.

O N é um dos macronutrientes requeridos em maior quantidade para o crescimento e desenvolvimento do feijão-caupi (Martins *et al.*, 2013). O uso de fertilizante mineral tem sido empregado por grandes produtores como principal meio de fornecimento desse nutriente às plantas. No entanto, a eficiência de recuperação do N da fertilização nitrogenada pelos feijoeiros é inferior a 50% em solos tropicais, devido às perdas, sobretudo por lixiviação e volatilização (Osiname *et al.*, 1983; Duque *et al.*, 1985). Além disso, a adubação mineral nitrogenada eleva o custo de produção e traz riscos ambientais com a poluição do lençol freático e do ar (Leite *et al.*, 2007; Silva *et al.*, 2006). O uso de tecnologias para potencializar a fixação biológica de nitrogênio (FBN) e maximizar o uso de N disponível no solo pode reduzir, pelo menos parcialmente, o uso de fertilizantes nitrogenados (Michel *et al.*, 2020). Para atingir esse objetivo, a fertilização molíbdica pode ser importante aliada, principalmente em relação a agricultores com menor nível tecnológico.

O Mo é importante componente do centro ativo de diversas metalenzimas em bactérias, fungos, algas, plantas e animais (Mendel, 2011). O Mo possui relação com o N por ser cofator da enzima nitrogenase, que atua, nos rizóbios, na conversão do N atmosférico a amônia no processo de FBN (Banerjee; Nath, 2022), e da enzima nitrato-redutase, que, na planta, reduz o NO_3^- a nitrito (NO_2^-), passo importante no processo de assimilação do N (Kaiser *et al.*, 2005; Schwarz *et al.*, 2009;). Assim, deficiências de Mo podem levar as plantas a desenvolverem deficiência de N. Além dessas enzimas envolvidas no metabolismo do N, o Mo também é cofator das enzimas sulfito oxidase, que converte sulfito em sulfato, uma importante etapa no catabolismo de aminoácidos que contêm enxofre; Xantina desidrogenase, que atua na degradação das purinas, transforma a hipoxantina em xantina e a xantina em ácido úrico; e da enzima aldeído oxidase, que catalisa a oxidação de uma variedade de heterociclos e aldeídos aromáticos e não aromáticos. Essa enzima também está envolvida na síntese de ácido abscísico e na resistência da planta a estresses biótico e abiótico (Kaiser *et al.*, 2005; Mendel, 2011).

O fornecimento de Mo para as plantas pode ser feito via tratamento de sementes com solução de Mo; aplicação de fertilizante molíbdico no sulco de plantio junto com outros fertilizantes; aplicação de solução de Mo na folhagem ou por sementes enriquecidas com Mo.

A aplicação de Mo via solo ($1,25 \text{ kg ha}^{-1}$) pode ser feita no cultivo do feijão-caupi em solo com pH próximo a neutralidade (Dhaliwal *et al.*, 2022). Entretanto, em solos ácidos a aplicação de Mo no solo pode não ser eficiente devido a adsorção dele por óxidos de ferro, manganês e alumínio (Rutkowska *et al.*, 2017).

O fornecimento de Mo por meio do tratamento de sementes consiste na aplicação de solução de Mo (6,7 a 20 g ha⁻¹) diretamente nas sementes no dia do plantio (Lana *et al.*, 2009; Teixeira *et al.*, 2023). A aplicação foliar consiste na pulverização na folhagem com solução de Mo. Na Zona da Mata de Minas Gerais, doses entre 70 e 100 g ha⁻¹ de Mo, aplicada na folhagem do feijão-comum entre o meio e o fim da fase vegetativa, é suficiente para corrigir deficiência de Mo no solo (Vieira; Araújo, 1996; Amane *et al.*, 1999; Berger;) para produtividades entre 1680 e 2200 kg ha⁻¹.

Para produzir sementes ricas em Mo, plantas de feijão-comum e feijão-caupi são pulverizadas, geralmente mais de uma vez, com dose total de 200 a 600 g ha⁻¹ de Mo (Vieira *et al.*, 2014, 2015, 2016; Barbosa *et al.*, 2021; Borges *et al.*, 2023; Prado *et al.*, 2023; Teixeira, 2023). Em feijão-caupi cultivado na Zona da Mata de MG, com doses 0, 250 e 850 g ha⁻¹ de Mo aplicadas na folhagem foram obtidos conteúdos de 0,014, 0,674 e 1,987 µg de Mo semente⁻¹, respectivamente (Barbosa *et al.*, 2021). Essas sementes com diferentes conteúdos de Mo foram semeadas no Maranhão. Os resultados obtidos por esses autores no Maranhão indicam que quando se usa sementes com alto conteúdo de Mo as plantas não respondem à aplicação de N em cobertura.

Não há informações sobre a dose de Mo que deve ser aplicada na folhagem do feijão-caupi para suprir a demanda da planta por este nutriente em solos maranhenses e assim maximizar a produtividade. Também não se sabe qual a dose de Mo adequada para aplicar na folhagem do feijão-caupi para enriquecer as sementes com Mo. Nossa hipótese é de que a dose de 50 g ha⁻¹ de Mo é suficiente para suprir a demanda da planta, e que a dose entre 100 e 200 g ha⁻¹ de Mo pode elevar o conteúdo de Mo na semente para cerca de 3,6 µg por semente. De acordo com Vieira *et al.* (2011) esse conteúdo é suficiente para atender a necessidade da cultura do feijão-comum irrigado em solo pobre em Mo. Logo, nosso objetivo foi determinar, em condições de baixa tecnologia no norte maranhense, a dose de Mo aplicado na folhagem do feijão-caupi que maximiza a produtividade e a dose de Mo necessária para elevar o conteúdo de Mo na semente para 3,6 µg por semente.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Feijão-caupi

O feijão-caupi foi domesticado na África em 1500 a C. Sugere-se como duplo centro de sua origem o Sudeste da África ou a África Ocidental e Central (Boukar *et al.*, 2019; Lazaridi; Bebeli, 2023;). O feijão-caupi é planta herbácea anual da família Fabaceae, subfamília unguiculata, gênero *Vigna* e seção *Catjang*, espécie *Vigna unguiculata*. A planta do feijão-caupi possui caule ereto, prostrado ou trepador que varia de 15 a 80 cm de altura. Apresenta hábito de crescimento determinado ou indeterminado, que varia de acordo com o genótipo, fotoperíodo ou condições de crescimento (Aliyu, *et al.*, 2023a).

Por sua versatilidade de uso na alimentação humana e em rações para alimentação animal, essa leguminosa é utilizada em todo mundo, especialmente em regiões semiáridas tropicais e desérticas. Possui alto teor de proteína nos grãos (23-32%), é rica em vitaminas, antioxidantes, fibras e oligoelementos (Lazaridi; Bebeli, 2023), e possui baixo índice glicêmico, o que o torna um alimento com potenciais benefícios medicinais (Abebe; Alemayehu, 2022). O consumo de feijão-caupi não se limita apenas aos seus grãos secos. Em muitos países também são consumidos grãos, vagens e folhas verdes, além de ser usado na forma de farinha (Lazaridi; Bebeli, 2023).

A produção mundial de grãos de feijão-caupi é de 8,9 milhões de toneladas, conforme dados da FAO (2021). Os países que mais produzem feijão-caupi são Nigéria, Niger e Burkina Faso. No Brasil a produção dessa leguminosa foi 630 mil toneladas, com produtividade média de 491 kg ha⁻¹ em 2022. Os estados maiores produtores do Brasil são: Bahia, Ceará e Tocantins. Em 2022, o Maranhão produziu 29,2 toneladas, com produtividade de 576 kg ha⁻¹ (CONAB, 2022). O feijão-caupi é cultivado em todo o estado do Maranhão, principalmente por agricultores familiares (Farias *et al.*, 2016).

Essa leguminosa foi introduzida no Brasil pelos portugueses na segunda metade do século XVI. As primeiras áreas cultivadas foram no estado da Bahia, de onde se expandiu para todo território nacional no século XVI (Lima *et al.*, 2022). Seu cultivo está em expansão no Centro-Oeste do país, onde é cultivado como safrinha após o cultivo de soja e do cultivo de arroz, e como cultura principal em alguns locais (Freire Filho *et al.*, 2011). Contudo, o feijão-caupi ainda é cultivado por agricultores familiares de baixo poder aquisitivo em áreas marginais para agricultura, com baixo uso de insumos ou irrigação, e em solos pobres em nutrientes e sujeito a estresses ambientais (Ferreira *et al.*, 2022). Essa cultura é preferida por esses agricultores em razão do seu baixo custo de produção em relação a outras culturas, de estar adaptada ao clima quente e da sua capacidade de fixar N atmosférico em simbiose com rizóbios (Baoua, 2021; Barros *et al.*, 2021; Aliyu, *et al.*, 2023a).

