

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

ESTER DE PAIVA ALVES BARBOSA

**EFEITO DE DOSES DE MOLIBDÊNIO APLICADAS NA FASE DE ENCHIMENTO
DE GRÃOS DO FEIJÃO-CAUPI NO CONTEÚDO DE MOLIBDÊNIO DA SEMENTE
E NA SUA QUALIDADE FISIOLÓGICA**

SÃO LUÍS

2023

Ester de Paiva Alves Barbosa
Engenheira Agrônoma
Mestra em Agroecologia

**EFEITO DE DOSES DE MOLIBDÊNIO APLICADAS NA FASE DE ENCHIMENTO
DE GRÃOS DO FEIJÃO-CAUPI NO CONTEÚDO DE MOLIBDÊNIO DA SEMENTE
E NA SUA QUALIDADE FISIOLÓGICA**

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do
Programa de Pós-Graduação em Agroecologia da
Universidade Estadual do Maranhão, para
obtenção do título de Doutora em Agroecologia.

Orientador: Prof. Dr. Rogério Faria Vieira

SÃO LUÍS

2023

Ester de Paiva Alves Barbosa

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Agroecologia da Universidade Estadual do Maranhão, para obtenção do título de Doutora em Agroecologia.

Orientador: Prof. Dr. Rogério Faria Vieira

Aprovada em: 29/11/2023

Comissão Julgadora:

Documento assinado digitalmente
 **ROGERIO FARIA VIEIRA**
Data: 03/04/2024 16:18:28-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Rogério Faria Vieira – EPAMIG

Documento assinado digitalmente
 **HEDER BRAUN**
Data: 04/04/2024 12:16:43-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Heder Braun – Universidade Estadual do Maranhão

Documento assinado digitalmente
 **JOAO BATISTA ZONTA**
Data: 03/04/2024 15:41:41-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. João Batista Zonta – Embrapa

Documento assinado digitalmente
 **ALANA DAS CHAGAS FERREIRA AGUIAR**
Data: 02/04/2024 16:28:07-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. Alana das Chagas Ferreira Aguiar – Universidade Federal do Maranhão

Documento assinado digitalmente
 **KATIA PEREIRA COELHO**
Data: 03/04/2024 15:11:57-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. Katia Pereira Coelho – Universidade Estadual do Maranhão

SÃO LUÍS

2023

Barbosa, Ester de Paiva Alves.

Efeito de doses de molibdênio aplicadas na fase de enchimento de grãos do feijão - caupi no conteúdo de molibdênio da semente e na sua qualidade fisiológica. / Ester de Paiva Alves Barbosa . – São Luís (MA), 2023.

35p.

Tese (Programa de Pós-Graduação em Agroecologia) Universidade Estadual do Maranhão - UEMA, 2023.

Orientador: Prof. Dr. Rogério Faria Vieira.

1. Vigna. 2. Teste de vigor. 3. Condutividade elétrica. 4. Produtividade. I.Título.

CDU: 631:582.739

Elaborado por Luciana de Araújo - CRB 13/445

Dedico!

A Deus.

Aos meus pais Raimundo Nonato dos Santos Alves e Rosemary de Pereira de Paiva, por todo o carinho e ensinamentos em toda a minha vida.

Ao meu esposo Werlen Araújo Barbosa e minha filha Júlia de Paiva Alves Barbosa por serem minha inspiração e apoio em toda trajetória.

AGRADECIMENTOS

A Deus e ao senhor Jesus Cristo, por sua imensa misericórdia, pelo dom da vida, por todas as bênçãos concedidas e por nunca ter me deixado desistir dos meus objetivos.

Aos meus pais Raimundo Nonato dos Santos Alves e Rosemary Pereira de Paiva e à minha irmã Raymara de Paiva Alves. Vocês são minha fonte de inspiração e meu amor por vocês é incondicional.

À minha família pelo carinho e apoio, em especial minha madrasta Ana Paula Nunes de Araújo Alves, que sempre me incentivou e apoiou nos estudos e na vida.

Ao meu amado Werlen Araújo Barbosa que acompanhou meus passos durante a carreira acadêmica desde o começo e até hoje posso contar com seu apoio.

Aos meus orientadores Dr. Rogério Faria Vieira e Dr. Heder Braun pelos ensinamentos, paciência e confiança depositada a mim.

Aos meus amigos e companheiros de equipe Alan de Sousa, Diéssica Junges, Karen Alessandra, Lincon Mateus, Marcelo Marinho, Marcos Teixeira, Myrella Katlhen, Vanessa Lira e Wenner Vinicius, pela amizade, companheirismo, pelas horas de conversas e risadas exageradas e pela ajuda na condução dos experimentos. Vocês foram essenciais para a conclusão desse ciclo. Muito Obrigada!

À Rayanne Cristine, pelo profissionalismo e prestatividade.

Ao Francisco Neto, por toda contribuição, disponibilidade e ajuda em campo e no dia a dia. E a toda equipe de funcionários do PPGA, por estarem sempre dispostos a ajudar.

À CAPES pela concessão da bolsa de estudo e à Universidade Estadual do Maranhão pela oportunidade de realização do curso de Pós-graduação em Agroecologia.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização desse trabalho, muito obrigada.

Obrigada a todos!

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	7
LISTA DE TABELAS.....	8
RESUMO.....	9
ABSTRACT	10
1 INTRODUÇÃO	11
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
2.1 FEIJÃO-CAUPI	13
2.2 MOLIBDÊNIO.....	13
2.3 SEMENTES ENRIQUECIDAS COM MO	15
2.4 QUALIDADE FISIOLÓGICA DAS SEMENTES.....	16
3 HIPÓTESES	17
4 OBJETIVO GERAL	17
5 MATERIAL E MÉTODOS.....	18
5.1 LOCALIZAÇÃO DOS ENSAIOS, CLIMA E CARACTERÍSTICAS DO SOLO.....	18
5.2 ENSAIOS PARA PRODUÇÃO DE SEMENTES ENRIQUECIDAS EM MOLIBDÊNIO	19
5.3 INSTALAÇÃO E CONDUÇÃO DOS ENSAIOS	21
5.4 CARACTERÍSTICAS AVALIADAS	21
5.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	23
6 RESULTADOS.....	24
7 DISCUSSÃO	27
8 CONCLUSÃO	29
9 REFERÊNCIAS	30

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Precipitação acumulada mensal e temperatura média durante a execução dos ensaios em São Luís (2021 e 2022) e em Guimarães (2021). Fonte: Dados da Rede do INMET (ensaios em São Luís, MA) e Agência Nacional das Águas (ensaio em Guimarães, MA) 18
- Figura 2.** Efeito dos tratamentos envolvendo Mo no conteúdo de Mo na semente (n=12, três ensaios) e germinação das sementes (n=4, um ensaio). A barra de erro denota o erro padrão da média..... 25

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características físico-químicas do solo na camada de 0-20 cm, antes da instalação dos ensaios em São Luís/MA (2021 e 2022) e Guimarães/MA (2021)	19
Tabela 2: Descrição dos tratamentos com Mo (g ha^{-1}) e os contrastes ortogonais testados nos ensaios em São Luís/MA (2021 e 2022) e Guimarães/MA (2021)	20
Tabela 3. Valores de F e P para o efeito fixo do modelo linear misto ajustado de três ensaios para a produtividade de grãos e conteúdo de Mo da semente, e de um ensaio para a germinação da semente, condutividade elétrica, envelhecimento acelerado e massa da plântula seca de feijão-caupi. numDF and denDF = graus de liberdade do numerador e denominador. Maranhão, Brasil.....	24
Tabela 4. Médias (\pm erro padrão da média) de produtividade ($n = 12$, três ensaios), condutividade elétrica (CE) e massa da plântula seca (MPS) ($n=4$, um ensaio) de feijão-caupi, e valores de P dos contrastes ortogonais em resposta aos tratamentos, Maranhão, Brasil.....	27

RESUMO

O feijão-caupi possui importância socioeconômica, principalmente para o Norte e Nordeste do Brasil, onde constitui um dos principais componentes da dieta alimentar de famílias carentes. O molibdênio (Mo) é o micronutriente exigido em pequena quantidade para o crescimento das plantas, mas pode reduzir a qualidade das sementes colhidas. Nosso objetivo foi testar a hipótese que a aplicação foliar de Mo, com dose relativamente alta na fase de enchimento de grãos, pode prejudicar a qualidade fisiológica das sementes, mas aumenta o conteúdo de Mo da semente (CMoS) do feijão-caupi cultivado na região subtropical do Brasil. Foram conduzidos três ensaios em campo com feijão-caupi no Maranhão: um em Guimarães (2021) e dois em São Luís (2021 e 2022). Os ensaios foram constituídos de seis tratamentos com Mo ($\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) via foliar: T1 = Sem Mo; T2 = 50 g ha⁻¹ de Mo (V6); T3 = 50 (V6) + 400 (R4); T4 = 50 (V6) + 200 (R1) + 200 (R4); T5 = 50 (V6) + 300 (R1) + 100 (R4); T6 = 50 (V6) + 400 (R1). O delineamento foi em blocos casualizados, com quatro repetições. Foram testados cinco contrastes ortogonais: C1= T1 vs T2-6; C2 = T2 vs T3-6; C3 = T3-4 vs T5-6; C4 = T3 vs T4; C5= T5 vs T6. Os dados de produtividade e CMoS foram obtidos de três ensaios e os dados de qualidade fisiológica, de um ensaio. Os tratamentos influenciaram a produtividade ($P=0,002$), o CMoS ($P<0,001$), a germinação ($P=0,021$), a condutividade elétrica ($P=0,004$) e a massa das plântulas secas ($P<0,001$). Os tratamentos não influenciaram o envelhecimento acelerado ($P=0,169$). O CMoS das plantas que receberam Mo foi 8,5 vezes maior que o CMoS das plantas que não receberam Mo ($P<0,001$). A dose de 400 g ha⁻¹ de Mo (4 tratamentos) aumentou 3,2 vezes o CMoS em relação a dose de 50 g ha⁻¹ (V6) ($P<0,001$). As doses de 200 e 400 g ha⁻¹ aplicadas em R4 aumentaram em 4,0 pontos percentuais a germinação em relação a ausência de Mo e 100 g ha⁻¹ de Mo (contraste T3-4 vs T5-6; $P=0,020$). Nossos resultados indicam que a aplicação da maior parte do Mo na fase R4 do feijão-caupi (400 dos 450 g ha⁻¹ de Mo) não causam aumento do CMoS em relação a parcelamentos nas fases R1 e R4. E indicam que não há vantagem de se fazer três parcelamentos da dose total de Mo em relação a dois parcelamentos.

