

**CONTEÚDOS DE MOLIBDÊNIO NA SEMENTE E DOSES DE  
FÓSFORO SOBRE O CRESCIMENTO, TEORES NUTRICIONAIS E  
QUALIDADE FISIOLÓGICA DE FEIJÃO-CAUPI**

**ASSISTONE COSTA DE JESUS**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY  
RIBEIRO**

**CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ  
FEVEREIRO – 2022**

CONTEÚDOS DE MOLIBDÊNIO NA SEMENTE E DOSES DE  
FÓSFORO SOBRE O CRESCIMENTO, TEORES NUTRICIONAIS E  
QUALIDADE FISIOLÓGICA DE FEIJÃO-CAUPI

**ASSISTONE COSTA DE JESUS**

“Tese apresentada ao Centro de Ciências e  
Tecnologias Agropecuárias da Universidade  
Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro,  
como parte das exigências para obtenção do  
título de Doutor em Produção Vegetal”

Orientadora: Prof<sup>fa</sup>. Dr.<sup>a</sup> Marta Simone Mendonça Freitas

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ  
FEVEREIRO – 2022

### FICHA CATALOGRÁFICA

UENF - Bibliotecas

Elaborada com os dados fornecidos pelo autor.

J58

Jesus, Assistone Costa de.

CONTEÚDOS DE MOLIBDÊNIO NA SEMENTE E DOSES DE FÓSFORO SOBRE O CRESCIMENTO, TEORES NUTRICIONAIS E QUALIDADE FISIOLÓGICA DE FEIJÃO-CAUPI / Assistone Costa de Jesus. - Campos dos Goytacazes, RJ, 2022.

118 f. : il.

Inclui bibliografia.

Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, 2022.

Orientadora: Marta Simone Mendonça Freitas.

1. Teores nutricionais, . 2. *Vigna unguiculata*. 3. Produtividade. 4. Armazenamento. 5. Vigor. I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. II. Título.

CDD - 630

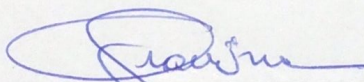
CONTEÚDOS DE MOLIBDÊNIO NA SEMENTE E DOSES DE  
FÓSFORO SOBRE O CRESCIMENTO, TEORES NUTRICIONAIS E  
QUALIDADE FISIOLÓGICA DE FEIJÃO-CAUPI

**ASSISTONE COSTA DE JESUS**

“Tese apresentada ao Centro de Ciências e  
Tecnologias Agropecuárias da Universidade  
Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro,  
como parte das exigências para obtenção do  
Título de Doutor em Produção Vegetal”

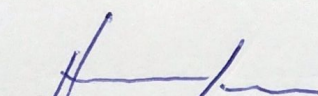
Aprovada em 24 de fevereiro de 2022

Comissão Examinadora



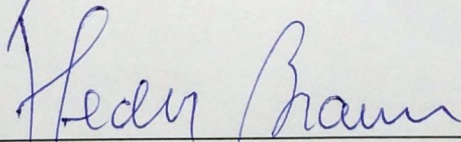
---

Prof. Geraldo de Amaral Gravina (D. Sc., em Fitotecnia) UENF



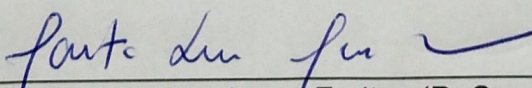
---

Prof. Henrique Duarte Vieira (D. Sc., Produção Vegetal) UENF



---

Prof. Heder Braun (D. Sc., Fitotecnia) UEMA



---

Prof.ª Marta Simone Mendonça Freitas (D. Sc., Produção Vegetal) UENF  
Orientadora

DEDICO! A Deus primeiramente. À minha família que são meu bem maior, meus pais por todo amor, carinho, atenção e ensinamentos transmitidos até os dias de hoje e aos meus irmãos pelo incentivo.

Por isso não temas, porque estou contigo; não te assustes, porque sou o teu Deus; Eu te fortaleço, ajudo e sustento com a mão direita da minha justiça.

**Isaías 41:10**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pela presença constante em minha jornada neste mundo de desafios, onde nele tive minhas vitórias e Ele se fez majestoso em minha vida a cada manhã renovando minha fé, força, esperança e sendo o meu socorro mais presente na angústia. Para sempre sejais louvado!