Em condições favoráveis, na associação simbiótica do feijão-caupi com *Rhizobium spp*, a maioria do N que as plantas requerem para seu crescimento em sistema de cultivo tradicional geralmente vem da FBN (Aliyu *et al.*, 2023b). O feijão-caupi em simbiose com rizóbios pode fixar até 200 kg/ha de N, seis vezes mais que a capacidade de fixação de N do feijão-comum (Franke *et al.*, 2018). Em decorrência do alto custo dos fertilizantes nitrogenados, e das perdas desse nutriente no solo, que colabora para a poluição ambiental, é necessária a busca por técnicas que aumentem a eficiência da planta no aproveitamento do N (Silva *et al.*, 2006).

O feijão-caupi se adapta bem a condições adversas como seca, salinidade e alta temperatura (Ferreira *et al.*, 2022). O feijão-caupi fornece cobertura para o solo, contribui para o aumento da sustentabilidade em sistemas agrícolas e traz um acréscimo na fertilidade do solo em terras marginais. É uma cultura companheira, pois disponibiliza N residual adquirido através da decomposição da serapilheira, raízes e nós (Abebe; Alemayehu, 2022). Essa cultura usa o P com eficiência e melhora a estrutura do solo devido ao sistema radicular profundo (Lazaridi; Bebeli, 2023).

2.2 Molibdênio

O molibdênio (Mo) é o nutriente essencial de menor concentração na matéria seca dos vegetais (Taiz *et al.*, 2017). Mesmo exigido em pequenas quantidades pelas plantas, a concentração de Mo nos solos tropicais pode ser insuficiente para garantir o bom desenvolvimento das lavouras (Montanha *et al.*, 2021). No mundo a concentração média de Mo nos solos é de 1,1 mg/kg (Kabata-Pendias; Szteke, 2015).

Geralmente o Mo se encontra disponível para as plantas na forma do ânion molibdato (Mendel, 2011; Jiang *et al.*, 2015) e a principal forma de absorção radicular é por fluxo de massa (Prado, 2008). A deficiência de Mo nas plantas acontece principalmente nos solos ácidos e arenosos (Prado *et al.*, 2023). No solo, quanto menor o pH, a concentração de silte e argila e o teor de matéria orgânica, menor é a concentração de Mo na solução (Rutkowska *et al.*, 2017) e, portanto, menor é a quantidade de Mo disponibilizado para as plantas (Mendel, 2011). Dentre esses fatores, o pH é o que mais influencia a disponibilidade de Mo para as plantas devido ao aumento na adsorção do Mo pelos óxidos de ferro e alumínio em meio ácido (Gupta, 1997). Estima-se que com o aumento de cada unidade de pH acima de 3,0, a disponibilidade de Mo aumenta até 100 vezes (Rutkowska *et al.*, 2017).

O Mo atua em mais de 60 enzimas que catalisam várias reações redox (Dhaliwal *et al.*, 2022). Para obter atividade biológica, deve ser complexado pela pterina, conhecida como cofator de molibdênio (Moco) (Mendel, 2011). É cofator das enzimas sulfito oxidase, que converte sulfito em sulfato, uma importante etapa no catabolismo de aminoácidos que contêm enxofre; xantina desidrogenase, que atua na degradação das purinas onde oxida a hipoxantina em xantina e a xantina em ácido úrico; aldeído oxidase, que catalisa a oxidação de uma variedade de heterociclos e aldeídos aromáticos e não aromáticos, convertendo-os nos respectivos ácidos carboxílicos (Kaiser *et al.*, 2005; Mendel, 2011). O molibdênio também é cofator da nitrato-redutase, responsável pela redução do nitrato a nitrito no citosol, e da enzima nitrogenase, que está presente nas bactérias fixadoras de N (Vieira *et al.*, 2005; Vieira *et al.*, 2015; Silva *et al.*, 2020). Em particular, a nitrogenase catalisa toda reação redox para mudança bioquímica de N molecular gasoso (N₂) a amônia (NH₃), forma que o N é metabolizado pela planta (Banerjee; Nath, 2022). Logo, a deficiência de Mo implica na redução da FBN e no menor aproveitamento do N adquirido pelas plantas (Banerjee; Nath, 2022).

As técnicas para corrigir ou evitar deficiências de Mo nas plantas consistem na aplicação do fertilizante molíbdico no solo, junto com outros fertilizantes; no tratamento de sementes, que consiste na aplicação de uma solução de Mo diretamente nas sementes no dia do plantio; na pulverização da folhagem com solução de Mo (Banerjee; Nath, 2022) até o fim da fase vegetativa; e no uso de sementes enriquecidas com esse nutriente (Vieira *et al.*, 2005; Vieira *et al.*, 2011; Barbosa *et al.*, 2021; Borges *et al.*, 2023).

Em solos altamente intemperizados, a aplicação de Mo via solo pode não ser eficiente devido a adsorção do Mo a óxidos de ferro e alumínio (Oliveira *et al.*, 2017). Por isso, no feijoeiro, o tratamento de sementes e a pulverização das plantas com solução com Mo são mais usados para prevenir ou corrigir a deficiência desse micronutriente. Essas técnicas, especialmente a pulverização da folhagem, são usadas por agricultores da Zona da Mata de Minas Gerais, onde o fertilizante molíbdico é facilmente encontrado no comércio (Vieira *et al.*, 2015)

Após a pulverização do Mo nas folhas, o Mo é translocado para outras partes da planta em até 24 horas (Brodrick; Giller, 1991; Williams *et al.*, 2004;). A pulverização do Mo na folhagem das plantas é mais eficiente do que a aplicação no solo (Abreu *et al.*, 2007), pois a quantidade de fertilizante requerida é menor e Mo pode ser aplicado junto com a calda de pesticidas, o que reduz os custos operacionais (Vieira *et al.*, 2014). Em leguminosas, as sementes contêm grande parte do Mo total da planta madura e essa reserva de Mo da semente

tem particular importância quando ela é usada em solos pobres em Mo (Jongruaysup *et al.*, 1997).

Na região da Zona da Mata, Minas Gerais, a aplicação foliar de Mo nas doses de 70 a 100 g ha⁻¹, no estágio de crescimento V4 (quarta folha trifoliolada), é usada no feijoeiro para corrigir a deficiência de Mo nos solos (Prado *et al.*, 2023; Vieira *et al.*, 2016). Em estudo realizado em Leopodina, na Zona da Mata, Amane *et al.* (1999) verificaram que a pulverização de Mo na folhagem da cultura do feijoeiro aumentou a produtividade em até 4,5 vezes, quando não foi utilizada fertilização nitrogenada em cobertura.

A necessidade de nutrientes de uma cultura depende da produtividade alcançada. Não encontramos estudos com feijão-caupi que relacione produtividade com a necessidade de macro e micronutrientes. Por isso, nos baseamos num estudo com feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.). A exigência nutricional do feijão-comum, para produção de 1 t de grãos, é 14 kg de N, 3 kg de P, 22 kg de K, 9 kg de Ca, 3 kg de Mg, 6 kg de S, 36 g de B, 12 g de Cu, 80 g de Fe, 40 g de Mn, 60 g de Zn e 2 g de Mo (Pedroso, 2018). Esses resultados indicam que a necessidade de Mo pelos feijoeiros é muito pequena. Ademais, em leguminosas, as sementes contêm grande parte do Mo total da planta madura e essa reserva de Mo da semente tem particular importância quando ela é usada em solos pobres em Mo (Jongruaysup *et al.*, 1997). Portanto, por ser exigido em pequena quantidade e se concentrar nas sementes, é possível complementar o Mo adquirido do solo pela planta, com o Mo contido em sementes grandes, como as de feijão-comum, feijão-caupi e soja.

O uso de sementes enriquecidas com Mo também é maneira eficiente para suprir, adequadamente, o feijão-comum e o feijão-caupi, em solos deficientes em Mo (Vieira *et al.*, 2011; Pacheco *et al.*, 2012; Barbosa *et al.*, 2021; Borges *et al.*, 2023). Para produzir sementes ricas em Mo, plantas de feijão-comum e feijão-caupi são pulverizadas, geralmente mais de uma vez, com dose total de 200 a 600 g ha⁻¹ de Mo (Vieira *et al.*, 2014, 2015, 2016; Barbosa *et al.*, 2021; Borges *et al.*, 2023; Prado *et al.*, 2023; Teixeira, 2023).

Em estudo realizado na Zona da Mata, MG, Brasil, Vieira *et al.* (2011) verificaram que o conteúdo de Mo de 3,6 µg por semente é suficiente para atender a necessidade de plantas de feijão-comum em solo deficiente em Mo, sem a necessidade de pulverização suplementar na folhagem. Esse conteúdo de Mo de 3,6 µg por semente, foi obtido com a pulverização de 1000 g ha⁻¹ de Mo na folhagem do feijoeiro (Vieira *et al.*, 2011). Em feijão-caupi, também na Zona da Mata de MG, plantas pulverizadas com doses de 0, 250 e 850 g ha⁻¹ de Mo produziram sementes com conteúdo de 0,014, 0,674 e 1,987 µg de Mo por semente, respectivamente

(Barbosa *et al.*, 2021). No Maranhão, resultados do estudo realizado por Teixeira (2023) indicam que doses mais baixas podem ser suficientes para alcançar conteúdo de Mo de 3,6 µg por semente de feijão-caupi. No estudo desse autor, foram determinados conteúdos de Mo na semente de 20 genótipos de feijão-caupi que receberam dose de 450 g ha⁻¹ de Mo aplicado na folhagem. Os conteúdos de Mo nas sementes desses genótipos variaram de 5,8 a 9,7 µg por semente. Entretanto, não foi investigado ainda o efeito de doses de Mo adequada para produzir sementes de feijão-caupi com conteúdo de Mo de 3,6 µg por semente.