Palavras-chave: *Vigna*; teste de vigor; condutividade elétrica; produtividade.

ABSTRACT

Cowpea has socioeconomic importance, mainly for the North and Northeast of Brazil, where it constitutes one of the main components of the diet of needy families. Molybdenum (Mo) is the micronutrient required in small quantities for plant growth, but it can reduce the quality of harvested seeds. Our objective was to test the hypothesis that foliar application of Mo, with a relatively high dose in the grain filling phase, may harm the physiological quality of the seeds, but increases the seed Mo content (CMoS) of cowpea grown in the region. subtropical region of Brazil. Three field trials were conducted with cowpea in Maranhão: one in Guimarães (2021) and two in São Luís (2021 and 2022). The trials consisted of six treatments with Mo (g ha^{-1}) ($\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) via foliar: T1 = No Mo; T2 = 50 (V6); T3 = 50 (V6) + 400 (R4); T4 = 50 (V6) + 200 (R1) + 200 (R4); T5 = 50 (V6) + 300 (R1) + 100 (R4); T6 = 50 (V6) + 400 (R1). The design was in randomized blocks, with four replications. Five orthogonal contrasts were tested: C1= T1 vs T2-6; C2 = T2 vs T3-6; C3 = T3-4 vs T5-6; C4 = T3 vs T4; C5= T5 vs T6. Grain yield and CMoS data were obtained from three trials and physiological quality data from one trial. The treatments influenced grain yield ($P=0.002$), CMoS ($P<0.001$), germination ($P=0.021$), electrical conductivity ($P=0.004$) and dry seedling mass ($P<0.001$). The treatments did not influence accelerated aging ($P=0.169$). The CMoS of plants that received Mo was 8.5 times greater than the CMoS of plants that did not receive Mo ($P<0.001$). The dose of 400 g ha^{-1} of Mo (4 treatments) increased CMoS 3.2 times in relation to the dose of 50 g ha^{-1} (V6) ($P<0.001$). The doses of 200 and 400 g ha^{-1} applied in R4 increased germination by 4.0 percentage points in relation to the absence of Mo and 100 g ha^{-1} of Mo (contrast T3-4 vs T5-6; $P=0.020$). Our results indicate that the application of most of the Mo in the R4 phase of cowpea (400 of the 450 g ha^{-1} of Mo) does not cause an increase in CMoS in relation to splits in the R1 and R4 phases. And they indicate that there is no advantage in making three installments of the total dose of Mo compared to two installments.

Keywords: Vigna; vigor test; Electric conductivity; Grain yield.

1 INTRODUÇÃO

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp) é importante fonte alimentar e de renda de famílias do Norte e Nordeste. Nessas regiões, o feijão-caupi é um dos componentes da dieta alimentar por ter alto conteúdo energético e ser rico em proteína, minerais e fibras (Bertini et al., 2010; Carvalho et al., 2012). Na safra de 2021/2022, a produtividade média nacional de feijão-caupi foi 491 kg ha⁻¹. No Maranhão, a área total semeada com feijão-caupi foi 50,4 mil hectares, com produção de 29,2 mil toneladas e produtividade média de 580 kg ha⁻¹ (Conab, 2022).

Os rendimentos do feijão-caupi no Maranhão são baixos, devido a estresses bióticos e abióticos, como deficiência de nutrientes no solo, principalmente de nitrogênio (N), e estresses decorrentes de longos períodos de estiagem e altas temperaturas (Silva et al., 2012). Além desses fatores, os solos do Maranhão são derivados de arenitos finos (percentagens de areia fina superior a 500 g kg⁻¹, teores de silte entre 60 e 80 g kg⁻¹ e argila entre 100 e 150 g kg⁻¹), com baixa capacidade de retenção de cátions, ácidos e pouca disponibilidade dos principais nutrientes necessários para o crescimento e desenvolvimento vegetal (Aguiar et al., 2010). Essas condições favorecem a deficiência de molibdênio (Mo) no solo, o que indica que a aplicação de Mo na folhagem possa aumentar a produtividade da cultura, como demonstrado no estudo de Barbosa et al. (2021).

O Mo é dos micronutrientes mais escassos nos sistemas biológicos, e sua concentração na litosfera varia de 1,2 a 2,3 mg kg⁻¹ (Kaiser et al., 2005). No Maranhão, Barbosa et al. (2021) relataram concentração de Mo no solo de 0,12 mg kg⁻¹. O Mo é exigido em pequena quantidade pela planta, na qual possui importantes funções no metabolismo do N, sobretudo com atuação nas enzimas nitrogenase e nitrato redutase. A enzima nitrogenase é responsável pela redução do N₂ atmosférico a amônia nas leguminosas. A nitrato redutase é responsável pela redução do nitrato em nitrito nas plantas (Kaiser et al., 2005). O Mo atua ainda nas enzimas xantina oxidase, aldeído oxidase e sulfito oxidase (Mendel e Bittner, 2006), que têm influência na resposta da planta a estresses bióticos e abióticos e na formação do pólen e na síntese proteica (Martínez et al., 1996; Mendel, 2011). Sementes enriquecidas com Mo podem fornecer quantidade suficiente desse micronutriente para garantir adequado crescimento das plantas sem adição suplementar de Mo na folhagem (Vieira et al., 2011b) ou N (Barbosa et al., 2021). Na Zona da Mata de Minas Gerais, a prevenção ou correção da deficiência de Mo do solo pode ser feita com a pulverização de 70 a 100 g ha⁻¹ de Mo, entre 14 e 28 dias após a emergência (DAE) do feijoeiro (Berger et al., 1996). O plantio de sementes com alto conteúdo de Mo aumentou a produtividade

do feijoeiro (Vieira et al., 2005, 2011, 2014; Almeida et al., 2013) e do feijão-caupi (Barbosa et al., 2021), e melhorou a qualidade fisiológica da semente (Leite et al., 2009; Prado et al., 2023). Na Zona da Mata de Minas Gerais, sementes de feijão-caupi com 0,014, 0,674, ou 1,987 $\mu\text{g semente}^{-1}$ de Mo foram colhidas de plantas que receberam na folhagem 0, 250, ou 850 g ha^{-1} de Mo (Barbosa et al., 2021). Nessa região, 600 g ha^{-1} de Mo aplicados na folhagem de genótipos de feijoeiro permitiu a produção de sementes com pelos menos 3,6 $\mu\text{g Mo semente}^{-1}$ (Vieira et al., 2014). Esse conteúdo parece suficiente para complementar o Mo adquirido do solo pela planta, de forma que não haja resposta às aplicações foliares com Mo (Vieira et al., 2011b). No Maranhão, esse CMoS que complementa o Mo que as raízes de feijão-caupi retiram do solo, ainda não é conhecido.

No feijoeiro, o Mo aplicado na fase de formação de vagens (R7) pode aumentar mais o CMoS do que a aplicação na fase de pré-floração (R5) (Vieira et al., 2016). Esses autores relataram que o parcelamento do Mo na fase reprodutiva elevou em 16% o CMoS em relação a uma única aplicação sem reduzir a qualidade fisiológica da semente colhida (Vieira et al., 2016). No entanto, a aplicação foliar de 200 a 300 g ha^{-1} de Mo em R8 (enchimento de grãos) pode prejudicar a qualidade fisiológica das sementes (Vieira et al., 2015). Em relação ao feijão-caupi cultivado em São Luís/MA, há indícios de que 400 g ha^{-1} de Mo aplicados na fase de enchimento de grãos também reduz a qualidade fisiológica da semente (Barbosa et al., 2021). Esses autores relataram que o estande final de plantas originadas de sementes com 1,987 $\mu\text{g semente}^{-1}$ de Mo foi 19% menor que o estande final de plantas originadas de sementes com 0,014 $\mu\text{g semente}^{-1}$ de Mo. Portanto, há lacuna de informações na literatura sobre os efeitos de doses e parcelamento do Mo em diferentes fases de desenvolvimento reprodutivo do feijão-caupi no CMoS e na qualidade fisiológica da semente colhida. Esses estudos podem melhorar a tecnologia para produção de sementes enriquecidas com Mo na região subtropical do Brasil.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Feijão-caupi

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.), também conhecido como feijão-macassar ou feijão-de-corda, é leguminosa de origem africana bem adaptada as condições edafoclimáticas do semiárido brasileiro. Esse feijão é uma das fontes de alimento mais importantes e estratégicas para as regiões tropicais e subtropicais do planeta (Santos et al., 2014).

Em 2022, no Brasil, a produtividade média do feijão-caupi foi 491 kg ha⁻¹, com produção de 632 mil toneladas. O Mato Grosso tem a maior produção (96,7 mil toneladas) e produtividade de 1126 kg ha⁻¹ (Conab, 2022). No Nordeste, a Bahia apresenta maior produtividade média de 585 kg ha⁻¹. O Maranhão ocupa o segundo lugar com produtividade média de 580 kg ha⁻¹ na safra de 2021/2022, com produção de 29 mil toneladas (Conab, 2022).

O feijão-caupi é considerado cultura de subsistência e desempenha papel fundamental no contexto socioeconômico de famílias que vivem no Norte e Nordeste, onde ocupa aproximadamente 60% da área total plantada com essa cultura (Brito et al., 2009; Bertini et al., 2010), onde, devido a sua rusticidade, se adaptou bem (Matsui e Singh, 2003). Seus grãos são fontes de proteínas, aminoácidos, tiamina, niacina e fibras (Frota et al., 2008; Carvalho et al., 2012; Singh, 2007; Teófilo et al., 2008).

Os rendimentos do feijão-caupi no Maranhão ainda são baixos (~500 kg ha⁻¹) (Conab, 2022). Entre os fatores responsáveis pela sua baixa produtividade, destaca-se a baixa disponibilidade de nutrientes no solo, principalmente do N, e o baixo nível tecnológico dos agricultores familiares (Martins et al., 2003; Leite et al., 2007; Xavier et al., 2007). Outros fatores são estresses bióticos causados por pragas, doenças, ervas daninhas e nematoides, e estresses abióticos como alta temperatura e seca (Huynh et al., 2018; Silva et al., 2012).