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES – Brasil – código de financiamento 001 pela concessão da bolsa de estudos.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro – FAPERJ, pela concessão de recursos de projetos aprovados.

Ao programa de Pós-graduação em Produção Vegetal da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro pela oportunidade de realização do curso.

À minha família, por acreditar e investir em mim, principalmente minha mãe, Maria Socorro da Costa por seu imenso carinho, bondade, afeto, ternura, amor, por sempre me incentivar e motivar a seguir em frente. Ao meu pai querido Assis Moreira Jesus que sempre me apoiou e incentivou dando força, ajudando sempre, pela dedicação, e ao meu segundo pai Antônio Sineton de Souza que sempre acompanhou de perto essa trajetória aconselhando e dando força para continuar primando sempre pela minha educação, meu muito obrigado, amo vocês. Aos meus queridos irmãos Maria Delnya, Maria Velma, José Raimundo e Antônio Elder pelo apoio, incentivo e por terem feito momentos difíceis mais felizes, pela companhia e

irmandade. Aos meus tios queridos Maria de Jesus Ribeiro Martins e Laurenço Rabelo Soares, por sempre fazerem parte da minha caminhada.

Muito obrigado a professora Marta Simone Mendonça Freitas, pela orientação, pelo estímulo à pesquisa, por toda paciência, pelos valiosos ensinamentos passados, pela amizade, seriedade, respeito, compreensão e acolhimento nesse percurso que foi o doutorado e pelas ótimas tardes de café com bolo.

Muito obrigado ao Sr. José Accácio pela convivência, por dividir toda sua experiência de trabalho. Por toda a ajuda nas análises laboratoriais tudo que aprendi foi graças ao senhor, serei eternamente grato.

A todo corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, em especial aos professores Geraldo de Amaral Gravina e Henrique Duarte Vieira, pela amizade que se estabeleceu, pelo apoio, pelo incentivo e pelas orientações desde o início dessa tese, sou muito grato!

Ao meu coorientador Heder Braun, pela amizade, pelos ensinamentos, pelo apoio de sempre, me acompanhou desde a graduação, mestrado e se faz presente mais uma vez nessa jornada que foi o doutorado, obrigado!

À Thays Corrêa Costa por todo amor, ajuda, suporte, incentivo, encorajamento e paciência que me deu durante as fases mais difíceis desse doutorado, você foi e continua sendo essencial, serei eternamente grato!

Aos meus grandes amigos do Setor de Nutrição Mineral de Plantas aqueles que tive o prazer de conhecer quando cheguei (Thaísa Capato, Jéssica Cunha, Luciana Pereira, Diesily Andrade, Ygor Gonçalves), e os que percorreram essa jornada mais tempo comigo Diego Peçanha e Marlene Vieira, obrigado pelos momentos de descontração, todos vocês foram essenciais nessa caminhada. Em especial ao meu IC Joseph Pereira por toda a ajuda e disponibilidade.

Aos amigos que chegaram depois no laboratório (Detony Petri, Liliane Machado, Alex Carmo, Luan Santos e Julia Vimercatti) pela amizade que se estabeleceu e pela boa convivência.

À Raudielle Ferreira dos Santos por dividir esses três anos de moradia, pela ajuda, pelas risadas, pela distração, pelo apoio e incentivo serei eternamente grato.

Ao meu amigo Rafael Ribeiro, pela convivência, pelo apoio, incentivo e pela ajuda de sempre.



À minha amiga Liliane Nunes, amizade desde a graduação e que me recebeu em Campos de braços abertos, obrigado por partilhar essa jornada comigo e principalmente pelo apoio e incentivo, você foi fundamental minha amiga.

A todos os amigos que fiz na pós-graduação e em Campos dos Goytacazes: Jorge Peniche, Rômulo Beltrame, Deyse Malcher, Kelly Ramos, Rodolpho Artur, Márcio Junior, Júlio Feres, Jéssica Martins, Rozane Franci, Joamenson Antunes, Raymyson Queiroz, Chiara Sanches, Marcelo Moura, Rafael Nunes, Derivaldo Cruz, Amanda Justino, Otalício Damásio, Gabriella Gonçalves, Leandro Heitor, Gessane, Abreu.