O uso de sementes enriquecidas com Mo melhora a germinação de sementes (Prado *et al.*, 2023), aumenta a atividade da enzima nitrogenase e da nitrato redutase (Kubota *et al.*, 2008; Chagas *et al.*, 2010; Almeida; Araújo; Alves, 2013) e beneficia a fixação biológica de N (Barbosa *et al.*, 2021). Logo pode contribuir para sustentabilidade dos sistemas de produção através da redução do uso de fontes externas de N (Barbosa *et al.*, 2021; Jesus *et al.*, 2023). Além de ser tecnologia que agricultores de baixa renda podem acessar (Vieira *et al.*, 2015).

No trópico úmido, o uso de sementes enriquecidas com Mo aumentam a produtividade em feijão-caupi (Barbosa *et al.*, 2021; Borges *et al.*, 2023;). Entretanto, não encontramos estudos que avaliaram a aplicação foliar de Mo em feijão-caupi para corrigir a deficiência de Mo no solo, sob condições de agricultura de baixo uso de insumos.

2.3 Nitrogênio

Nas plantas, o N é um elemento que está presente nas proteínas, aminoácidos, ácidos nucleicos e clorofila. (Szpunar-Krok *et al.*, 2023), Além de ser fundamental em moléculas e metabolitos (Gavilanes *et al.*, 2023). O N representa, em média, de 1 a 5% da matéria seca total das plantas.

Entre os nutrientes essenciais, o N é requerido em maior quantidade pela cultura do feijão-caupi, que pode exigir em seu ciclo valores superiores a 100 kg/ha (Martins *et al.*, 2013). O feijão-caupi necessita até os 20 dias após a emergência, do N disponível nas sementes e do solo, para que ocorra ótimo processo de simbiose efetiva. Caso tenha essa ótima condição de solo e da planta, a fertilização nitrogenada de cobertura pode até ser dispensada (Brito *et al.*, 2011).

O N atmosférico é aproveitado como fonte de N por plantas leguminosas que tem capacidade de realizar simbiose com bactérias. Essas bactérias têm capacidade de reduzir o N atmosférico em amônia de modo que as plantas possam usá-lo (Gavilanes *et al.*, 2023). Nas

áreas agrícolas estima-se que as associações simbióticas sejam capazes de suprir até 80% do N em plantas leguminosas (O'hara, 1998).

A forma mais eficiente da disponibilização de nitrogênio de forma natural é através do processo de fixação biológica (Gudiño-Gomezjurado *et al.*, 2021). Desse modo, o feijão-caupi pode fixar até 200 kg ha⁻¹ de N (Franke, *et al.*, 2018).

O nitrato (NO₃⁻) e o amônio (NH₄⁺) são as duas principais fontes inorgânicas de N para as plantas. (Liu *et al.*, 2022). O uso de fertilizante mineral tem sido empregado por grandes produtores como principal meio de fornecimento desse nutriente às plantas. No entanto, a eficiência de recuperação do N da fertilização nitrogenada pelos feijoeiros é inferior a 50% em solos tropicais, devido às perdas, sobretudo por lixiviação e volatilização (Osiname *et al.*, 1983; Duque *et al.*, 1985;). Além disso, a adubação mineral nitrogenada eleva o custo de produção e traz riscos ambientais (Silva *et al.*, 2006; Leite *et al.*, 2007;). No Brasil, as recomendações de fertilização nitrogenada baseiam-se no potencial produtivo das leguminosas graníferas, no potencial delas em fixar o N da atmosfera, no teor de matéria orgânica do solo e no histórico de culturas que ocuparam a gleba. Apesar do nitrogênio proporcionar um incremento na produtividade de grãos, seu uso representa um alto custo para o produtor. Assim, é essencial reduzir as doses de nitrogênio para que a cultura se torne mais econômica (Gavilanes *et al.*, 2023).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local e caracterização da área experimental

Foram realizados ensaios de campo com o feijão-caupi no Maranhão: um no município de São Luís, no campo experimental da Universidade Estadual do Maranhão (latitude 2°30' sul e longitude 44°18' oeste, altitude de 24 m) e outro no município de Nina Rodrigues, na comunidade quilombola Balaiada (latitude 3°27' sul e longitude 43°54' oeste, altitude de 15 m). Em São Luís, a semeadura foi realizada em 2 de junho de 2022; em Nina Rodrigues, em 21 de julho de 2022.

De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é equatorial quente e úmido (AW'), com duas estações bem definidas: uma chuvosa, que se estende de janeiro a junho, e outra seca, com déficit hídrico acentuado de julho a dezembro. Em 2022, a média da precipitação mensal durante a condução do ensaio de São Luís foi 125,6 mm e a do ensaio de

Nina Rodrigues, 33,8 mm (Figura 1). A precipitação acumulada durante ciclo de vida do feijão-caupi foi de 101,6 mm em Nina Rodrigues e de 376,8 mm em São Luís.

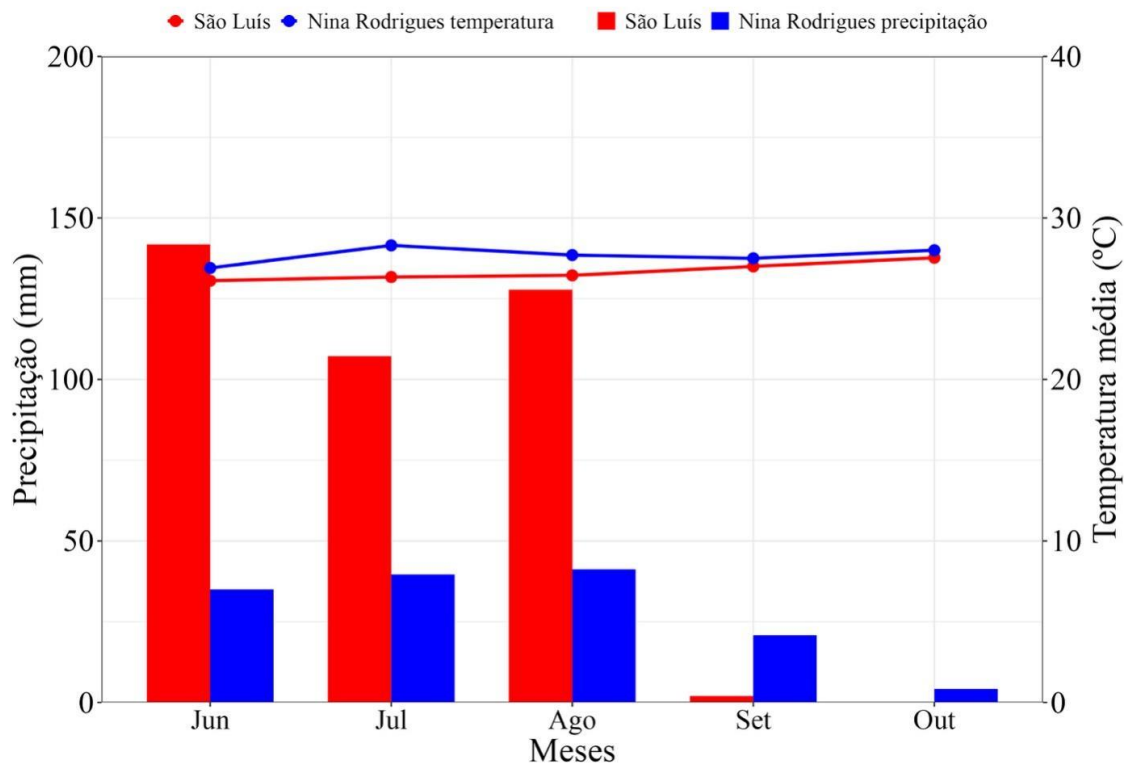


Figura 1: Precipitação mensal e temperatura média dos ensaios conduzidos em São Luís e Nina Rodrigues, em 2022. Fonte: INMET

Os solos onde foram realizados os ensaios pertencem à formação Itapecuru (Moura, 2004), e são classificados como Latossolo Amarelo Vermelho (São Luís) e Plintossolo Argilúvico Distrófico (Nina Rodrigues). Algumas características físicas e químicas desses solos foram determinadas na camada de 0-20 cm de profundidade, antes da instalação dos ensaios (Tabela 1).

Tabela 1: Características físicas e químicas do solo, na camada de 0-20 cm, antes da implantação dos ensaios de São Luís e Nina Rodrigues, Maranhão, Brasil, em 2022.