2.2 Molibdênio

O Mo é micronutriente exigido em pequena quantidade para o crescimento e desenvolvimento das plantas. No entanto, sua deficiência é tão prejudicial quanto à falta de um macronutriente (Taiz e Zeiger, 2009). O Mo influencia o metabolismo do N por ser componente das enzimas nitrogenase e nitrato redutase (Kaiser et al., 2005; Rubio e Ludden, 2008). A deficiência do Mo na planta produz sintomas semelhantes aos causados pela deficiência de N nas leguminosas, como o amarelecimento de folhas mais velhas ou intermediárias (Marschner, 1995).

A nitrogenase atua na fixação biológica de N atmosférico pelos rizóbios com consequente fornecimento de amônia para as plantas, e a nitrato redutase na redução do nitrato (N-NO₃) a nitrito (N-NO₂) na planta (Kerbaudy, 2012; Schwarz et al., 2009; Kaiser et al., 2005). Além dessas enzimas, nos sistemas biológicos, o Mo é constituinte das enzimas sulfito oxidase (EC 1.8.3.1), xantina desidrogenase (CE 1.17.1.4) e aldeído oxidase (CE 1.2.3.1) (Mendel e Hansch, 2002).

O pH do solo e os óxidos de Al e Fe influenciam a disponibilidade de Mo para as plantas (Tisdale et al., 1993). A disponibilidade de Mo no solo aumenta com o aumento do pH e diminui com o aumento dos óxidos de Fe e Al (Lindsay, 1972). Em solo com deficiência de Mo, o Mo pode ser fornecido às plantas de quatro formas: via solo (Bassan et al., 2001), via pulverização na folhagem (Berger et al., 1996; Ascoli et al., 2008; Araújo et al., 2009; Vieira et al., 2010; Vieira et al., 2016), via tratamento de sementes (Lutts et al., 2016; Majda et al., 2019) ou pelo uso no plantio de sementes enriquecidas com Mo (Vieira et al., 2005, 2011; 2014; Barbosa et al., 2021)

O fornecimento do Mo via solo pode ser ineficiente, devido à imobilização do Mo pela matéria orgânica, óxidos de Fe e de Al do solo. O mesmo pode ocorrer com fornecimento de Mo via tratamento de sementes, por expor o Mo ao solo e, possivelmente, prejudicar o rizóbio, caso o agricultor faça a inoculação, mas tem a vantagem de usar dose menor que a usada na adubação via solo (Jacob-Neto e Rosseto, 1998; Dechen e Nachtigall, 2007). A adubação com Mo via solo necessita de quantidades dez vezes maiores para obter resultados semelhantes à aplicação via foliar (Jacob-Neto e Rosseto, 1998; Albino e Campos, 2001).

O fornecimento via foliar é o mais utilizado pelos agricultores. Essa forma de aplicação permite a absorção do Mo pela folhagem e elimina problemas de adsorção do Mo por componentes do solo, como ocorre em outros métodos (Jacob-Neto e Rosseto, 1998; Vidor e Peres, 1988).

Em estudo realizado por Vieira et al. (2005) na Zona da Mata de Minas Gerais, a aplicação de até 4000 g ha⁻¹ de Mo não foi tóxica ao feijoeiro (Vieira et al., 2010). Berger et al. (1996) verificaram que o Mo aplicado via foliar na dose de 78 g ha⁻¹ aumentou a produtividade em 163%, quando comparado com o controle que não recebeu Mo e sem N em cobertura. Sapucay et al. (2016) relataram que é possível alcançar produtividades de grãos do feijoeiro de 3000 kg ha⁻¹ com adubação molíbdica foliar e sem adubação nitrogenada em cobertura. Com essa estratégia, é possível incrementar a produtividade de grãos e reduzir a quantidade aplicada de adubo nitrogenado.

A adubação foliar com Mo dos feijoeiros-comum aumenta o CMoS colhidas dessas plantas. Ademais, como o Mo é necessário às plantas em baixas concentrações. Por isso é possível fornecer o Mo para as plantas originadas de sementes grandes, como as de feijão-comum, feijão-caupi e soja. Na Zona da Mata de Minas Gerais, Vieira et al. (2011) verificaram que o conteúdo de $3,639 \pm 0,751 \mu\text{g semente}^{-1}$ de Mo é suficiente para complementar o Mo absorvido do solo pelos feijoeiros. Esses autores relataram que com esses CMoS o feijoeiro não responde mais a aplicação de Mo na folhagem.

2.3 Sementes enriquecidas com Mo

O uso do Mo por agricultores brasileiros ainda é muito baixo devido à falta de acesso a essa tecnologia e/ou à indisponibilidade do Mo no comércio. De acordo com Vieira et al. (2015), uma possível solução para esse problema é o uso de sementes enriquecidas com Mo. Essa tecnologia é de baixo custo e uma forma prática de se disponibilizar Mo para as plantas (Vieira et al., 2005, 2015; Pacheco et al., 2012).

Para se produzir sementes enriquecidas com Mo, as plantas são pulverizadas com solução de Mo nas fases vegetativas (Vieira et al., 2005) e reprodutivas, geralmente mais de uma vez nesta última fase (Campo et al., 2009, Vieira et al., 2010, Vieira et al., 2015, Prado et al., 2023). Jacob-Neto e Franco (1988) e Kubota et al. (2008) sugerem que a melhor época de aplicação do Mo para enriquecimento das sementes é entre R6 (floração) e R8 (enchimento de grãos). No feijão, foram testados de dois a três parcelamentos entre as fases R5 e R8 (Vieira et al., 2010; 2015; 2016). Na Zona da Mata de Minas Gerais, a dose total de Mo aplicada foi aproximadamente 600 g ha^{-1} . Essa dose é mais alta que as recomendadas (70 a 100 g ha^{-1}) para prevenir ou corrigir deficiência de Mo no solo nessa região (Berger et al., 1996).

De acordo com Jacob-Neto e Franco (1986) e Vieira et al. (2010), o nível crítico de Mo nas sementes foi $3,6 \mu\text{g de Mo semente}^{-1}$, quantidade suficiente para as plantas de feijão se desenvolverem sem necessidade de pulverização com Mo na Zona da Mata de Minas Gerais (Vieira et al., 2011b). Nessa região de Minas Gerais, a dose de 70 - 100 g ha^{-1} aplicadas aproximadamente aos 25 DAE é a mais utilizada (Amane et al., 1999; Berger et al., 1996; Pessoa et al., 2001), quando o objetivo é corrigir a deficiência do Mo no solo. Em estudo realizado por Vieira et al. (2005) em Minas Gerais, a aplicação de $1,440 \text{ g ha}^{-1}$ de Mo não foi tóxica para a planta, e as sementes continham até 13 vezes mais Mo que o controle que não recebeu Mo. A dose de 4000 g ha^{-1} de Mo aumentou o CMoS de $0,007$ para $6,961 \mu\text{g de Mo semente}^{-1}$ (Vieira et al., 2010). No Maranhão, o uso de sementes de feijão-caupi com alto CMoS

(1,987 $\mu\text{g semente}^{-1}$) aumentou a produtividade de 42% a 70%, em relação às sementes com baixo CMoS (0,014 $\mu\text{g semente}^{-1}$) (Barbosa et al., 2021).

O uso de sementes ricas em Mo pelos agricultores pode proporcionar aumento de produtividade de grãos, maior resistência das plantas a estresses bióticos e abióticos e reduzir a necessidade de N pela cultura (Barbosa et al., 2021). Experimentos com sementes de feijão enriquecidas com Mo foram realizados por Vieira et al. (2005), Vieira et al. (2011), Pacheco et al. (2012), Vieira et al. (2014), Vieira et al. (2015). Esses autores demonstram que é possível enriquecer sementes com Mo com baixo custo de produção, o que pode ser útil para os agricultores maranhenses.

2.4 Qualidade fisiológica das sementes

A alta qualidade dos lotes de sementes são de grande importância para garantir uma germinação uniforme e um estande adequado de plantas. Para avaliar a qualidade fisiológica das sementes alguns testes são empregados (Dutra e Teófilo, 2007; Mendonça et al., 2003). O teste de germinação é conduzido sob condições favoráveis de umidade, temperatura, luz e substrato, para permitir a expressão máxima da capacidade das sementes de produzirem plântulas normais (Carvalho e Nakagawa, 2000; Dutra e Teófilo, 2007). De acordo com as Regras de Análise de Sementes (RAS) (Brasil, 2009), considera-se germinada toda a semente que, pelo desenvolvimento das estruturas essenciais de seu embrião, mostre capacidade para gerar planta normal, em condições ambientais favoráveis.

O teste de germinação é um indicativo do potencial da qualidade fisiológica de sementes, mas não garante que o lote de sementes terá o mesmo desempenho no campo, pois os resultados podem não corresponder aos resultados obtidos no teste de germinação no laboratório (Marcos-Filho, 1999). Esse autor relatou que, quando as condições de ambiente se desviam da ideal, a avaliação do vigor é necessária para estimar o potencial de desempenho das sementes e complementar as informações do teste de germinação. Daí a importância em determinar velocidade de germinação, potencial para emergência rápida e uniforme das plântulas, capacidade de resistência a estresses ambientais e outras (Marcos-Filho, 2015). Sementes mais vigorosas podem apresentar melhor desempenho no campo e maior produtividade (Marcos-Filho, 2015). Os testes de envelhecimento acelerado, comprimento de raízes e plântulas, velocidade de emergência das plântulas, tetrazólio e condutividade elétrica são comuns em avaliações do vigor das sementes de leguminosas, como do das sementes de soja e feijão (Krzyzanowski et al., 2008).

A aplicação de 200 g ha⁻¹ de Mo ou doses mais altas na fase R8 (enchimento de vagens) podem reduzir a qualidade das sementes do feijoeiro, porém sementes com alto conteúdo de Mo pode retardar a germinação sem prejudicar sua qualidade fisiológica. (Leite et al., 2009; Vieira et al., 2015, 2016). Sementes de feijão-comum com conteúdo de Mo de 3,1 e 2,2 µg semente⁻¹, apresentaram máxima qualidade fisiológica das sementes em relação à qualidade fisiológica das sementes oriundas de feijoeiros que não receberam aplicação de Mo (Meireles et al., 2003; Leite et al., 2009).