E todas as pessoas que de forma direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho, deixo o meu sincero reconhecimento.

## SUMÁRIO

<b>RESUMO .....</b>	<b>ix</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xi</b>
<b>1.INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>4</b>
<b>2.1 Objetivo Geral.....</b>	<b>4</b>
<b>2.2 Objetivos específicos .....</b>	<b>4</b>
<b>3. REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>5</b>
<b>3.1 Considerações gerais e referencial histórico do feijão-caupi.....</b>	<b>5</b>
<b>3.2 Aspectos culturais e produtivos do feijão-caupi.....</b>	<b>6</b>
<b>3.3. Importância Econômica e Social do feijão-caupi .....</b>	<b>9</b>
<b>3.4 Sementes enriquecidas com molibdênio .....</b>	<b>11</b>
<b>3.5. Adubação Fosfatada .....</b>	<b>13</b>
<b>3.6. Qualidade fisiológica das sementes.....</b>	<b>16</b>
<b>4.TRABALHOS.....</b>	<b>18</b>
<b>APLICAÇÃO FOLIAR DE MOLIBDÊNIO E DOSES DE FÓSFORO EM FEIJÃO-CAUPI: PRODUTIVIDADE E CONTEÚDO DE MOLIBDÊNIO NA SEMENTE. ...</b>	<b>18</b>
<b>SEMENTES ENRIQUECIDAS COM MOLIBDÊNIO ASSOCIADAS A DOSES DE FÓSFORO AUMENTAM A PRODUTIVIDADE DE FEIJÃO-CAUPI NO NORTE FLUMINENSE.....</b>	<b>41</b>
<b>ALTOS CONTEÚDOS DE MOLIBDÊNIO NA SEMENTE NÃO AFETAM A QUALIDADE FISIOLÓGICA DE FEIJÃO-CAUPI .....</b>	<b>65</b>
<b>5. RESUMO E CONCLUSÕES.....</b>	<b>87</b>

<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>90</b>
--	-----------

## RESUMO

JESUS, Assistone Costa de. D.Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; fevereiro de 2022. Conteúdos de molibdênio na semente e doses de fósforo sobre o crescimento, teores nutricionais e qualidade fisiológica de feijão-caupi. Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Marta Simone Mendonça Freitas.

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), também conhecido como feijão-fradinho, feijão-macassar ou feijão-de-corda, é uma espécie de ampla distribuição mundial, sendo uma cultura versátil que serve como alimento para humanos, além de nutrir o solo e outras culturas por ser fixadora de N<sub>2</sub>. Além disso, é uma das principais espécies de importância socioeconômica no Brasil, pois é uma cultura com relevância para a segurança alimentar e nutricional, sendo a principal fonte de proteína para as famílias de baixa renda da região Norte e Nordeste. O trabalho foi conduzido em três experimentos. O primeiro experimento o objetivo foi enriquecer sementes de feijão-caupi cultivar BRS Itaim, através da aplicação foliar de Mo e doses de P no plantio. O experimento foi conduzido em casa de vegetação em Campos dos Goytacazes, em esquema fatorial 4 x 4: doses de Mo (0, 100, 250 e 500 g ha<sup>-1</sup>) e doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0, 50, 100 e 150 kg ha<sup>-1</sup>), em delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições. Ao final da maturação foram avaliados comprimento de vagens, massa de vagem, número de grãos por vagem, massa de 100 grãos, produção de grãos, teor e conteúdo de molibdênio na semente. A dose de 500 g ha<sup>-1</sup> de Mo foi 20,69 e 16,4 vezes maior para teor e conteúdo de Mo, respectivamente, em relação à dose 0 g/ha de Mo. Todos os componentes de produção foram incrementados com o aumento das doses de fósforo. O teor e