Características do solo	São Luís	Nina Rodrigues
pH ^a	3,3	3,8
Matéria orgânica ^b g/dm ³	17	21
P ^b mg/ dm ³	5	4
K ^b mmol _c /dm ³	3,9	2,7
Ca ^b mmol _c /dm ³	7	8
Mg ^b mmol _c /dm ³	3	4

H+Al ^b mmol _c /dm ³	43	26
Na ^b mmol _c /dm ³	6,5	4,3
Al ^b mmol _c /dm ³	4	3
H ^b mmol _c /dm ³	39	23
C ^b g/dm ³	9,9	12,1
Areia Grossa (%)	28	12
Areia Fina (%)	57	54
Silte (%)	3	26
Argila (%)	12	8

a Medido em 0,01 M CaCl₂ e com razão solo/solução de 1:2,5 (v/v).

b De acordo com van Raij, Andrade, Cantarella e Quaggio (2001).

c CTC, capacidade de troca catiônica em pH 7: Ca²⁺⁺ Mg²⁺ + K⁺ e H⁺ + Al³⁺.

3.2 Tratamentos e delineamento experimental

Os tratamentos foram arranjados no esquema fatorial 5 x 2: doses de Mo (0, 50, 100, 200 ou 300 g ha⁻¹) e doses de N (0 e 50 kg ha⁻¹). Os ensaios foram conduzidos no delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições. As parcelas foram constituídas de quatro fileiras de 4 m, espaçadas de 0,6 m. Foram semeadas 12 sementes por metro de sulco. As duas fileiras laterais e 0,5 m das extremidades das linhas foram consideradas bordadura. Logo, a área útil da parcela foi 3,6 m². Foi utilizada a cultivar de feijão-caupi BRS Guariba e não se usou inoculante. O cultivar BRS Guariba é recomendado para cultivo de sequeiro no Piauí e Maranhão. As plantas desse cultivar apresentam ciclo de vida de 65 a 70 dias, crescimento indeterminado e porte semiereto. Seus grãos pertencem à subclasse comercial branco (Freire Filho *et al.*, 2004).

3.3 Instalação e condução do experimento

O preparo do solo das áreas experimentais constou do corte da vegetação espontânea com roçadeira manual. A palhada ficou sobre o solo. O plantio foi realizado em sulcos abertos com enxada e não foi realizada adubação química no plantio. A área experimental de São Luís foi usada para o cultivo de feijão-caupi em 2019 e 2021 e estava em pousio até a condução do ensaio. A área experimental de Nina Rodrigues era uma capoeira que foi desmatada em 2021 e usada para o cultivo de arroz (*Oryza sativa*) de janeiro a maio de 2022. Após esse período, ficou em pousio até a realização do ensaio.

Aos 17 DAE, no ensaio de Nina Rodrigues, e aos 20 DAE, no ensaio de São Luís, foi aplicado N em cobertura em metade das parcelas, na forma de ureia (45% de N). A ureia foi distribuída em sulco com 5 cm de profundidade e 10 cm de distância das fileiras. Após a

adubação, esses sulcos foram cobertos com camada de terra, e o solo foi irrigado. Nessa irrigação, foi aplicada lâmina de água de 7,5 mm para minimizar a volatilização.

O Mo, na forma de molibdato de sódio dihidratado ($\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), foi aplicado na fase V4, 25 dias após a emergência (DAE) no ensaio de São Luís e 27 DAE no ensaio de Nina Rodrigues. A fase V4 caracteriza-se pelo surgimento do quinto nó do ramo principal com folíolos completamente abertos, conforme proposta de Moura *et al.* (2012). A aplicação de Mo foi realizada com pulverizador costal equipado com bico XR 110-02, com volume de calda de 400 L ha⁻¹. As laterais das parcelas foram protegidas com lona plástica para evitar a deriva de solução para as parcelas vizinhas. A pulverização foi realizada nos períodos mais frescos do dia, entre 8:00 e 10:00 ou entre 16:00 e 17:00.

A irrigação foi realizada através de fitas gotejadoras posicionadas a 5 cm das linhas de cultivo, com gotejadores espaçados de 0,2 m. Foi utilizada lâmina de água de 7,5 mm/dia até 15 DAE. A partir de 16 DAE, foi utilizada lâmina de 15 mm/dia até o estágio R6 (50% das vagens maduras), quando a irrigação foi suspensa. A lâmina diária de água aplicada foi dividida em dois turnos de irrigação (manhã e tarde), realizada somente nos dias em que não ocorreu chuva. Capinas com uso enxadas foram realizadas até 40 DAE.

No ensaio de São Luís, foi espalhado isca formicida de sulfluramida (i.a 0,2%) nas trilhas das formigas-cortadeiras (*Acromyrmex crassispinus* (Forel 1909) aos 6 DAE. Aos 15 e 30 DAE (ensaio de São Luís) e aos 35 DAE (ensaio de Nina Rodrigues) foi aplicado óleo de neem (0,3% de azadiractina) na folhagem, na dose de 5 mL L⁻¹, para controle de pulgão (*Aphis craccivora* Koch).

3.4 Características avaliadas

Aos 34 DAE (início do florescimento) foram avaliados: teor de N na folha, massa da parte aérea e das raízes secas, número de nódulos, massa de nódulos secos. Para determinação do teor de N na folha, foram coletadas aleatoriamente 10 folhas trifolioladas em cada parcela. Essas folhas foram colocadas em estufa de ventilação forçada de ar a 70°C até atingirem massa constante. Em seguida, essas folhas foram moídas em moinho de facas tipo Willey com peneira de 20 mesh. Amostras de 0,5 g do material vegetal foram submetidas a digestão sulfúrica para, em seguida, determinar o teor de N nas folhas pelo método de Kjeldahl (Tedesco *et al.*, 1995). Com auxílio de enxadão, foram coletadas aleatoriamente cinco plantas em cada parcela. As raízes dessas plantas foram separadas da parte aérea e lavadas em água corrente com auxílio de

peneira para evitar perda de raízes e nódulos. Os nódulos foram então destacados manualmente das raízes e contados. Em seguida, as partes aéreas das plantas, as raízes e os nódulos foram colocados em sacos de papel e em estufa de circulação forçada de ar a 70°C até atingirem massa constante, para determinar a massa da parte aérea, das raízes e dos nódulos secos.

Nos dois ensaios foram realizadas duas colheitas: a primeira aos 67 DAE e a segunda aos 72 DAE. Após a colheita, foi avaliada a produtividade de grãos. A produtividade de grãos correspondeu à massa de grãos colhidas das plantas na área útil, padronizadas para o teor de água de 13%.

Após a colheita, foi avaliada o conteúdo de Mo na semente. Foi separada uma amostra de 100 sementes da primeira colheita de cada parcela. Essas sementes foram secas em estufa a 70°C com circulação forçada de ar até massa constante. Em seguida, as sementes foram moídas, e amostras de 0,5 g foram submetidas à digestão nitroperclórica. Após digestão, o teor de Mo da semente foi determinado por espectrometria de emissão óptica com plasma de argônio induzido (ICP-OES, modelo 9820, Shimadzu, Kyoto, Japão), conforme metodologia usada por Vieira *et al.* (2014). Os conteúdos de Mo da semente ($\mu\text{g}/\text{semente}$) foram obtidos pela multiplicação dos teores de Mo da semente ($\mu\text{g}/\text{g}$) pela massa de uma semente seca (g), estimada com base na amostra de 100 sementes secas.

3.5 Análises estatísticas

Os dados foram submetidos aos testes de normalidade dos resíduos (teste de Shapiro Wilks) e homogeneidade de variâncias (teste de Bartlett).

Os dados dos dois ensaios que apresentaram distribuição normal e homogeneidade de variâncias foram submetidos aos modelos lineares mistos com a função *lmer* no pacote *lme4* (Bates *et al.*, 2014). Os efeitos fixos foram os tratamentos de Mo, N e interação. Os efeitos aleatórios foram ensaios e blocos aninhados em ensaios. O valor de *P* dos efeitos fixos foram obtidos no pacote *lmerTest* (Kuznetsova *et al.*, 2017). As médias das variáveis influenciadas pelas doses de N foram comparadas pelo teste F. O teste de Tukey foi utilizado para comparar as médias das variáveis influenciadas pelas doses de Mo com a função *emmeans* no pacote *emmeans* (Lenth, 2023). Todas as análises foram feitas com 5% de probabilidade, no software R versão 4.3.2 (R Core Team 2023). Os dados foram apresentados como médias \pm erro padrão da média.

4 RESULTADOS

A interação entre as doses de Mo e de N sobre o teor de N na folha foi significativa (Tabela 2). Sem N em cobertura, a pulverização de 50 g ha⁻¹ de Mo na folhagem aumentou em 14,8% o teor de N na folha em relação a dose zero. Entretanto, não houve diferença significativa entre as médias dessa variável nos tratamentos 50, 100, 200 e 300 g ha⁻¹ de Mo. Quando foi aplicado N em cobertura, não houve efeito significativo das doses de Mo sobre o teor de N na folha (Figura 2a).

A interação entre as doses de Mo e de N sobre a massa da raiz e da parte aérea seca foi muito altamente significativa (Tabela 2). Sem N em cobertura, a média da massa da raiz e da parte aérea seca das plantas que receberam 50, 100, 200 e 300 g ha⁻¹ de Mo aplicado na folhagem foi 39% (Figura 2b) e 30% (Figura 2c) maior que a massa da raiz e da parte aérea seca das plantas que não receberam Mo na folhagem, respectivamente.