Segundo Vieira et al. (2016), a dose de 500 g ha⁻¹ de Mo parcelada em duas aplicações na fase reprodutiva elevou em 16% o CMoS em relação a uma única pulverização na fase reprodutiva do feijoeiro, sem afetar a qualidade fisiológica da semente colhida. No entanto, no feijão-caupi há indícios que a dose de 400 g ha⁻¹ de Mo (Barbosa, et al., 2021) aplicada na fase de enchimento de vagens pode reduzir a qualidade fisiológica da semente. Ademais, Vieira et al. (2015) também relataram que a dose entre 200 e 300 g ha⁻¹ de Mo aplicada na fase R8 pode prejudicar a qualidade da semente de feijão-comum.

3 HIPÓTESES

A aplicação foliar de Mo, com doses relativamente altas na fase de enchimento de grãos do feijão-caupi, aumenta o conteúdo de Mo na semente, mas pode prejudicar a qualidade fisiológica das sementes colhidas.

4 OBJETIVO GERAL

Avaliar os efeitos de doses de Mo aplicadas na folhagem na fase de enchimento de grãos do feijão-caupi na produtividade de grãos, no conteúdo de Mo da semente e na qualidade fisiológica das sementes colhidas.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Localização dos ensaios, clima e características do solo

Foram conduzidos três ensaios de campo no Maranhão: um no município de Guimarães (2° 7' S de latitude e 44° 36' O de longitude, altitude de 41 metros), no Quilombo Damázio, e dois em São Luís (2° 30' S de latitude e 44° 18' O de longitude, altitude de 24 m). Em Guimarães, as sementes de feijão-caupi foram semeadas em 5 de junho de 2021; e em São Luís, em 27 de maio de 2021 e 8 de junho de 2022. O clima da região, na classificação de Köppen, é do tipo AW', equatorial quente e úmido, 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. As precipitações acumuladas em São Luís foram 2536 mm (2021) e 2452 mm (2022), e em Guimarães foram 2013 mm (2021), das quais mais de 80% ocorreram de janeiro a maio (Figura 1). A temperatura média durante a condução dos ensaios foram 29,4 °C (São Luís - 2021), 28,1 °C (Guimarães - 2021) e 29,2 °C (São Luís - 2022) (Figura 1).

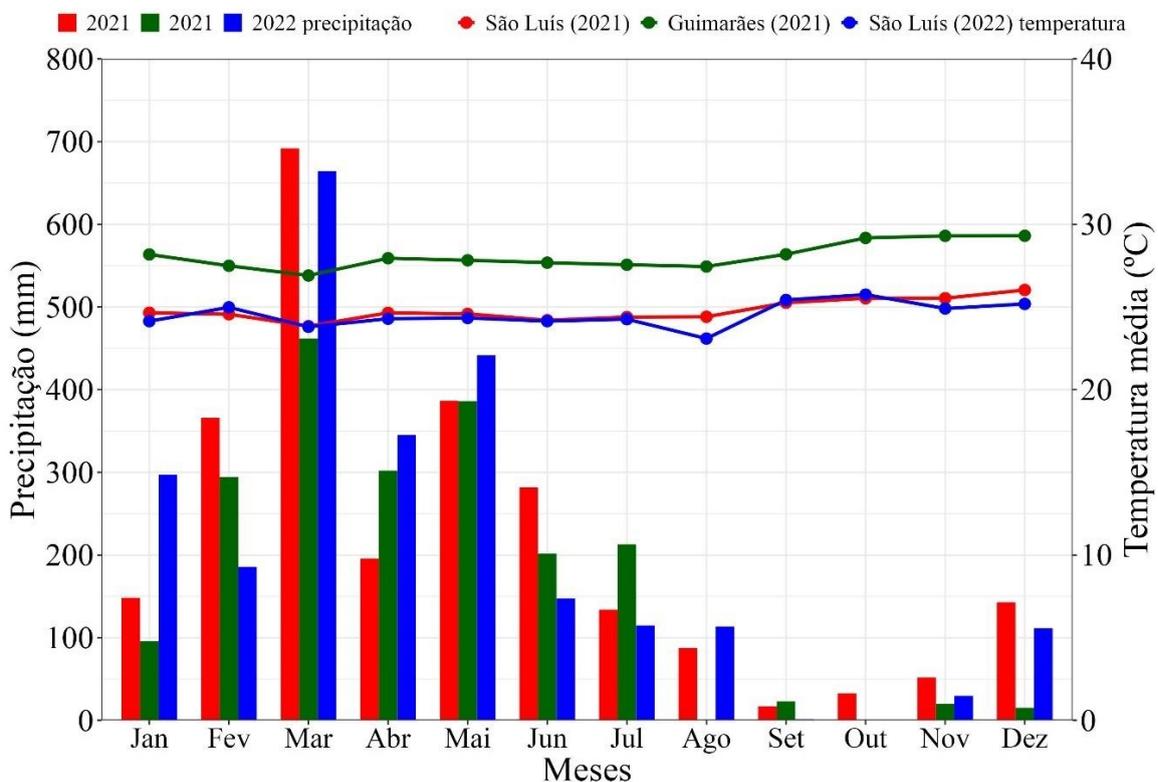


Figura 1. Precipitação mensal e temperatura média durante a execução dos ensaios em São Luís (2021 e 2022) e Guimarães (2021). Fonte: Rede do INMET (ensaios de São Luís, MA) e Agência Nacional das Águas (ensaio de Guimarães, MA).

Os solos das áreas experimentais são classificados como Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico arênico com textura fraco arenosa (Embrapa, 2013). As características químicas e físicas desses solos foram determinadas pela análise de amostras das camadas de 0 a 20 cm de profundidade, conforme método descrito por Rajj et al. (2001). Essas características, avaliadas antes da instalação dos ensaios, estão na Tabela 1.

Tabela 1. Características físico-químicas do solo, na camada de 0-20 cm, avaliadas antes da instalação dos ensaios em São Luís/MA (2021 e 2022) e Guimarães/MA (2021).

Características do Solo	2021		2022
	São Luís	Guimarães	São Luís
pH ^a (CaCl ₂)	4,5	3,5	4,0
P ^b (mg/dm ³)	2,0	4,0	3,7
K ^b (mmol _c /dm ³)	0,5	0,5	0,9
Ca ^b (mmol _c /dm ³)	14,0	1,0	2,0
Mg ^b (mmol _c /dm ³)	9,0	4,0	5,0
H + Al ^b (mmol _c /dm ³)	21,0	30	29
CTC ^c (mmol _c /dm ³)	44,5	35,5	36,9
Areia Grossa (g/kg)	410	100	230
Areia Fina (g/kg)	450	550	570
Silte (g/kg)	40	270	140
Argila (g/kg)	100	80	60

^aMedido em 0,01 M CaCl₂ usando a razão solo/solução de 1:2,5 (v/v).

^bDe acordo com van Raij et al. (2001).

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

5.2 Ensaios para produção de sementes enriquecidas em molibdênio

Os ensaios constaram de seis tratamentos de Mo, este na forma de molibdato de sódio (Na₂MoO₄.2H₂O) e aplicado via foliar. A dose de 450 g ha⁻¹ foi parcelada três vezes (Tabela 2). As aplicações de Mo na folhagem foram realizadas nas fases vegetativas e reprodutivas do feijão-caupi: V6 (fase vegetativa), quando o sétimo nó do ramo principal apresentavam folíolos completamente abertos e, geralmente, quando a primeira folha do ramo secundário apresentava folíolos completamente abertos; R1 (pré-floração), quando surgiram os primórdios florais, e R4 (enchimento de vagens), quando teve início o enchimento dos grãos. No ensaio de 2021, em Guimarães, a primeira aplicação de Mo foi realizada aos 29 dias após a emergência (DAE) (fase V6), a segunda aplicação aos 41 DAE (fase R1) e a terceira aplicação aos 48 DAE (fase R4).

Em São Luís (2021), a primeira aplicação de Mo foi realizada aos 34 DAE (V6), a segunda aplicação aos 41 DAE (R1) e a terceira aplicação aos 48 DAE (R4). No ensaio de 2022, em São Luís, a primeira aplicação de Mo foi realizada aos 30 DAE (V6), a segunda aplicação aos 44 DAE (R1) e a terceira aplicação aos 49 DAE (R4). A descrição dos tratamentos envolvendo Mo e dos cinco contrastes ortogonais testados estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Descrição dos tratamentos com Mo (g ha^{-1}) e os contrastes ortogonais testados nos ensaios em São Luís/MA (2021 e 2022) e Guimarães/MA (2021).

Tratamentos	Época de aplicação do Mo ^a		
	V6	R1	R4
1	-	-	-
2	50	-	-
3	50	-	400
4	50	200	200
5	50	300	100
6	50	400	-

Contrastes ortogonais (C)

C1=T1 vs T2,T3,T4,T5,T6. Testar o efeito da aplicação foliar do Mo.

C2=T2 vs T3,T4,T5,T6. Testar o efeito do Mo aplicado na fase V6 em dose recomendada para corrigir deficiência do solo vs alta dose de Mo (400 g ha^{-1}) usada para enriquecer as sementes.

C3=T3,T4 vs T5,T6. Testar o efeito da alta dose de Mo (200 e 400 g ha^{-1}) aplicada na fase R4 vs baixa (ou ausência) dose de Mo (100 g ha^{-1}) aplicada na fase R4.

C4=T3 vs T4. Testar o efeito de 400 g ha^{-1} de Mo aplicada na fase R4 vs dose de 200 g ha^{-1} de Mo aplicada na fase R4.

C5=T5 vs T6. Testar o efeito da ausência de Mo aplicado na fase R4 vs 100 g ha^{-1} de Mo aplicada na fase R4.

^aV6 = folhastrifoliolada no ramo secundário (29 – 34 DAE), R1 = primeiro botão floral (41 – 44 DAE), R4 = enchimento de vagens (48 – 49 DAE).