conteúdo de Mo foi maior na ausência da aplicação de fósforo. O segundo experimento objetivou-se avaliar o efeito dos conteúdos de Mo na semente e doses de P sobre a produtividade e teores nutricionais do feijão-caupi. O experimento foi conduzido em casa de vegetação no esquema fatorial 4 x 4: quatro conteúdos de molibdênio na semente (0,44; 1,89; 3,89 e 7,22  $\mu\text{g semente}^{-1}$ ) e quatro doses de  $\text{P}_2\text{O}_5$  (0, 50, 100 e 150  $\text{kg ha}^{-1}$ ) aplicado no vaso. O delineamento utilizado foi em blocos casualizados, com quatro repetições. Foram avaliados: número de nódulos (NN), comprimento de vagens (CV), massa seca de vagem (MSV) número de grãos por vagem (NGV), número de vagens por planta (NV), massa de 100 grãos (M100G). Para os componentes de produção (CV), (MSV), (NGV), (NV) e (M100S) apenas o fósforo na dose de 150  $\text{kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  teve efeito significativo ( $p < 0,05$ ) linear crescente de 59, 33, 67, 50 e 70%, respectivamente, em relação à dose 0  $\text{kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ . O teor de nitrogênio (N) no grão foi influenciado pela interação entre os conteúdos de molibdênio e as doses de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , e o potássio (K), níquel (Ni) e Manganês (Mn) apenas pelo fósforo. Elevadas doses de  $\text{P}_2\text{O}_5$  combinados com alto teor de Mo na semente aumentaram em 170% e 29%, respectivamente, a nodulação do feijão-caupi. Para o conteúdo de molibdênio a maior produtividade de grãos foi aproximadamente de 1.480  $\text{kg ha}^{-1}$  e para o P a maior produtividade de grãos foi aproximadamente de  $\cong 2.506 \text{ kg/ha}$  na dose de 150  $\text{kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ . No terceiro experimento objetivou-se avaliar a qualidade fisiológica de sementes submetidas a testes de germinação, emergência, condutividade elétrica e grau de umidade sob influência dos conteúdos de molibdênio na semente em feijão-caupi cultivar BRS Guariba. Os experimentos foram conduzidos no laboratório de sementes e em casa de vegetação, no esquema fatorial 4 x 5: quatro conteúdos de molibdênio na semente 3,51; 4,54, 5,29 e 7,02  $\mu\text{g semente}^{-1}$  e cinco tempos (0, 3, 6, 9 e 12) meses o delineamento utilizado foi em blocos casualizados com 4 repetições. Sementes com alto conteúdo de Mo, oriundas de plantas pulverizadas com altas doses de molibdênio, não afetam a qualidade fisiológica de sementes em longos períodos de armazenamento. As avaliações de % de germinação, % de emergência e condutividade elétrica foram eficientes em distinguir, que sementes enriquecidas com molibdênio apresentaram alto poder germinativo em longos períodos de armazenamento estando dentro dos padrões para comercialização.

## ABSTRACT

JESUS, Assistone Costa de; D.Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; February, 2022; Seed molybdenum content and phosphorus doses on growth, nutritional contents and physiological quality of cowpea; Advisor: D.Sc. Marta Simone Mendonça Freitas.

Cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), also known as cowpea, macassar or cowpea, is a species of wide distribution worldwide, being a versatile crop that serves as food for humans, animals and nourishes the soil and other crops by being a N<sub>2</sub> fixer. In addition, it is one of the main species of socioeconomic importance in Brazil, as it is a crop with relevance for food and nutritional security, being the main source of protein for low-income families in the North and Northeast regions. The work was carried out in three moments. At first, the objective was to enrich seeds of cowpea cultivar BRS Itaim, through foliar application of Mo and doses of P at planting. The experiment was carried out in a greenhouse in Campos dos Goytacazes, in a 4 x 4 factorial scheme: Mo doses (0, 100, 250 and 500 g ha<sup>-1</sup>) and P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> doses (0, 50, 100 and 150 kg ha<sup>-1</sup>), in a randomized block design, with four replications. At the end of maturation, pod length, pod weight, number of grains per pod, 100-grain weight, grain yield, content and content of molybdenum in the seed were evaluated. The dose of 500 g ha<sup>-1</sup> of Mo was 20.69 and 16.4 times higher for Mo content and Mo content, respectively. All production components were increased with increasing phosphorus doses. Mo content and content were higher in the absence of phosphorus application. In the second moment, the objective was to evaluate the effect of Mo contents in the seed and P doses on the productivity