A interação entre as doses de Mo e de N e os efeitos simples das doses de Mo sobre o número de nódulos por planta e a massa de nódulos secos não foi significativa (Tabela 2). No entanto, o efeito simples das doses de N foi muito altamente significativo. O N em cobertura reduziu em 49,7% o número de nódulos e em 63,6% a massa de nódulos secos (Tabela 3). A média do número de nódulos por planta foi 6,5 no ensaio de São Luís e 5,0 em Nina Rodrigues.

A interação entre doses de Mo e doses de N sobre a produtividade foi altamente significativa (Tabela 2). Sem aplicação de N em cobertura, a média da produtividade de grãos das plantas que receberam 50, 100, 200 e 300 g ha⁻¹ de Mo foi 44,4% maior que a média das plantas que não receberam Mo na folhagem; e a produtividade na dose de 50 g ha⁻¹ de N foi 50% maior em relação a produtividade obtida na dose zero de Mo (Figura 2d). Quando o N foi aplicado em cobertura, as doses de Mo não influenciaram a produtividade, cuja média foi 643 kg ha⁻¹ (Figura 2d). As produtividades médias alcançadas foram 465 kg ha⁻¹ no ensaio realizado em São Luís e 822 kg ha⁻¹ no ensaio de Nina Rodrigues.

A interação entre as doses de Mo e de N e o efeito simples das doses de N no conteúdo de Mo na semente não foram significativos. No entanto, o efeito simples de doses de Mo foi muito altamente significativo (Tabela 2). A média do conteúdo de Mo na semente foi 5,7 µg semente⁻¹. As doses de Mo aplicadas aumentaram de 140% a 614% o conteúdo de Mo na semente. Na dose de 50 g ha⁻¹ de Mo, o conteúdo de Mo na semente foi 3,54 µg semente⁻¹, cerca de 2,4 vezes maior do que o conteúdo de Mo na semente das plantas que não receberam

Mo. As plantas que receberam a dose de 300 g ha⁻¹ de Mo produziram sementes com 7,2 vezes mais Mo, que as plantas que não receberam Mo na folhagem (Figura 2e).

Tabela 2: Valores de F e P para as fontes de variação dos efeitos fixos do modelo linear misto de dois ensaios para teor de N na folha, massa da parte aérea seca, massa da raiz seca, massa de nódulos secos, número de nódulos, produtividade de grãos e conteúdo de Mo na semente. Maranhão, Brasil.

Variáveis	Nitrogênio (N)		Molibdênio (Mo)		N x Mo	
	F	P	F	P	F	P
Teor de N na folha (g kg ⁻¹)	3,64	0,061	4,22	0,004	3,29	0,016
Massa da parte aérea seca (g planta ⁻¹)	1,09	0,299	3,30	0,016	5,20	<0,001
Massa da raiz seca (g planta ⁻¹)	4,08	0,047	5,20	0,001	5,71	<0,001
Massa nódulos secos (mg planta ⁻¹)	26,44	<0,001	1,10	0,363	0,28	0,890
Número de nódulos por planta	21,64	<0,001	1,31	0,276	0,04	0,996
Produtividade (kg ha ⁻¹)	0,68	0,412	3,37	0,013	4,70	0,002
Conteúdo de Mo da semente (µg semente ⁻¹)	3,37	0,070	104,44	<0,001	1,374	0,251

Fontes de variação do modelo: $y \sim$ doses de N + doses de Mo + Mo x N; efeitos aleatórios: $\sim 1|\text{ensaio} + 1|\text{ensaio:bloco}$.

Graus de Liberdade para doses de N é 1, para doses de Mo e para interação é 4.

Tabela 3: Médias \pm erro padrão da média do número de nódulos por planta e a massa de nódulos secos de feijão-caupi influenciadas pelas doses de N. Maranhão, Brasil.

Doses de N (kg ha ⁻¹)	Número de nódulos por planta	Massa de nódulos secos (g/planta)
0	7,91 \pm 0,75	61,0 \pm 6,92
50	3,98 \pm 0,37	22,2 \pm 2,68

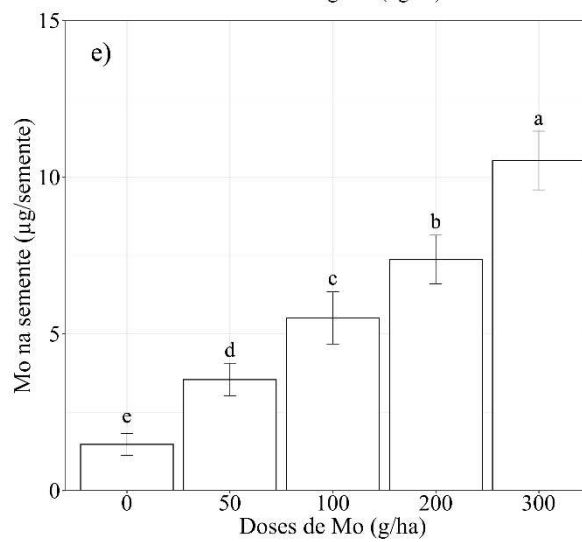
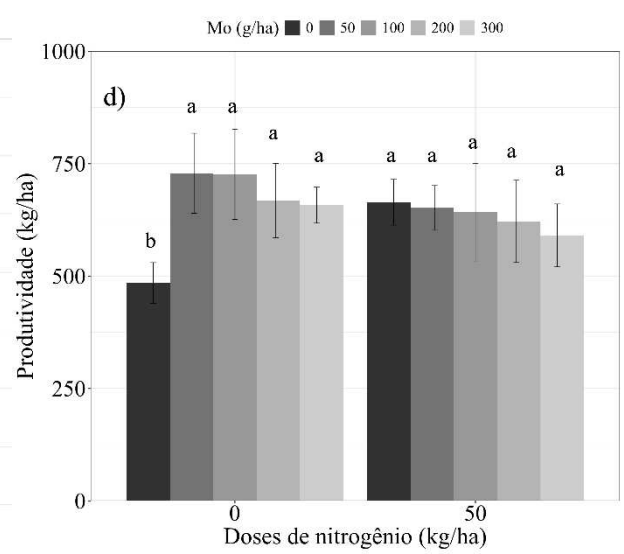
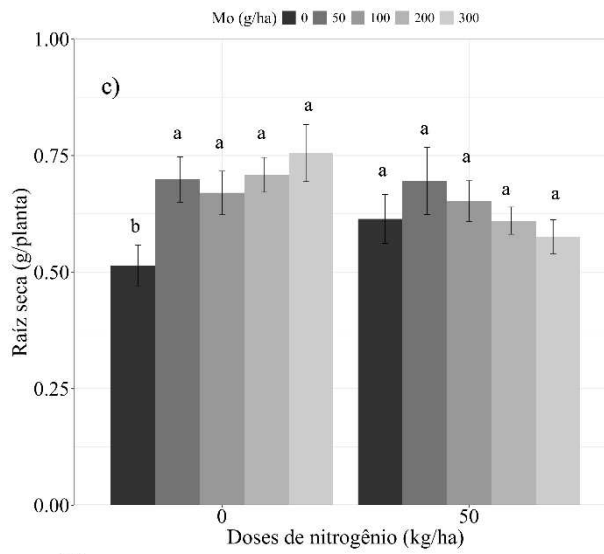
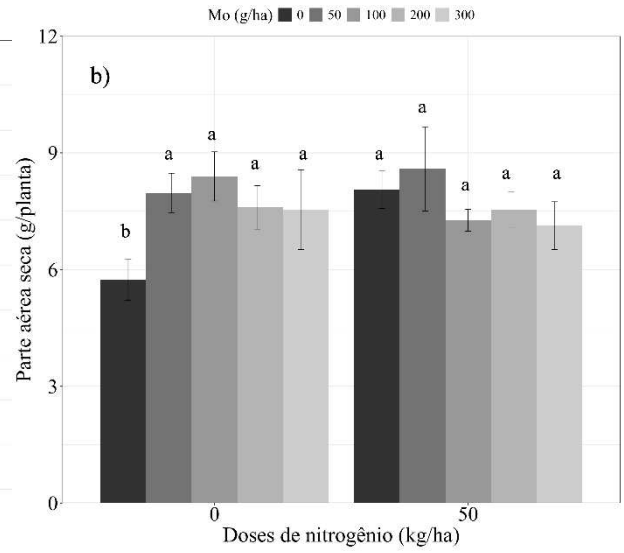
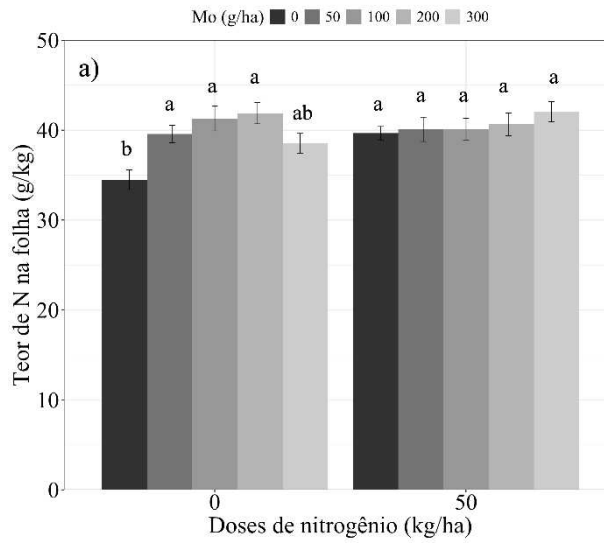


Figura 2: Efeitos da interação entre doses de Mo e doses de N no teor de N na folha (a), massa da parte aérea seca (b), massa da raiz seca (c) e produtividade de sementes (d) (n = 4), e efeitos das doses de Mo no conteúdo de Mo da semente de feijão-caupi (e) (n = 8). Maranhão, Brasil. Médias com mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$). As barras de erro representam o erro padrão da média.