Os ensaios foram conduzidos no delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições. As parcelas experimentais constaram de cinco fileiras de 5 m de comprimento, espaçadas de 0,6 m. Foram semeadas 12 sementes por metro de sulco. As duas fileiras externas e 0,5 m das extremidades das fileiras internas serviram de bordadura. Logo, a área útil constou das três fileiras centrais ($7,2 \text{ m}^2$).

5.3 Instalação e condução dos ensaios

Antes do plantio, a vegetação espontânea foi eliminada com roçadeira manual. A palhada ficou sobre o solo, e o solo não recebeu nenhum preparo para a semeadura, conforme fazem os agricultores da região.

No experimento de São Luís (2021), foi aplicado o Bioneem (312,5 mL ha⁻¹) aos 40 DAE juntamente com o espalhante adesivo (Nonifenol etoxilado - 12,5 g ha⁻¹) para facilitar a aderência do bioinseticida à folhagem. Foi utilizado o volume de calda de 250 L ha⁻¹. O produto Bioneem utilizado para o controle do pulgão (*Aphis craccivora*) apresenta 90% de óleo de neem (*Azadirachta indica*), 5% de sinergista e 5% de emulsionante. As plantas daninhas foram controladas com capinas manuais, antes de comprometer a tomada de dados.

Foi utilizada a cultivar de feijão-caupi BRS Guariba, e não foi utilizado inoculante à base de rizóbio. Na adubação de plantio foi aplicado 500 kg ha⁻¹ do formulado 4-14-8 (N-P₂O₅-K₂O) no sulco de plantio. Foi instalado o sistema de irrigação por gotejamento como irrigação suplementar. As fitas de gotejamento foram colocadas próximas às fileiras de feijão-caupi. O espaço entre os emissores foi de 0,2 m e a taxa de aplicação de água foi de 11 mm h⁻¹. A irrigação foi aplicada duas vezes ao dia, às 8 horas e às 17 horas. Nas áreas experimentais foram instalados sistemas de irrigação por gotejamento com irrigações de aproximadamente 40 mm quando a precipitação foi baixa ou ausente. O Mo foi aplicado por meio de pulverizador costal equipado com bico XR 110-02, com volume de calda de 250 L ha⁻¹. Durante as aplicações, as parcelas vizinhas foram protegidas com lona plástica para evitar a deriva da pulverização realizada na parcela. Não foi realizada adubação de cobertura com ureia.

5.4 Características avaliadas

Nos três ensaios foram avaliadas as seguintes características:

a) Número e massa de nódulos (apenas no tratamento sem Mo): aos 41 DAE (ensaios em São Luís, 2021 e em Guimarães, 2021) e aos 44 DAE (ensaio em São Luís, 2022) foram coletadas quatro plantas da área útil da parcela. As raízes foram separadas da parte aérea, e os nódulos foram destacados e contados. Em seguida, os nódulos foram secos em estufa a 70°C, até atingirem massa constante. Os resultados foram expressos em nódulos planta⁻¹ e massa dos nódulos secos (mg planta⁻¹).

b) Produtividade de grãos: foi estimada com os grãos colhidos de todas as plantas das três fileiras da área útil. A produtividade de grãos foi padronizada para 130 g kg⁻¹ de água.

c) Conteúdo de Mo na semente: as sementes colhidas foram secas em estufa a 70°C com circulação forçada de ar até massa constante. Após a pesagem, as sementes secas foram moídas em moinho tipo Wiley. Amostras de 0,5 g de sementes secas foram submetidas à digestão nitroperclórica. Em seguida, foram determinados nas sementes secas o teor de Mo na semente por espectrometria de emissão óptica com plasma de argônio induzido (ICP-OES, modelo 9820, Shimadzu, Kyoto, Japão), conforme metodologia descrita em Vieira et al. (2014). Os conteúdos de Mo das sementes ($\mu\text{g semente}^{-1}$) foram obtidos pela multiplicação dos teores de Mo da semente ($\mu\text{g g}^{-1}$) pela massa de uma semente seca (g).

Após a colheita as sementes foram armazenadas em câmara fria com temperatura de 13 °C a 83% de umidade relativa do ar. A germinação e o vigor foram avaliados aos 97 dias após a colheita. Após esse período, as sementes estavam com teor de água médio de $10\% \pm 0,5$ (n=24). A qualidade fisiológica das sementes foi avaliada no ensaio de 2022, conduzido em São Luís. Nesse ensaio foram avaliadas as seguintes variáveis:

d) Germinação: Foi realizado com 50 sementes por parcela. Foram utilizadas três folhas de papel germitest por subamostra, previamente umedecidas com água em volume equivalente a 2,5 vezes a massa do papel seco. Duas folhas serviram como base, sobre a qual as sementes foram distribuídas. A outra folha serviu para cobrir as sementes. As folhas foram enroladas, embaladas em saco plástico e colocadas em câmara de germinação tipo B.O.D, previamente regulada a 25°C. As avaliações foram realizadas no quinto e oitavo dia após a instalação do teste com a contagem do número de plântulas normais e anormais. Os resultados de germinação foram expressos em porcentagem de plântulas normais (Brasil, 2009).

e) Massa das plântulas (parte aérea e raiz) seca: as partes das plântulas normais (parte aérea e raiz) obtidas no teste de germinação (item d) foram secas em estufa com circulação de ar forçada, a 70°C durante 24 horas (Nakagawa, 1999). Os dados foram expressos em mg/plântula.

f) Envelhecimento acelerado: 50 sementes foram distribuídas sobre tela de alumínio suspensa no interior de caixa plástica “gerbox” (11x11x3 cm). Foram adicionados 40 ml de água destilada a cada caixa. Em seguida, as caixas foram fechadas e transferidas para a câmara tipo B.O.D a 42°C durante 48 horas. Após esse período de exposição, as sementes foram colocadas para germinar conforme descrito no teste de germinação (item d). A avaliação foi realizada no quinto dia após a montagem do teste e os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas normais (Dutra e Teófilo, 2007).

g) Condutividade elétrica: Foram utilizadas 50 sementes (íntegras) por parcela. As sementes foram pesadas, colocadas em copos plásticos com 75 mL de água destilada e mantidas em temperatura constante de 25°C por 24 horas. Após esse período, foi realizada a leitura da condutividade elétrica da solução, com auxílio de condutivímetro digital Microprocessado Quimis. Antes de proceder à leitura, as amostras foram cuidadosamente agitadas para homogeneizar a solução. Os resultados foram expressos em $\mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$ de semente.

5.5 Análises estatísticas

Os dados de produtividade e CMoS obtidos nos três ensaios, e os dados de qualidade fisiológica da semente (germinação, condutividade elétrica, envelhecimento acelerado e massa das plântulas secas) obtidos de um ensaio foram submetidos aos modelos lineares mistos com a função *lmer* no pacote *lme4* (Bates et al., 2015). Para todas as variáveis, os efeitos fixos foram os tratamentos com Mo. Para as variáveis produtividade e CMoS, os efeitos aleatórios foram ensaios e blocos aninhados com ensaios. Para as variáveis referentes à qualidade fisiológica da semente, os efeitos aleatórios foram os blocos. O valor de *P* dos efeitos fixos foram obtidos no pacote *lmerTest* (Kuznetsova et al., 2017). Avaliamos graficamente as suposições do modelo ajustado plotando os resíduos em relação aos valores ajustados da variável dependente. Quando o efeito dos tratamentos foi significativo ($P \leq 0,05$) para uma particular variável, as somas de quadrado dos tratamentos foram particionadas em cinco contrastes ortogonais, com a função *emmeans* e contrastes no pacote *emmeans* (Lenth, 2021). Todas as análises foram feitas no R versão 4.1.2 (R Core Team 2023). Todos os dados foram apresentados com média \pm erro padrão da média.

6 RESULTADOS

Os grãos foram colhidos aos 69 DAE em São Luís (2021), aos 70 DAE em Guimarães (2021) e aos 74 DAE em São Luís (2022). A produtividade média (n=24) foi de $634 \text{ kg ha}^{-1} \pm 118$ (ensaio em São Luís, 2021), $670 \text{ kg ha}^{-1} \pm 127$ (ensaio em Guimarães, 2021) e $950 \text{ kg ha}^{-1} \pm 115$ (ensaio em São Luís, 2022). Os nódulos planta⁻¹ e a massa dos nódulos secos (mg planta⁻¹), respectivamente, foram $4,6 \pm 0,7$ e $20,0 \pm 5,2$ (ensaio em São Luís, 2021); $5,4 \pm 1,0$ e $31,1 \pm 6,7$ (ensaio em Guimarães, 2021) e $5,9 \pm 1,2$ e $46,5 \pm 5,6$ (ensaio em São Luís, 2022).

O efeito dos tratamentos envolvendo Mo foi altamente significativo para a produtividade e muito altamente significativo para CMoS, significativo para a germinação da semente, altamente significativo para a condutividade elétrica, muito altamente significativo para a massa da plântula seca (Tabela 3). Os tratamentos envolvendo Mo não influenciaram significativamente a germinação que se seguiu ao envelhecimento acelerado (Tabela 3).

Tabela 3. Valores de *F* e *P* para o efeito fixo do modelo linear misto ajustado de três ensaios para a produtividade de grãos e conteúdo de Mo da semente, e de um ensaio para a germinação da semente, condutividade elétrica, envelhecimento acelerado e massa da plântula seca de feijão-caupi. numDF and denDF = graus de liberdade do numerador e denominador. Maranhão, Brasil.

Variáveis (y)	numDF	denDF	F	P
Produtividade de grãos	5	64	4,37	0,002
Conteúdo de Mo da semente	5	64	51,98	<0,001
Efeito fixo: $y \sim$ tratamentos com Mo; efeitos aleatórios: $\sim 1 \text{ensaio} + 1 \text{ensaio:bloco}$.				
Germinação da semente	5	18	3,55	0,021
Condutividade elétrica	5	15	5,59	0,004
Envelhecimento acelerado	5	10,13	1,97	0,169
Massa das plântulas secas	5	18	9,42	<0,001
Efeito fixo: $y = \sim$ tratamentos com Mo; efeito aleatório: $\sim 1 \text{bloco}$.				