and nutritional contents of cowpea. The experiment was carried out in a greenhouse in a 4 x 4 factorial scheme: four molybdenum contents in the seed (0.44; 1.89; 3.89 and 7.22  $\mu\text{g seed}^{-1}$ ) and four doses of  $\text{P}_2\text{O}_5$  (0, 50, 100 and 150  $\text{kg ha}^{-1}$ ) applied to the pot. The design used was in randomized blocks, with four replications. The number of nodules (NN), pod length (CV), pod dry mass (MSV) number of grains per pod (NGV), number of pods per plant (NV), weight of 100 seeds (M100S) were evaluated. For the production components (CV), (MSV), (NGV), (NV) and (M100S) only phosphorus had a significant effect ( $p < 0.05$ ) with a linear effect and an increase of 59, 33, 67, 50 and 70%. The nitrogen (N) content in the grain was influenced by the interaction between the molybdenum contents and the  $\text{P}_2\text{O}_5$  doses, and potassium (K), nickel (Ni) and Manganese (Mn) only by phosphorus. High doses of  $\text{P}_2\text{O}_5$  combined with high Mo content in the seed increased by 170% and 29%, respectively, the nodulation and symbiotic performance of cowpea. The molybdenum content of  $\cong 2.9 \mu\text{g seed}^{-1}$  provided the highest grain yield of  $\cong 1480 \text{ kg ha}^{-1}$  and the dose of 150  $\text{kg ha}^{-1}$  of  $\text{P}_2\text{O}_5$  provided the highest grain yield of  $\cong 2,506 \text{ kg/ha}$ . In the third moment, the objective was to evaluate the physiological quality of seeds submitted to tests of germination, emergence, electrical conductivity and degree of humidity under the influence of the molybdenum contents in the seed of cowpea cultivar BRS Guariba. The experiments were carried out in the seed laboratory and in a greenhouse, in a 4 x 5 factorial scheme: four molybdenum contents in the seed 3.51; 4.54, 5.29 and 7.02  $\mu\text{g seed}^{-1}$  and five times (0, 3, 6, 9 and 12) months, the design used was in randomized blocks with 4 replications. Seeds with high Mo content, from plants sprayed with high doses of molybdenum, do not affect the physiological quality of seeds in long periods of storage. The evaluations of % germination, % emergence and electrical conductivity were efficient in distinguishing that seeds enriched with molybdenum have high germination power in long periods of storage, being within the standards for commercialization.

## 1.INTRODUÇÃO

O feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.], também conhecido como feijão macassar, fradinho e de corda, é uma espécie de ampla distribuição mundial, principalmente nas regiões tropicais, em virtude de estas apresentarem condições edafoclimáticas semelhantes às do seu provável berço de origem: a África (Brito et al., 2009). No Brasil é cultivado por pequenos, médios e grandes produtores principalmente nas regiões Norte e Nordeste. Nessas regiões, o feijão-caupi é uma importante fonte de proteína, de aminoácidos essenciais, de carboidratos, de vitaminas e de minerais, além de possuir elevada quantidade de fibras dietéticas, baixas quantidade de gordura e não conter colesterol (Almeida et al., 2010; Moreira et al., 2017). Sementes e vagens de feijão-caupi contêm aproximadamente 25% de proteína de alta qualidade na forma de aminoácidos, ácido fólico, clorofila, carotenoides, fenólicos e minerais essenciais (Carvalho et al., 2019).

A área global estimada para a produção de feijão-caupi é de aproximadamente 12,5 milhões hectares, com uma produção anual de 7 milhões de toneladas e rendimento médio de 589 kg ha<sup>-1</sup> (Faostat, 2020). No entanto, o rendimento médio global está abaixo do potencial de rendimento do feijão-caupi, estimado em 6.000 kg ha<sup>-1</sup> (Faostat, 2020). No Brasil, a produção total para os três tipos de feijão (comum cores, caupi e comum preto) é estimada em 3,23 milhões de toneladas, é 7% maior que o obtido em 2018/19. Dessa produção, 2.008 mil toneladas são de feijão-comum cores, 712,6 mil toneladas de feijão-caupi e 509,5 mil toneladas de feijão-comum preto em 2020/2021 (Conab, 2021). Nos últimos



anos com o avanço da tecnologia a cultura do feijão-caupi tem se expandido pelo Cerrado, principalmente, no período de safrinha, alcançando elevadas produtividades (Silva et al., 2016; Do Vale et al., 2017).