5 DISCUSSÃO

Nossa hipótese foi que 50 g ha⁻¹ de Mo aplicado na folhagem são suficientes para complementar o Mo obtido do solo pela planta e maximizar a produtividade, e que a aplicação de doses entre 100 e 200 g ha⁻¹ de Mo podem elevar o conteúdo de Mo na semente para cerca de 3,6 µg por semente, que é o nível crítico de Mo na semente necessário para suprir adequadamente o feijoeiro cultivado em solo deficiente em Mo na Zona da Mata de Minas Gerais. Esse nível crítico obtido para o feijoeiro foi usado em razão de ainda não temos o nível crítico de Mo na semente (quantidade necessária para suprir as demandas desse micronutriente nas plantas) de feijão-caupi para as condições maranhenses.

Quanto à primeira parte da hipótese, os resultados sugerem que, de fato, 50 g ha⁻¹ de Mo pulverizados nas plantas de feijão-caupi são suficientes para a planta complementar o Mo adquirido do solo para maximizar o crescimento, a nutrição nitrogenada e a produtividade de feijão-caupi, em condição de baixa tecnologia. Na Zona da Mata, onde a deficiência de Mo é bem conhecida e disseminada, mesmo em pH acima de 6,0 (Vieira *et al.*, 2011), são recomendados entre 70 e 100 g ha⁻¹ de Mo aplicados na folhagem do feijoeiro para corrigir deficiência de Mo no solo (Berger; Vieira; Araújo, 1996; Amane *et al.*, 1999). Nossos resultados sugerem que o efeito do uso do Mo é equivalente a uma adubação nitrogenada de cobertura, como também foi verificado para o feijão-comum (Amane *et al.*, 1999). A não necessidade de adubação nitrogenada em cobertura implica em menor custo de produção e menor dano ambiental. Estudos indicam que o Mo pode ser fornecido de forma eficiente para o feijão-caupi (Barbosa *et al.* 2021), feijão-comum (Vieira *et al.*, 2005, 2011) e soja (Campo *et al.*, 2009) por meio do uso de sementes enriquecidas com esse micronutriente. Nesse caso, o agricultor não teria o trabalho de comprar o adubo molíbdico tampouco pulverizá-lo nas plantas, mas exigiria um esforço de órgão governamental para fornecer sementes enriquecidas com Mo aos agricultores. Outra opção seria a produção de sementes enriquecidas com Mo por empresas

produtoras de sementes, disponibilizando assim sementes enriquecidas com Mo no mercado privado.

Quanto à segunda parte da hipótese, os resultados sugerem que não há necessidade de aplicar mais que 50 g ha⁻¹ de Mo para se conseguir colher sementes com pelo menos 3,6 µg por semente, pois com 50 g ha⁻¹ de Mo obtivemos 3,54 µg por semente, quantidade bem próxima daquela indicada por Vieira *et al.* (2011) para o feijão-comum na Zona da Mata de Minas Gerais. No Maranhão, o ciclo vital do feijão-caupi é mais curto que o do feijão-comum na Zona da Mata (~70 vs. 90 dias) (Vieira *et al.*, 2011; Barbosa *et al.*, 2021; Prado *et al.*, 2023). Ademais, a produtividade do feijão-caupi é mais baixa no Maranhão (~700-2000 kg ha⁻¹ vs. 2000-4500 kg ha⁻¹). Com ciclo de vida relativamente mais curto e com menor produção de grãos por planta, o feijão-caupi provavelmente precisa de menos Mo para enriquecer as sementes que o feijão-comum. Na Zona da Mata pode ser necessário entre 200 e 400 g ha⁻¹ de Mo (em pulverização) para se atingir 3,6 µg por semente (Prado *et al.*, 2023). Esses resultados também parecem sugerir que a dose de Mo necessária para corrigir a deficiência de Mo no solo pode ser menor que 50 g ha⁻¹ (dose mínima testada). Portanto, em estudos futuros doses entre 10 e 50 g ha⁻¹ de Mo poderiam ser testadas com esse propósito.

Na Zona da Mata, em razão da alta produtividade do feijão, do seu ciclo de vida relativamente longo e da maturação uniforme das plantas, a dose total de Mo a ser aplicada deve ser parcelada para melhorar a eficiência do Mo pulverizado (Prado *et al.*, 2023). Para o feijão-caupi, porém, parece que uma pulverização é suficiente para se enriquecer a sementes com dose relativamente pequena de Mo. Essa suposição merece ser testada em estudos futuros, pois, uma vez comprovada, implica na redução de custos para a produção de sementes ricas em Mo.

O número de nódulos por planta de feijão-caupi obtido neste estudo (3,98 com uso de N ou 7,91 sem uso de N) é um pouco superior ao obtido por Barbosa *et al.* (2021), mas bem abaixo dos 38 nódulos por planta verificados no estudo de Farias *et al.* (2016) no Maranhão sem uso de inoculante. Ainda que o Mo não tenha influenciado significativamente o número e a massa de nódulos secos, acreditamos que, possivelmente, o seu uso influenciou a nutrição nitrogenada beneficiando a FBN através do aumento da eficiência dos nódulos (Mulder, 1948). A maior quantidade de nódulos nas plantas que não foram fertilizadas com N mineral, indica que, de fato, as plantas recorreram à simbiose com rizóbios nativos para compensar a deficiência de N do solo. Logo, esse resultado sugere que a FBN possivelmente teve contribuição relevante no crescimento das plantas.

Nos solos usados neste estudo (com pH em CaCl₂ de 3,3 e 3,8), o aumento de produtividade de feijão-caupi com a aplicação de Mo na folhagem confirma que esse micronutriente é essencial para o aumento da produtividade de feijão-caupi, o que poderia beneficiar agricultores familiares, pelo menos os que não fazem calagem para a correção do pH do solo.

6 CONCLUSÃO

Nossos resultados sugerem que, no cultivo de feijão-caupi com uso de baixa tecnologia (sem uso de adubação nitrogenada de cobertura), a dose de 50 g ha⁻¹ Mo aplicada na folhagem é suficiente para maximizar a produtividade de grãos e, ademais, produzir sementes enriquecidas com Mo (3,54 µg semente⁻¹ de Mo). Em estudos futuros, doses entre 10 e 50 g ha⁻¹ de Mo poderiam ser testadas com o objetivo de corrigir possível deficiência de Mo nos solos maranhenses e maximizar a produtividade.

REFERÊNCIAS

- ABEBE, B. K.; ALEMAYEHU, M. T. A review of the nutritional use of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) for human and animal diets. **Journal of Agriculture and Food Research**, p. 100383, 2022.
- ABREU, C. A.; LOPES, A. S.; SANTOS, G. C. G. Micronutrientes. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L., eds. Fertilidade do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.645-736
- ALIYU, O. M.; ABIOYE, T. A.; ABDULKAREEM Y. F.; IBRAHIM, A. Understanding the Nexus of Genotype, Root Nodulation, and Soil Nutrients for Shoot Biomass Production and Seed Yield in Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp). **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 23, n. 2, p. 2566-2584, 2023.
- ALIYU, A.; ISHIYAKU, M. F.; OFFEI, S. K.; ASANTE, I. K.; ELEBLU, J. S. Y.; ALIYU, R. E. Enhancing cowpea production through breeding efforts for aphid (*aphis crassivora* koch) resistance: a review. **Euphytica**, v. 219, n. 1, p. 19, 2023.
- ALMEIDA, F.F.D.; ARAÚJO, A.P. & ALVES, B.J.R. Seedswith high molybdenum concentration improved growthand nitrogen acquisition for rhizobium-inoculated andnitrogen-fertilized common bean plants. **R. Bras. Ci. Solo**,37:367-378, 2013
- AMANE, M. I. V.; VIEIRA, C.; NOVAIS, R. F.; ARAÚJO, G. A. A. Adubação nitrogenada e molíbdica da cultura do feijão na Zona da Mata de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 643-650, 1999.