O CMoS variou de 0,910 µg por semente (tratamento 1) a 11,210 µg por semente (tratamento 6) (Figura 2). O Mo aplicado na folhagem aumentou 8,5 vezes o CMoS em relação ao tratamento sem aplicação de Mo (contraste T1 vs T2-6; $P < 0,001$). A dose de Mo de 450 g ha⁻¹ (quatro tratamentos) usada para enriquecer as sementes aumentou o CMoS em 3,2 vezes em relação a dose de 50 g ha⁻¹ de Mo aplicada em V6 (contraste T2 vs T3-6; $P < 0,001$). A dose de 100 g ha⁻¹ de Mo aplicada na fase R4 e a ausência de Mo aplicada na fase R4 (além do Mo aplicado em V6 e R1) aumentou 1,2 vezes o CMoS em relação às doses de Mo de 200 e 400 g

ha⁻¹ de aplicadas na fase R4 (contraste T3-4 vs T5-6; $P=0,004$). Com a maior parte do Mo aplicado em R1 (400 g ha⁻¹), o CMoS foi 16% mais alto em relação ao CMoS obtido com a dose de 300 g ha⁻¹ aplicada em R1 (contraste T5 vs T6; $P=0,001$). O contraste T3 vs. T4 não foi significativo em relação ao CMoS

A germinação das sementes ficou acima de 80% em todos os tratamentos (Figura 2). A aplicação de altas doses de Mo em R4 (400 ou 200 g ha⁻¹) aumentou em 4,0 pontos percentuais a germinação das sementes comparativamente às sementes originadas de plantas que receberam pouco ou nenhum Mo em R4 (contraste T3-4 vs T5-6; $P=0,020$). A aplicação da maior parte do Mo (400 g ha⁻¹) em R4 aumentou em 5,5 pontos percentuais a germinação das sementes em relação à aplicação de metade de 400 g ha⁻¹ em R1 e metade em R4 (contraste T3 vs T4; $P=0,023$). Os contrastes T1 vs T2-6, T2 vs T3-6 e T5 vs T6 não foram significativos em relação à germinação da semente.

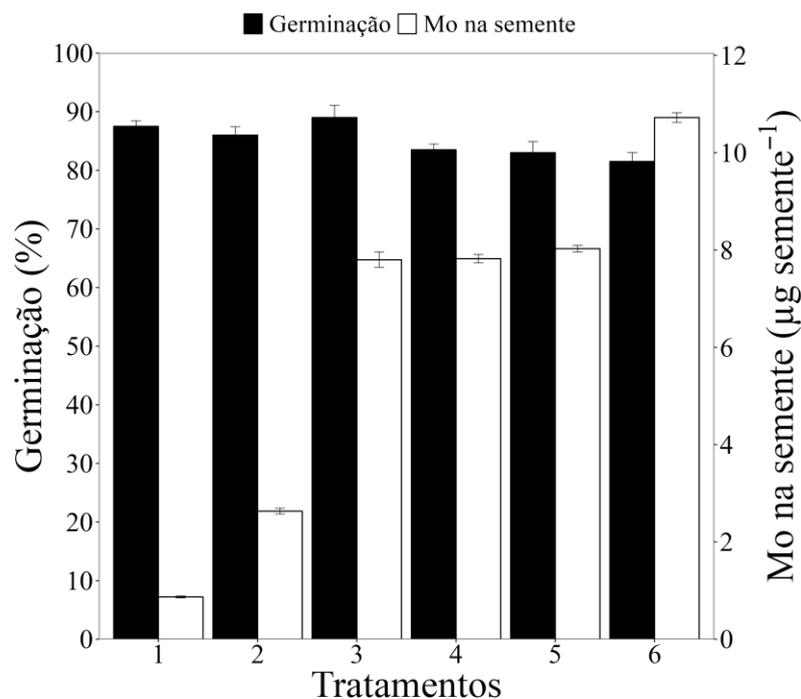


Figura 2. Efeito dos tratamentos envolvendo Mo no conteúdo de Mo na semente ($n=12$, três ensaios) e germinação das sementes ($n=4$, um ensaio). A barra de erro denota o erro padrão da média.

1 = Sem Mo;

2 = 50 g ha⁻¹ de Mo na fase V6;

3 = 50 g ha⁻¹ de Mo na fase V6 +

400 g ha⁻¹ de Mo na fase R4;

4 = 50 g ha⁻¹ de Mo na fase V6 + 200 g ha⁻¹ de Mo na fase R1 + 200 g ha⁻¹ de Mo na fase R4;

5 = 50 g ha⁻¹ de Mo na fase V6 + 300 g ha⁻¹ de Mo na fase R1 + 100 g ha⁻¹ de Mo na fase R4;

6 = 50 g ha⁻¹ de Mo na fase V6 + 400 g ha⁻¹ de Mo na fase R1.

O contraste T1 vs T2-6 foi muito altamente significativo para a produtividade e altamente significativo para a massa da plântula seca (Tabela 4). O Mo aplicado na folhagem aumentou a produtividade em 21% e reduziu a massa da plântula seca em 8,6%, em relação ao tratamento sem aplicação de Mo. Os tratamentos não influenciaram significativamente a condutividade elétrica.

O contraste T2 vs T3-6 foi altamente significativo para a condutividade elétrica e massa da plântula seca (Tabela 4). As doses de 450 g ha⁻¹ (T3 a T6) aumentaram a condutividade elétrica em 8,9%, e reduziu a massa da plântula seca em 10,4% em relação à dose de 50 g ha⁻¹ de Mo aplicada em V6. As altas doses de Mo (450 g ha⁻¹) não influenciaram a produtividade em comparação com a dose de 50 g ha⁻¹.

O contraste T3-T4 vs T5-T6 foi não significativo para a produtividade e foi altamente significativo para a condutividade elétrica (Tabela 4). A ausência ou a baixa dose de Mo (100 g ha⁻¹) aplicada na fase R4 (tratamentos T5 e T6) aumentou a condutividade elétrica em 12%, o que indica pior qualidade fisiológica dessas sementes em relação às sementes colhidas de plantas que receberam as doses de 200 e 400 g ha⁻¹ de Mo aplicadas em R4 (tratamentos T3 e T4). A dose de Mo aplicada em R4 não influenciou significativamente a massa da plântula seca.

O contraste T3 vs T4 foi altamente significativo para a massa da plântula seca (Tabela 4). As sementes colhidas de plantas que receberam 200 g ha⁻¹ de Mo em R1 + 200 g ha⁻¹ em R4 originaram plântulas com massa 17% maior que as sementes colhidas de plantas adubadas com 400 g ha⁻¹ de Mo aplicada na fase R4. A diferença entre as médias dos tratamentos envolvidos nesse contraste não foi significativa em relação a produtividade e a condutividade elétrica.

O contraste T5 vs T6 foi altamente significativo para a massa da plântula seca (Tabela 4). Com a aplicação da maior parte do Mo (400 g ha⁻¹) em R1, a massa da plântula seca aumentou 13% em relação à massa verificada com as sementes colhidas das plantas adubadas com as doses de 300 g ha⁻¹ aplicados em R1 + 100 g ha⁻¹ aplicados em R4. A diferença entre as médias dos tratamentos envolvidos nesse contraste não foi significativa em relação a produtividade e a condutividade elétrica.

Tabela 4. Médias (\pm erro padrão da média) de produtividade ($n = 12$, três ensaios), condutividade elétrica (CE) e massa da plântula seca (MPS) ($n=4$, um ensaio) de feijão-caupi, e valores de P dos contrastes ortogonais em resposta aos tratamentos, Maranhão, Brasil.

Tratamento	Produtividade (kg/ha)	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}/\text{g}$)	MPS (mg/plântula)
1. Sem Mo	641 \pm 154	97 \pm 2,2	128 \pm 3,3
2. 50 g/ha (V6)	816 \pm 236	91 \pm 9,3	125 \pm 4,1
3. 50(V6)+ 400(R4)	722 \pm 163	95 \pm 8,6	108 \pm 9,7
4. 50(V6)+200(R1)+200(R4)	749 \pm 183	103 \pm 7,4	126 \pm 6,8
5. 50(V6)+300(R1)+100(R4)	810 \pm 195	112 \pm 8,9	106 \pm 5,8
6. 50(V6)+400(R1)	773 \pm 142	109 \pm 3,3	120 \pm 5,7
Valor de P dos contrastes ortogonais obtido do modelo linear misto ajustado.			
1 vs 2-6	<0,001	0,169	0,006
2 vs 3-6	0,136	0,003	0,009
3-4 vs 5-6	0,076	0,005	0,235
3 vs 4	0,544	0,163	0,001
5 vs 6	0,414	0,605	0,005

7 DISCUSSÃO

O aumento de 21% na produtividade em razão da aplicação de Mo confirma que os solos da região de São Luís e Guimarães são deficientes em Mo. O fato de os solos serem arenosos e com baixo pH já indicava que as plantas não seriam supridas adequadamente com Mo. Esses resultados suportam os resultados obtidos no estudo de Barbosa et al. 2021, no qual o aumento de produtividade com a aplicação de Mo chegou a 70%.

Com base nos resultados de estudos conduzidos no Norte/Nordeste do Brasil (Gualter et al., 2011; Farias et al., 2016), pode-se considerar que o feijão-caupi, no presente estudo, produziu relativamente poucos nódulos (de 4,6 a 5,9), porém mais nódulos que os obtidos no estudo de Barbosa et al. (2021), que foi de $1,5 \pm 0,6$ nódulos por planta. Uma das razões dessa baixa nodulação foi o não uso de inoculante, ou seja, a nodulação dependeu exclusivamente dos rizóbios nativos do solo.