Apesar das características, inerentes do feijão-caupi, de ser rústico e se desenvolver em áreas com manejo inadequado da adubação são diversos os fatores que podem afetar tanto a produção de massa vegetal das plantas, como a produtividade da cultura e seus constituintes. Nesse sentido, o manejo nutricional correto é imprescindível para alcançar elevadas produtividades, o que gera economia de recursos, maior eficiência técnica e econômica do capital investido (Oliveira et al., 2018). Estudos demonstram cada vez mais que nutrientes como o fósforo (P) e o molibdênio (Mo) tem efeito sinérgico contribuindo para o crescimento das plantas.

A aplicação de fósforo em feijão-caupi proporciona uma resposta positiva no rendimento, matéria seca da parte aérea e número de vagens (Fageria e Baligar, 2016). Outras características observadas como benefício da adição de P são: número, peso e volume dos nódulos, indicando fixação mais efetiva de N<sub>2</sub> e conseqüentemente, comprometimento da atividade fotossintética e no metabolismo do nitrogênio (N) (Liu et al., 2015) e na produtividade de grãos (Costa Leite et al., 2020). A baixa disponibilidade deste elemento no solo afeta negativamente o desenvolvimento do feijão-caupi e, conseqüentemente, a produtividade da cultura (Silva et al., 2019a).

Na literatura, trabalhos demonstraram os efeitos positivos da aplicação de Mo sobre o crescimento, a nodulação, a fixação biológica de N e a produtividade do feijão-comum (Vieira et al., 2005; Leite et al., 2007; Vieira et al., 2011; Sapucay et al., 2016) e do feijão-caupi (Leite et al., 2009) e qualidade fisiológica de sementes em feijão-caupi (Nunes et al., 2017).

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. Além disso, é uma forma prática de baixo custo de se disponibilizar Mo para as plantas. Experimentos com sementes 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) com o feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.). Esses autores demonstraram que é possível enriquecer sementes com Mo e com baixo custo para os agricultores.

Com base no exposto, este trabalho foi dividido em três experimentos. No primeiro o objetivo foi enriquecer sementes de feijão-caupi cultivar BRS Itaim, através da aplicação foliar de Mo e doses de P no plantio. No segundo buscou-se observar o efeito de sementes ricas em Mo na nodulação e produtividade do feijão-caupi submetidas a doses de P. E no terceiro buscou-se avaliar a qualidade fisiológica de sementes cultivar BRS Guariba sob influência dos conteúdos de molibdênio na semente.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo Geral

Avaliar o efeito dos conteúdos de molibdênio na semente e doses de P sobre os índices agronômicos de feijão-caupi no Norte Fluminense.

### 2.2 Objetivos específicos

Avaliar o efeito da aplicação foliar de Mo e doses de P sobre os componentes de produção do feijão-caupi;

Avaliar o efeito da aplicação foliar de Mo e doses de P sobre a produtividade do feijão-caupi;

Quantificar o teor e conteúdo de Mo na semente de feijão-caupi em função da aplicação foliar de Mo;

Verificar o efeito dos conteúdos de Mo e doses de P no desempenho do feijão-caupi em relação à nodulação;

Avaliar o efeito dos conteúdos de Mo e doses de P sobre a produtividade do feijão-caupi;

Avaliar os teores nutricionais nos grãos de feijão-caupi sob influência dos conteúdos de Mo e doses de P;

Avaliar o efeito dos conteúdos de Mo da semente na qualidade fisiológica de sementes.

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 Considerações gerais e referencial histórico do feijão-caupi