- BAOUA, I.; RABÉ, M. M.; MURDOCK, L. L.; BARIBUTSA, D. Cowpea production constraints on smallholders' farms in Maradi and Zinder regions, Niger. **Crop Protection**, v. 142, p. 105533, 2021.
- BANERJEE, P.; NATH, R. Prospects of molybdenum fertilization in grain legumes-A review. **Journal of Plant Nutrition**, v. 45, n. 9, p. 1425-1440, 2022.
- BARBOSA, E. P. A.; SODRÉ D. N.; BRAUN, H.; VIEIRA, R. F. Seeds enriched with molybdenum improve cowpea yield in sub-humid tropical regions of Brazil. **Agronomy Journal**, v. 113, n. 2, p. 2044-2052, 2021.
- BARROS, J. R. A.; GUIMARÃES, M. J. M.; SIMÕES, W. L.; MELO, N. F. ANGELOTTI, F. Temperature: A major climatic determinant of cowpea production. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 45, 2022.
- BATES, D.; MÄCHLER, M.; BOLKER, B. B.; WALKER, S. C. Fitting linear mixed-effects models using lme4. **Journal of Statistical Software**, 2014. p. 51 (publicação do pacote 'lme4').
- BERGER, P. G.; VIEIRA, C.; GERALDO, A. A. Efeitos de doses e épocas de aplicação do molibdênio sobre a cultura do feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 31, n. 7, p. 473-480, 1996.
- BORGES, W. L.; FERREIRA, N. S.; RIOS, R. M.; SILVA, M. A.; ARAÚJO, A. P.; STRALIOTTO, R.; ZILLI, J. E.; RUMJANEK, N. G. Strategies for Improving Cowpea Grain Yield in the Eastern Amazon: Biological Nitrogen Fixation, Phosphorus Nutrition, and Molybdenum Seed Enrichment. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 54, n. 15, p. 2087-2101, 2023.
- BOUKAR, O.; BELKO, N.; CHAMARTHI, S.; TOGOLA, A.; BATIENO, J.; OWUSU, E.; HARUNA, M.; DIALLO, S.; UMAR, M. L.; OLUFAJO, O.; FATOKUN, C. Cowpea (*Vigna unguiculata*): Genetics, genomics and breeding. **Plant breeding**, v. 138, n. 4, p. 415-424, 2019.
- BRITO, M. M. P.; MURAOKA, T.; SILVA, E. C. Contribuição da fixação biológica de nitrogênio, fertilizante nitrogenado e nitrogênio do solo no desenvolvimento de feijão e caupi. **Bragantia**, v. 70, p. 206-215, 2011.
- BRODRICK, S. J.; GILLER, K. E. Genotypic Difference in Molybdenum Accumulation Affects N₂-fixation in Tropical *Phaseolus vulgaris* L. **Journal of Experimental Botany**, v. 42, n. 10, p. 1339-1344, 1991.
- CALONEGO, J. C.; RAMOS JUNIOR, E. U.; BARBOSA, R. D.; LEITE, G. H. P.; GRASSI FILHO, H. Adubação nitrogenada em cobertura no feijoeiro com suplementação de molibdênio via foliar. **Revista Ciência Agrônômica**, v.41, n.3, p. 334-340, 2010

COELHO, H. A.; LAGE, K. A.; FIGUEIREDO, L. H. A.; MELLO, J. W. V. Estudo da adsorção de molibdênio em quatro solos de minas gerais/molybdenum adsorption study in four Minas Gerais SOILS. **Ceres**, v. 47, n. 274, 2000.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. 2022. Brasília: CONAB, Available in: < https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos/item/download/39390_421561554638ce988f258fd7094dea73>. Access in: July, 06, 2022.

DUQUE, F. F.; NEVES, M. C. P.; FRANCO, A. A.; VICTORIA R. L.; BODEY, R. M. The response of field grown *Phaseolus vulgaris* to *Rhizobium* inoculation and the quantification of N₂ fixation using 15 N. **Plant and Soil**, v. 88, p. 333-343, 1985.

DUTRA, A. S.; BEZERRA, F. T. C.; NASCIMENTO, P. R.; LIMA, D. C. Produtividade e qualidade fisiológica de sementes de feijão caupi em função da adubação nitrogenada. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, p. 816-821, 2012.

DHALIWAL, S. S.; SHARMA, V.; SHUKLA, A. K.; KAUR, J.; VERMA, V.; KAUR, M.; SINGH, P.; BRESTIC, M.; GABER, A.; HOSSAIN, A. Interactive effects of molybdenum, zinc and iron on the grain yield, quality, and nodulation of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) in North-Western India. **Molecules**, v. 27, n. 11, p. 3622, 2022.

FAOSTAT. (2021). FAOSTAT: Crops. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Retrieved from <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>

FARIAS, T. P.; TROCHMANN, A.; SOARES, B. L.; MOREIRA, F. M. S. Rhizobia inoculation and liming increase cowpea productivity in Maranhão State. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 38, p. 387-395, 2016.

FERREIRA, W. M.; LIMA, G. R.; MACEDO, D. C.; FREIRE JÚNIOR, M.; PIMENTEL, C. Cowpea: A low-cost quality protein source for food safety in marginal areas for agriculture. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 29, n. 12, p. 103431, 2022.

FREIRE FILHO, F. R. (Ed.), RIBEIRO, V. Q.; ROCHA, M. M.; SILVA, K. J. D.; NOGUEIRA, M. S. R.; RODRIGUES, E. V. **Feijão-caupi no Brasil: produção, melhoramento genético, avanços e desafios**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2011. 84 p.

FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; ROCHA, M. M.; SILVA, S. M. S.; SITTOLIN, I. M. BRS Guariba nova cultivar de feijão-caupi para a Região Meio-Norte. 2004. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2004. p. 1.

FRANKE, A.C.; BRAND, G.J.; VANLAUWE, B.; GILLER K.E. Sustainable intensification through rotations with grain legumes in Sub-Saharan Africa: A review. **Agriculture, ecosystems & environment**, v. 261, p. 172-185, 2018.

GAVILANES, F. Z.; ANDRADE, D. S.; ZUCARELI, C.; YUNES, J. S.; SILVA, H. R.; HORÁCIO, E. H.; MADDELA, N. R.; SANCHEZ-URDANETA, A. B.; GUIMARÃES, M.

F. PRASAD, R. Combination effects of microbial inoculation and N fertilization on maize yield: A field study from southern Brazil. **Rhizosphere**, p. 100768, 2023.

GONDWE, T. M.; ALAMU, E. O; MDZINISO, P.; MAZIYA-DIXON, B. Cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) for food security: an evaluation of end-user traits of improved varieties in Swaziland. **Scientific reports**, v. 9, n. 1, p. 1-6, 2019.

GUDIÑO–GOMEZJURADO, M. E.; LEITE, R. A.; CARVALHO, T. S.; PFENNING, L. H.; MOREIRA, F.M. S. Phosphate–solubilizing fungi co–inoculated with Bradyrhizobium promote cowpea growth under varying N and P fertilization conditions. **Scientia Agricola**, v. 79, 2021.

GUPTA, V. K.; KALA, R. Effect of Cu and Mo on Cu/Mo ratio and their concentration in different organs of cowpeas (*Vigna sinensis* L.). **Plant and soil**, v. 56, p. 235-241, 1980.

GUPTA, Umesh C. et al. Soil and plant factors affecting molybdenum uptake by plants. **Molybdenum in agriculture.**, p. 71-91, 1997.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA-INMET. Sistema de Suporte à Decisão na Agropecuária. Disponível em:<
<http://sisdagro.inmet.gov.br/sisdagro/app/monitoramento/bhs>>. Acesso em: 10/09/2023.

JAISWAL, S. K.; DAKORA, F. D. Widespread distribution of highly adapted Bradyrhizobium species nodulating diverse legumes in Africa. **Frontiers in Microbiology**, v. 10, n. 310, 2019.

JIANG, W.; YANG, Z.; YU, T.; HOU, C. Z.; ZHENG, G.; YANG, Z.; LI, J. Evaluation of the potential effects of soil properties on molybdenum availability in soil and its risk estimation in paddy rice. **Journal of Soils and Sediments**, v. 15, p. 1520-1530, 2015.

JONGRUAYSUP, S.; DELL, B.; BELL, R. W.; O'HARA, G. W.; BRADLEY, J. S. BRADLEYE. Effect of Molybdenum and Inorganic Nitrogen on Molybdenum Redistribution in Black Gram (*Vigna mungo* L. Hepper) with Particular Reference to Seed Fill. **Annals of Botany**, v. 79, n. 1, p. 67-74, 1997.

KABATA-PENDIAS, A.; SZTEKE, B. **Trace elements in abiotic and biotic environments**. Taylor & Francis, 2015.

KAISER, B. N.; GRIDLEY, K. L.; BRADY, J. N.; PHILLIPS, T.; TYERMAN, S. D. The role of molybdenum in agricultural plant production. **Annals of botany**, v. 96, n. 5, p. 745-754, 2005.

KUZNETSOVA, A.; BROCKHOFF, P. B.; CHRISTENSEN, R. H. B. lmerTest Package: Tests in Linear Mixed Effects Models. **Journal of Statistical Software**, [S. l.], v. 82, n. 13, p. 1–26, 2017.

LANA, R. M. Q.; FARIA, M. V.; BONOTTO, I.; LANA, A. M. Q. Cobalt and molybdenum concentrated suspension for soybean seed treatment. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1715-1720, 2009.

LAZARIDI, E.; BEBELI, P. J. Cowpea constraints and breeding in Europe. **Plants**, v. 12, n. 6, p. 1339, 2023.