Nossa hipótese foi que o Mo aplicado na fase de enchimento de grãos (R4), com dose relativamente alta (400 g ha^{-1}), aumenta o CMoS de feijão-caupi em relação à aplicação de parte ou do total dessa dose na fase R1. Também testamos a hipótese de que aplicação de Mo concentrada em R4 (200 ou 400 g ha^{-1}) pode prejudicar a qualidade fisiológica das sementes colhidas. Os resultados do presente estudo não corroboram nossa hipótese de que alta dose de Mo (400 g ha^{-1}) aplicada em R4 aumenta o CMoS, pois o mais alto CMoS foi obtido com a aplicação de 400 g ha^{-1} de Mo em R1. Ademais, nossos resultados indicam que três parcelamentos da aplicação da dose total de Mo (450 g ha^{-1}) não permitiram maior CMoS que

dois parcelamentos, contrariando resultados obtidos com feijão-comum (Vieira et al. 2005; Prado et al., 2023). A diferença de clima (Maranhão vs. Minas Gerais) e de espécies (caupi tem maturação mais desuniforme) podem ter influenciado esses resultados. Ademais, diferentemente do esperado, as plantas que receberam a maior parte do Mo em R4 apresentaram a maior média de germinação, o que também vai de encontro aos resultados obtidos com a cultura de feijão-comum (Vieira et al., 2005) e de feijão-caupi (Barbosa et al. 2021). Apenas dois testes de vigor (condutividade elétrica e massa de planta seca) indicaram efeito significativo dos tratamentos sobre o vigor das sementes, mas com resultados inconsistentes dos dois testes considerando-se os contrastes que envolviam parcelamentos da dose total de Mo (450 g ha^{-1}). No entanto, como os testes de germinação e vigor foram realizados com sementes de apenas um dos ensaios, estudos adicionais são necessários para obter resultados em diferentes condições edafoclimáticas, o que poderia permitir uma avaliação mais precisa do efeito dos tratamentos sobre a qualidade fisiológica das sementes.

Nossos resultados com base nos estudos com sementes colhidas de apenas um ensaio foram consistentes nos dois testes de vigor (Tabela 4), quando se compararam sementes provenientes de plantas não adubadas com Mo ou adubadas com 50 g ha^{-1} com sementes originadas de plantas que receberam 450 g ha^{-1} de Mo. As sementes não adubadas com Mo ou adubadas com 50 g ha^{-1} apresentaram mais vigor que as adubadas com 450 g ha^{-1} de Mo. Esses resultados são diferentes dos obtidos com o feijão-comum (Prado et al., 2023). Logo, a diferença de clima e espécies parecem ter influência maior nos resultados do que anteriormente se imaginada.

O CMoS obtido com a dose de 450 g ha^{-1} de Mo (4 tratamentos) foi $8 \mu\text{g}$ por semente, ou um pouco mais com a aplicação de 400 kg ha^{-1} em R1, independentemente da quantidade de Mo aplicada em cada fase de desenvolvimento da cultura. Esses resultados parecem indicar que a dose necessária de Mo para enriquecer as sementes de feijão-caupi com Mo é bem inferior a 450 g ha^{-1} , tomando por base os resultados de Vieira et al. (2011) com feijão-comum na Zona da Mata de Minas Gerais, que indicam que $3,6 \mu\text{g}$ por semente de feijão-comum é suficiente para a planta complementar a necessidade de Mo em solo deficiente em Mo. Provavelmente para o Maranhão o nível crítico acima do qual as plantas não respondem mais à aplicação de Mo na folhagem deve ser inferior a $3,6 \mu\text{g}$ por semente, pois as produtividades de feijão-comum alcançadas em Minas Gerais variaram entre 2000 e 3000 kg ha^{-1} (Vieira et al., 2005; 2011; 2016), enquanto no Maranhão as produtividades ficam em torno de 1000 kg ha^{-1} , como observado no presente estudo e no estudo de Barbosa et al. (2021).

8 CONCLUSÃO

Nossos resultados indicam que a aplicação da maior parte do Mo na fase R4 do feijão-caupi (400 dos 450 g ha⁻¹ de Mo) não causam aumento do CMoS em relação a parcelamentos nas fases R1 e R4. Na verdade, nossos resultados indicam que a maior parte do Mo deve ser aplicada em R1 para se maximizar o CMoS. Os resultados do presente estudo também indicam que não há vantagem de se fazer três parcelamentos da dose total de Mo em relação a dois parcelamentos.

9 REFERÊNCIAS

- AGUIAR, A. C. F.; BICUDO, S. J.; COSTA SOBRINHO, J. R. S.; MARTINS, A. L. S.; COELHO, K. P.; MOURA, E. G. Nutrient recycling and physical indicators of an alley cropping system in a sandy loam soil in the Pré-Amazon region of Brazil. **Nutrient Cycling Agroecosystems**, v. 86, p. 189-198. 2010.
- ALBINO, U. B.; CAMPOS, R. J. Efeitos de fontes e doses de molibdênio na sobrevivência de Bradyrhizobium e na fixação biológica de nitrogênio em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 36, n. 3, p. 527-534. 2001.
- ALMEIDA, F. F. D.; ARAÚJO, A. P.; ALVES, B. J. R. Seeds with high molybdenum concentration improved growth and nitrogen acquisition of rhizobium-inoculated and nitrogen-fertilized common bean plants. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 2, p. 367-378. 2013.
- AMANE, M. I. V.; VIEIRA, C.; NOVAIS, R. F.; ARAUJO, G. A. A. Adubação nitrogenada e molíbdica da cultura do feijão na Zona da Mata de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 643-650. 1999.
- ARAÚJO, P. R. A.; ARAÚJO, G. A. A.; ROCHA, R. R.; CARNEIRO, J. E. S. Combinações de doses de molibdênio e nitrogênio na adubação da cultura do feijoeiro comum. **Acta Scientiarum. Agronomy** Maringá, v. 31, n. 2, p. 227-234. 2009.
- ASCOLI, A. A.; SORATTO, R. P.; MARUYAMA, W. I. Aplicação foliar de molibdênio, produtividade e qualidade fisiológica de sementes de feijoeiro irrigado. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 2, p. 377-384. 2008.
- 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*. 1–10. 2021.
- BASSAN, D. A. Z.; ARF, O.; BUZETTI, S.; CARVALHO, M. A. C.; SANTOS, N. C. B.; SÁ, M. E. Inoculação de sementes e aplicação de nitrogênio e molibdênio na cultura do feijão de inverno: produção e qualidade fisiológica de sementes. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 23, n. 1, p. 76-83. 2001.
- BATES, D.; MÄCHLER, M.; BOLKER, B.; WALKER, S. Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67(1), 1–48. 2015.
- BERGER, P. G.; VIEIRA, C.; ARAÚJO, G. A. A. Efeitos de doses e épocas de aplicação do molibdênio sobre a cultura do feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 31, p. 473-490. 1996.
- BERTINI, C. H. C. M.; ALMEIDA, W. S.; SILVA, A. P. M.; LIMA, J. W. S.; TEÓFILO, E. M. Análise multivariada e índice de seleção na identificação de genótipos superiores de feijão-caupi. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 32, n. 4, p. 613-619, 2010.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília, DF, 399 p. 2009.

BRITO, M. M. P.; MURAOKA, T.; SILVA, E. C. Marcha de absorção do nitrogênio do solo, do fertilizante e da fixação simbiótica em feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) WALP.) e feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) determinada com uso de ^{15}N . **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 895-905. 2009.

CAMPO, R. J.; ARAUJO, R. S.; HUNGRIA, M. Molybdenum-enriched soybean seeds enhance N accumulation, seed yield, and seed protein content in Brazil. **Field Crops Research**, v. 110, n.3, p. 219-224. 2009.

CARVALHO, N. M. DE; NAKAGAWA, J. Sementes: Ciência, tecnologia e produção. 4ª ed. Jaboticabal, Funep. p. 588. 2000.

CARVALHO, A. F. U.; SOUSA, N. M.; FARIAS, D. F.; ROCHA-BEZERRA, L. C. B.; SILVA, R. M. P.; VIANA, M. P.; GOUVEIA, S. T.; SAMPAIO, S. S.; SOUSA, M. B.; GLAUBER, P. G. L.; MORAIS, S. M.; BARROS, C. C.; FREIRE FILHO, F. R. Nutritional ranking of 30 Brazilian genotypes of cowpeas including determination of antioxidant capacity and vitamins. **Journal of Food Composition and Analysis** 26, 81–88. 2012.

CONAB. **Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos – Safra 2021/2022 - Terceiro levantamento**, Brasília. 2022.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Elementos requeridos à nutrição de plantas. In: NOVAIS et al. (Eds.) **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 91-132. 2007.

DUTRA, A. S.; TEOFILO, E. M. Envelhecimento acelerado para avaliar o vigor de sementes de feijão caupi. **Revista Brasileira de Sementes**. v. 29, n.1, p.193-197. 2007.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro. 412. 2013.

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*, 38, 387–395. 2016.

FROTA, K. M. G.; MENDONÇA, S.; SALDIVA, P. H. N.; CRUZ, R. J.; ARÊAS, J. A. G. Cholesterol-lowering properties of whole cowpea seed and its protein isolate in hamsters. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 73, n. 9, p. 235-240. 2008.

GUALTER, R. M., BODDEY, R. M., RUMJANEK, N. G., FREITAS, A. C. R., & XAVIER, G. R. Agronomic efficiency of rhizobia strains in cowpea cultivated in the Pre-Amazon region, in Maranhão state. (In Portuguese, with English abstract.) *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 46, 303–308. 2011.