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) é uma planta herbácea, autógama e anual, cuja região de origem provavelmente situa-se na parte oeste e central da África (Machado et al., 2007). O hábito de crescimento é geralmente indeterminado, porte de planta ereto, semiereto, semiprostrado ou prostrado (Wang et al., 2017). É uma leguminosa com ampla distribuição mundial, cultivada principalmente nas regiões tropicais e subtropicais. De acordo com a classificação botânica, o feijão-caupi é uma planta Dicotyledonea, da ordem Fabales, família Fabaceae, subfamília Faboideae, tribo Phaseoleae, subtribo Phaseolineae, gênero *Vigna*, subgênero *Vigna*, secção *Catyang*, espécie *Vigna unguiculata* (L.) Walp. e subespécie *unguiculata*, subdividida em quatro cultigrupos *Unguiculata*, *Sesquipedalis*, *Biflora* e *Textilis* (Freire Filho et al., 2011). É uma planta nativa da África, mais precisamente da Nigéria sendo supostamente o centro da diversidade da espécie, no entanto, segundo Padulosi e Ng et al. (1997), sua origem é na África do Sul. Foi introduzida no Brasil na segunda metade do século XVI pelos colonizadores portugueses no estado da Bahia (Freire Filho et al., 2011), constituiu-se na principal cultura de subsistência das regiões Norte e Nordeste do Brasil (Bezerra et al., 2010).

No Brasil, são cultivadas várias espécies de feijão, contudo o Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA), para fins de regulamentação técnica, considera feijão somente as espécies *Phaseolus vulgaris* L., o feijão-comum, e *Vigna unguiculata* (L.) Walp. o feijão-caupi (Brasil, 2008). É importante ressaltar que o feijão-caupi, por ser uma cultura muito cultivada no Brasil, possui diversos nomes populares em todas as regiões, sendo assim fácil de ser confundido pelas pessoas. Desta forma, para minimizar as dúvidas e incertezas que possam existir, alguns desses nomes que tem mais destaque no Brasil são: feijão macassar e feijão-de-corda, na região Nordeste; na região Norte, além de feijão-de-praia, feijão-da-colônia e feijão-de-estrada, existe uma cultivar muito importante para a culinária local chamado de feijão manteiguinha, na região Sul, é conhecido como feijão-miúdo. Em algumas cidades do estado da Bahia e do norte de Minas Gerais, é chamado de feijão-gurutuba e feijão-catador. Além desses nomes é também conhecido como feijão-fradinho nos estados de Sergipe, Bahia e Rio de Janeiro (Freire Filho et al., 2005).

### **3.2 Aspectos culturais e produtivos do feijão-caupi**

O feijão-caupi é uma planta rústica bem adaptada às condições de clima e solo de regiões tropicais, possuidora de uma ampla variabilidade genética, alta capacidade de adaptação, alto potencial produtivo e alto conteúdo proteico, características estas que conferem à espécie uma boa opção para a melhoria da qualidade de vida, especialmente da população de baixa renda no meio rural e urbano (Fonseca et al., 2010).

Portanto, por apresentar rusticidade o bom desenvolvimento do feijão-caupi ocorre numa faixa de temperatura média entre 18 a 34°C, sendo assim, se desenvolvendo de forma excelente nas regiões tropicais e subtropicais do Brasil. A temperatura base abaixo da qual cessa o crescimento varia com o estágio fenológico. Para a germinação, tem uma variação mínima de 8 a 11°C (Craufurd et al., 1996a), enquanto para o estágio de florescimento uma variação mínima de 8 a 10°C (Craufurd et al., 1996b). Altas temperaturas prejudicam o crescimento e o desenvolvimento do feijão-caupi, pois exerce influência principalmente sobre o retardamento de flores, o vingamento e a retenção final de vagens, afetando também o componente do número de sementes por vagem e o ciclo da cultura

(Craufurd et al., 1996b). Dependendo do fotoperíodo e precocidade, o feijão-caupi pode florescer e produzir grãos secos de 60 até 150 dias (Timko e Singh, 2008). Embora seja uma planta autógama, existe uma alta variabilidade genética que pode ser explicada por segregações que podem ter acontecido por muitos anos de produção, mutações e pelos resultados de estudos do melhoramento da cultura (Correa et al., 2012; Oliveira et al., 2015).