LEITE, U. T.; ARAÚJO, G. A. A.; MIRANDA, G. V.; VIEIRA, R. F.; CARNEIRO, J. E. S.; PIRES, A. A. Rendimento de grãos e componentes de rendimento do feijoeiro em função da aplicação foliar de doses crescentes de molibdênio. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 29, n. 1, p. 113-120, 2007.

LENTH, R. V.; BOLKER, B.; BUERKNER, P.; GINÉ-VÁZQUEZ, I.; HERVE, M.; JUNG, M.; LOVE, J.; MIGUEZ, F.; RIEBL, H.; SINGMANN, H. emmeans: Estimated Marginal Means, aka Least-Squares Means. R package version 1.8.9. 2023.

LIMA, S. K. S.; SILVA, A. O.; MATOS, I. J. V. (Orgs.). **Nutrição mineral com micronutrientes em feijão-caupi**. 1 ed. Belém: RFB, 2022. 50 p.

LIU, X.; HU, B.; CHU, C. Nitrogen assimilation in plants: current status and future prospects. **Journal of Genetics and Genomics**, v. 49, n. 5, p. 394-404, 2022.

MAIA, S. C. M.; SORATTO, R. P.; NASTARO, B.; FREITAS, L. B. The nitrogen sufficiency index underlying estimates of nitrogen fertilization requirements of common bean. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 183-192, 2012.

MARTINS, R. N. L.; NÓBREGA, R. S. A.; SILVA, A. F. T.; NÓBREGA, J. C. A.; AMARAL, F. H. C.; COSTA, E. M.; Lustosa Filho, J. F.; MARTINS, L. V. Nitrogênio e micronutrientes na produção de grãos de feijão-caupi inoculado. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 4, p. 1577-1586, 2013.

MENDEL, R. R. Cell biology of molybdenum in plants. **Plant cell reports**, v. 30, p. 1787-1797, 2011.

MICHEL, D. C.; VASQUES, I. C. F.; ARAÚJO, G. C. R.; CASTRO, J. L.; ASSIS, L. L. R.; REIS, R. H. C. L.; SILVA, M. S.; FAQUIM, V. Influence of molybdenum doses in inoculation and mineral fertilization in cowpea beans. **Bioscience Journal: Biosci. J.**, Uberlândia, v. 36, p. 102-112, 2020.

MONTANHA, G. S.; DIAS, M. A. N.; CORRÊA, C. G.; DE CARVALHO, H. W. P. Unfolding the fate and effects of micronutrients supplied to soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) and maize (*Zea mays* L.) through seed treatment. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 21, p. 3194-3202, 2021.

MOURA, Emanuel Gomes. **Agroambientes de transição: entre o trópico úmido e o semi-árido do Brasil: atributos, alterações, uso na produção familiar**. IICA Biblioteca Venezuela, 2004.

MOURA, J. Z.; PÁDUA, L. E. M.; MOURA, S. G.; TORRES, J. S.; RAMALHO E SILVA, P. R. Escala de desenvolvimento fenológico e exigência térmica associada a graus-dia do feijão-caupi. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 25, n. 3, p. 66-71. 2012.

- MULDER, E. G. Importance of molybdenum in the nitrogen metabolism of microorganisms and higher plants. **Plant and Soil**, p. 94-119, 1948.
- OSINAME, O.; GIJN, H. V.; VLEK, P. L. G. Effect of nitrification inhibitors on the fate and efficiency of nitrogenous fertilizers under simulated humid tropical conditions. **Tropical Agriculture**, v. 60, n. 3, 1983.
- OLIVEIRA, C. O.; PINTO, C. C.; GARCIA, A.; BETTIOL, J. V. T.; SÁ, M. E.; LAZARINI, E. Produção de sementes de soja enriquecidas com molibdênio. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 64, p. 282-290, 2017.
- O'HARA, G. W. The role of nitrogen fixation in crop production. **Journal of Crop Production**, v. 1, n. 2, p. 115-138, 1998.
- PACHECO, R.S.; BRITO, L.F.; STALIOTTO, R.; PÉREZ, D.V.; ARAÚJO, A.P. Seeds enriched with phosphorus and molybdenum as a strategy for improving grain yield of common bean crop. **Field Crops Res.**, 136:97-106, 2012.
- PEDROSO, F. M. Leguminosas e oleaginosas. Porto Alegre: SAGAH, 2018. p. 79.
- PELEGRIN, R.; MERCANTE, F. M.; OTSUBO, I. M. N.; OTSUBO, A. A. Resposta da cultura do feijoeiro à adubação nitrogenada e à inoculação com rizóbio. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 33, p. 219-226, 2009.
- PRADO, A. L.; ARAUJO, EDUARDO F.; CARNEIRO, J. E. S.; ARAUJO, R. F.; BRAUN, H.; PAULA Jr, T. J.; TEIXEIRA, P. H.; VIEIRA, R. F. Split applications of molybdenum fertilizer on common bean increase molybdenum in seed. **Agronomy Journal**, v. 115, n. 2, p. 987-996, 2023.
- R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2023. <https://www.R-project.org/>.
- RASCHE, L.; BECKER, J. N.; CHIMWAMUROMBE, P.; ESCHENBACH, A.; GRÖNGRÖFT, A.; JIHYE, J.; LUTHER-MOSEBACH, J.; REINHOLD-HUREK, B.; SARKAR, A.; SCHNEIDER, U. A. Exploring the benefits of inoculated cowpeas under different climatic conditions in Namibia. **Scientific Reports**, v. 13, n. 1, p. 11761, 2023.
- RUTKOWSKA, B., SZULC, W.; Spychaj-Fabisiak, E., PIOR, N. Prediction of molybdenum availability to plants in differentiated soil conditions. **Plant, Soil and Environment**, v. 63, n. 11, p. 491-497, 2017.
- SILVA, M. S.; OLIVEIRA, G. R. F.; MERLOTI, L. F.; BOSSOLANI, J. W. CAMARGOS, L. S.; SÁ, M. E.; REIS, A. R. New insights on molybdenum fertilization in common bean under no-tillage system: rates and application time to obtain high vigor seeds. **Journal of Plant Nutrition**, v. 44, n. 10, p. 1420-1431, 2020.
- SILVA, T. R. B.; LEMOS, L. B.; TAVARES, C. A. Produtividade e característica tecnológica de grãos em feijoeiro adubado com nitrogênio e molibdênio. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 41, p. 739-745, 2006.

SZPUNAR-KROK, E.; BOBRECKA-JAMRO, D.; PIKUŁA, W.; JANCZAK-PIENIAZEK, M. Effect of Nitrogen Fertilization and Inoculation with *Bradyrhizobium japonicum* on Nodulation and Yielding of Soybean. *Agronomy*, v. 13, n. 5, p. 1341, 2023.

SCHWARZ, G.; MENDEL, R. R.; RIBBE, M. W. Molybdenum cofactors, enzymes and pathways. *Nature*, v. 460, p. 839-847, 2009.

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

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. Análise de solos, plantas e outros materiais. Porto Alegre: UFRGS, 1995.

TEIXEIRA, G. C. M. The adequate dose of Mo required for soybean seed treatment is low when associated with Cu, Mn, and Zn compared to its association with Co and Ni, although increasing the risk of toxicity. *Journal of Plant Nutrition*, v. 8, p. 1545-1559, 2023.

TEIXEIRA, M. C. **Variabilidade genotípica em feijão-caupi em acumular na semente o molibdênio aplicado na folhagem**. 2023. Dissertação (Mestrado em Agroecologia), Universidade Estadual do Maranhão, 2023.

VIEIRA, R. F.; SALGADO, L. T.; FERREIRA, A. C. B. Performance of common bean using seeds harvested from plants fertilized with high rates of molybdenum. *Journal of Plant Nutrition*, v. 28, n. 2, p. 363-377, 2005.

VIEIRA, R. F.; PAULA JR. T. J.; PIRES, A. A.; CARNEIRO, J. E. S.; ROCHA, G. S. Common bean seed complements molybdenum uptake by plants from soil. *Agronomy Journal*, v. 103, n. 6, p. 1843-1848, 2011.

VIEIRA, R. F.; PAULA JÚNIOR, T. J.; CARNEIRO, J. E. S.; QUEIROZ, M. V. Genotypic variability in seed accumulation of foliar-applied molybdenum to common bean. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 38, p. 205-213, 2014.

VIEIRA, R. F.; PAULA JÚNIOR, T. J.; PRADO, A. L.; ARAÚJO, R. F.; LEHNER, M. S.; SILVA, R. A. A aplicação foliar de molibdênio na fase de enchimento de vagens do feijão-comum pode reduzir a qualidade da semente. *Revista Ceres*, v. 62, p. 415-419, 2015.

VIEIRA, R. F.; LIMA, R. C.; PRADO, A. L.; PAULA JÚNIOR, T. J.; SOARES, B. A. Split application of molybdcic fertilizer at the reproductive stage of common bean increases the molybdenum content in seed. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 38, p. 529-533, 2016.

WILLIAMS, C. M. J.; MAIER, N. A.; BARTLETT, L. Effect of molybdenum foliar sprays on yield, berry size, seed formation, and petiolar nutrient composition of “Merlot” grapevines. *Journal of Plant Nutrition*, v. 27, n. 11, p. 1891-1916, 2004.