HUYNH, B. L.; EHLERS, J. D.; HUANG, B.E.; MUÑOZ-AMATRIÁIN, M. LONARDI, S.; SANTOS, J. R. P.; NDEVE, A.; BATIENO, B. J.; BOUKAR, O.; CISSE, N.; DRABO, I.; FATOKUN, C.; KUSI, F.; AGYARE, R. Y.; GUO, Y. N.; HERNITER, I.; LO, S.;

- WANAMAKER, S. I.; XU, S.; CLOSE, T. J.; ROBERTS, P. A. A multi-parent advanced generation inter-cross (MAGIC) population for genetic analysis and improvement of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.). **The Plant Journal**, v. 93, p. 1129–1142, 2018.
- JACOB-NETO, J.; ROSSETO, C. A.V. Concentração de nutrientes nas sementes: o papel do molibdênio. **Floresta e ambiente**. Seropédica, RJ, v. 5, n. 1, p. 171-183, jan/dez. 1998.
- JACOB-NETO, J.; FRANCO, A. A. Conteúdo de molibdenio nas sementes para autosuficiência do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) In: SEMINARIO BIENAL DE PESQUISA DA UFRRJ, 4, 1988, Seropédica, RJ, [Resumos] Seropédica, RJ, UFRRJ, Departamento de Pesquisa e Pós-graduação. p.133, 1988.
- JACOB-NETO, J.; FRANCO, A.A. Adubação de molibdênio em feijoeiro. EMBRAPA-CNPAB (Centro Nacional de Pesquisa de Agrobiologia). Comunicado Técnico nº. 12, 4p. Seropédica, julho. 1986.
- 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**, Oxford, v. 96, p.745-754. 2005.
- KERBAUY, G. B. **Fisiologia Vegetal**. 2 ed. Rio de Janeiro- RJ: Guanabara Koogan, 431 p. 2012.
- KRZYZANOWSKI, F. C.; FRANÇA NETO, J. B.; HENNING, A. A.; COSTA, N. P. O controle de qualidade agregando valor à semente de soja – série sementes. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. **Circular Técnica**, Londrina, PR, p. 12. 2008
- KUBOTA, F. Y.; ANDRADE-NETO, A. C.; ARAÚJO, A. P.; TEIXEIRA, M. G.; Crescimento e acumulação de nitrogênio de plantas de feijoeiro originadas de sementes com alto teor de molibdênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, p. 1635-1641, mai. 2008.
- KUZNETSOVA, A., BROCKHOFF, P. B.; CHRISTENSEN, R. H. B. (2017). lmerTest Package: Tests in Linear Mixed Effects Models. *Journal of Statistical Software*, 82(13). 2017.
- LEITE, L. F. C.; ARAÚJO, A. S. F.; COSTA, C. N.; RIBEIRO, A. M. B.. Nodulação e produtividade de grãos do feijão-caupi em resposta ao molibdênio. **Revista Ciência Agrônômica**, v.40, p.492-497, 2009.
- LEITE, U. T.; ARAÚJO, G. A. A.; MIRANDA, G. V.; VIEIRA, R. F.; PIRES, A. A. Influência do conteúdo de molibdênio na qualidade fisiológica da semente de feijão: cultivares Novo Jalo e Meia Noite. **Ceres**, Viçosa, MG, v. 56, n. 2, p. 225-231. 2009.
- 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.

- LINDSAY, W. L. Inorganic phase equilibria of micronutrients in soils. In: ORTVEDT, J.J.; GIORDANO, P.M.; LINDSAY, W. L. (ed). **Micronutrients in agriculture**, Madison, p. 41-78. 1972.
- LUTTS, S.; BENINCASA, P.; WOJTYLA, L.; KUBALA, S.; PACE, R.; LECHOWSKA, K.; QUINET, M.; GARNCZARSKA, M. Seed Priming: New Comprehensive Approaches for an Old Empirical Technique. 2016.
- MAJDA, C.; KHALID, D.; AZIZ, A.; RACHID, B.; BADR, A.; LOTFI, A.; MOHAMED, B. Nutri-priming as an efficient means to improve the agronomic performance of molybdenum in common bean (*Phaseolus vulgaris L.*). **Science of the Total Environment**, v. 661, p. 654-663. 2019.
- MARCOS-FILHO, J. Vigor e desempenho de sementes. In: MARCOS-FILHO, J (2 Ed) Fisiologia de sementes de plantas cultivadas. Londrina, PR, p. 563-613. 2015.
- MARCOS-FILHO, J. Teste de envelhecimento acelerado In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; NETO, A. B. F. (Ed). Vigor de sementes: conceitos e testes. Londrina, PR, p. 3.1-3.21. 1999.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2 ed. New York, Academic Press, 889p. 1995.
- MARTINS, L. M. V.; XAVIER, G. R.; RANGEL, F. W.; RIBEIRO, J. R. A.; NEVES, M. C. P.; MORGADO, L. B.; RUMJANEK, N. G. Contribution of biological nitrogen fixation to cowpea: a strategy for improving grain yield in the Semi-Arid Region of Brazil. **Biology and Fertility of Soils**, v. 38, n. 6, p. 333-339. 2003.
- MARTINÉZ, E. L.; BARRACHINA, A. C.; CARBONELL, F. B.; POZO, M. A.; GARCIA, M. A.; BENEYTO, J. M. Molybdenum uptake, distribution and accumulation in bean plants. **Fresenius Environmental Bulletin**, v. 5, p. 73-78. 1996.
- MATSUI, T.; SINGH, B. B. Root characteristics in cowpea related to drought tolerance at the seedling stage. **Experimental Agriculture**, v.39, p.29-38. 2003.
- MENDEL, R. R. Cell biology of molybdenum in plants. **Plant Cell Reports**, v. 30, n.10, p.1787-1797. 2011.
- MENDEL, R. R.; BITTNER, F. Biologia celular do molibdênio. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Molecular Cell Research*, 1763 (7), 621-635. 2006.
- MEIRELES, R. C.; REIS, L. S.; ARAÚJO, E. F.; SOARES, A. S.; PIRES, A. A.; ARAÚJO, G. A. A. Efeito da época e do parcelamento de molibdênio, via foliar, na qualidade fisiológica das sementes de feijão. **Ceres**, Viçosa, MG, v. 50, n. 292, p. 699-707, ago. 2003.
- MENDONÇA, E. A. F.; RAMOS, N. P.; FESSEL, S. A. Adequação da metodologia do teste de deterioração controlada para sementes de brócolis (*Brassica oleracea L.* - var. Itálica). **Revista Brasileira de Sementes**, 25:18-24. 2003.

- NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados no desempenho de plântulas. In: KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. (Ed.). Vigor de sementes: conceitos e testes. Londrina: **Abrates**, cap.2, p.1-24. 1999.
- 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 Research**, v. 136, p. 97-106. 2012.
- PESSOA, A. C. S.; RIBEIRO, A. C.; CHAGAS, J. M.; CASSINI, S. T. A. Atividades de nitrogenase e redutase de nitrato e produtividade do feijoeiro “Ouro Negro” em resposta à adubação foliar com molibdênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 217-224. 2001.
- PRADO, A. L.; ARAUJO, E. 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*, 115, 987–996. 2023.
- RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas Instituto Agrônômico, p. 285. 2001.
- REDDY, K. J, MUNN, L. C, WANG, L. **Chemistry and mineralogy of molybdenum in soils**. In: Gupta UC, ed. Molybdenum in agriculture. Cambridge: Cambridge University Press. 1997.
- R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.Rproject.org/2023>.
- SANTOS, J. A. S.; TEODORO, P. E.; CORREA, A. M.; SOARES, C. M. G.; RIBEIRO, L. P.; ABREU, H. K. A. Desempenho agrônômico e divergência genética entre genótipos de feijão-caupi cultivados no ecótono Cerrado/Pantanal. **Bragantia**, Campinas, v. 73, p.377-382, 2014.
- SCHWARZ, G.; MENDEL, R. R.; RIBBE, M. W. Molybdenum cofactors, enzymes and pathways. **Nature**, v. 13; p. 460 (7257): 839-47. 2009.
- SILVA, H. A. P. da; GALISA, P. de S.; OLIVEIRA, R. S. da S.; VIDAL, M. S.; SIMÕES-ARAÚJO, J. L. Expressão gênica induzida por estresses abióticos em nódulos de feijão-caupi. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.47, n.6, p.797-807. 2012.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4.ed. Porto Alegre: Artmed, 848p. 2009.
- TEÓFILO, E. M.; DUTRA, A. S.; PITIMBEIRA, J. B.; DIAS, F. T. C.; BARBOSA, F. DE S. Potencial fisiológicos de sementes de feijão caupi produzidas em duas regiões do estado do Ceará. **Revista Ciência Agrônômica**, v.39, p.443- 448. 2008.
- TISDALE, S. M.; NELSON, W. L.; BEATON, J. D.; HAVLIN, J. L. **Soil fertility and fertilizers**. 5.ed. New York, Macmillan Publishing Company, 634 p. 1993.

RUBIO, L. M.; LUDDEN, P. W. Biosynthesis of the iron-molybdenum cofactor of nitrogenase. Annu. **Revista de Microbiologia**. v. 62, p. 93-111. 2008.

SAPUCAY, M. J. L. C.; VIEIRA, R. F.; CARNEIRO, J. E. S.; JÚNIOR, T. J. P.; LIMA, M. S.; VIEIRA, R. F.; VIDIGAL, S. M. Is it possible to attain high-yielding common bean using molybdenum fertilizer instead of side-dressed nitrogen? **Journal of Plant Nutrition**, v. 39, n. 11, p. 1644-1653. 2016.

VIDOR, C.; PERES, J. R. Nutrição de plantas com molibdênio e cobalto. In: SIMPÓSIO SOBRE ENXOFRE E MICRONUTRIENTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA. 1988. Londrina, PR [Anais] Londrina, PR, EMBRAPA/IAPAR/CBCS, p. 179-203, 1988.

VIEIRA, R. F.; LIMA, R. C.; PRADO, A. L.; PAULA JÚNIOR, T. J.; SOARES, B. A. Split application of molybdic fertilizer at the reproductive stage of common bean increases the molybdenum content in seed. **Acta Scientiarum**. Aronomy, Maringá, PR v. 38, n. 4, p. 529-533, 2016.

VIEIRA, R.F.; PAULA JÚNIOR, T.J. DE; PRADO, A.L. DO; ARAÚJO, R.F.; LEHNER, M. DA 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, n.4, p.415-419, 2015.

VIEIRA, R.F.; PAULA JÚNIOR, T.J. DE; CARNEIRO, J.E. DE 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.; FERREIRA, A. C. B.; PRADO, A. L. Aplicação foliar de molibdênio em feijoeiro: conteúdo do nutriente na semente e desempenho das plantas originadas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 2, p. 163-169. 2011a.

VIEIRA, R. F.; PAULA JUNIOR, T. J.; PIRES, A. A.; CARNEIRO, J. E. C.; ROCHA, G. S. Common bean seed complements molybdenum utake by plants from soil. *Agronomy Journal*, Madison, v. 103, n. 6, p. 1843-848, abr/jun. 2011b.

VIEIRA, R. F.; SALGADO, L. T.; PIRES, A. A.; ROCHA, G. S. Conteúdo de molibdênio das sementes de feijoeiro em resposta a doses do micronutriente pulverizado sobre as plantas. **Ciência Rural**, v. 40, p. 666-669. 2010.

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.

XAVIER, T. F.; ARAÚJO, A. S. F; SANTOS, V. B.; CAMPOS, F. L. Ontogenia da nodulação em duas cultivares de feijão-caupi. **Ciência Rural**, v. 37, n. 02, p. 572-575. 2007.