Com relação ao crescimento e a luminosidade, o feijão-caupi é uma planta do tipo C3, portanto, segue o mecanismo de carboxilação, chamado de processo redutivo da pentose fosfato (ciclo de Calvin ou ciclo de Benso-Calvin). Através desse mecanismo a planta de feijão-caupi fixa o CO<sub>2</sub> atmosférico metabolizando-o em compostos orgânicos que vão compor a estrutura da planta que é formada em mais de 90% por compostos de carbono e em menos de 10% por elementos minerais. Sendo uma planta C3, o feijão-caupi satura-se fotossinteticamente à intensidade de luz relativamente baixas, isto é, entre 10.000 e 40.000 lux (Cardoso et al., 2000). A luz solar é considerada um fator de importância para o crescimento e desenvolvimento do feijão-caupi, pois influencia diretamente em sua fotossíntese, desta forma sem ataque de pragas ou de doenças, a máxima produtividade da cultura do feijão-caupi passa depender principalmente da taxa de interceptação de luz. Destarte, as plantas de feijão-caupi são consideradas eficientes na interceptação da energia luminosa por causa das suas folhas sem pelos e de coloração verde-escura. Foi possível observar que a cultivar em estudo BRS Itaim apresentou boa adaptação e florescimento na região norte do estado do Rio de Janeiro.

No entanto, a ausência de luz pode acarretar diversos problemas para a cultura, podendo ocorrer um crescimento vegetativo excessivo das plantas, as quais não irão permitir que a luz, do sol, chegue até a maioria das folhas verdes. Dessa maneira, a luz solar somente incide nas folhas da parte superior das plantas, que normalmente ainda não estão completamente maduras e que nem sempre são autossuficientes na produção de fotoassimilados.

O feijão-caupi pode ser cultivado em quase todos os tipos de solos, merecendo destaque para os seguintes: Latossolos Amarelos, Latossolos Vermelho-Amarelos, Argissolos Vermelho-Amarelos e Neossolos Flúvicos, (Araujo Filho et al., 2000). De um modo geral, desenvolve-se em solos com regular teor de matéria orgânica, textura média e arenosa, soltos quando secos, muito friáveis e

friáveis quando úmidos, moderadamente profundos e profundos, e dotados de média a alta fertilidade natural. Entretanto, outros solos como Neossolos Regolíticos e Quartzarênicos, com baixa fertilidade, podem ser usados mediante aplicação de corretivos, fertilizantes químicos e orgânicos.

Embora apresente rusticidade e seja cultivado em todos os tipos de solos, historicamente o feijão-caupi no Brasil apresenta baixa produtividade de grãos, essa baixa produtividade é resultante de vários fatores, como o uso de sementes não melhoradas, o cultivo em solos de baixa fertilidade e a ocorrência de precipitações pluviométricas irregulares (Nascimento et al., 2011), como também a falta de emprego de cultivares melhoradas, que apresentem elevadas produtividades (Públio Júnior, et al., 2014), no entanto, nos últimos anos estudos estão sendo realizados para reverter essa situação. Segundo Freire et al. (2005) o potencial produtivo da cultura é estimado em 6.000 kg ha<sup>-1</sup>.

Nos últimos 15 anos, lançaram-se 34 cultivares de feijão-caupi, dessas, 19 foram desenvolvidas pelo programa de melhoramento genético do feijão-caupi da Embrapa, em parceria com empresas estaduais de pesquisa. A cultivar BRS Itaim corresponde à linhagem MNC04-786B-87-2, obtida do cruzamento entre as linhagens MNC01- 625E-10-1-2-5, como parental feminino, e MNC99-544D-10-1-2-2, como parental masculino, realizado na Embrapa Meio Norte em 2004. Essa cultivar é uma planta de hábito de crescimento determinado, porte ereto tem alta resistência ao acamamento, é recomendada principalmente para cultivo em regime de sequeiro. Deve ser plantada em fileiras espaçadas de 0,50 m uma da outra com densidade populacional de 200 mil plantas por hectare, o que corresponde a 10 sementes por metro (Vilarinho et al., 2010). Além disso, a cultivar BRS Itaim, utiliza grande parte de sua energia na produção de grãos, em comparação à “casca” da vagem, o que a torna com um potencial produtivo superior as demais cultivares (Públio Júnior et al., 2018).

A cultivar BRS Guariba foi obtida do cruzamento da linhagem IT85F-2687, introduzida do International Institute of Tropical Agriculture – IITA, em Ibadan, Nigéria, com a linhagem TE87-98-8G, do Programa de Melhoramento da Embrapa Meio-Norte, em Teresina, PI. É uma cultivar com ciclo curto em torno de 70 dias, com planta de porte semiereto e crescimento determinado (Vilarinho, 2007).

### 3.3. Importância Econômica e Social do feijão-caupi

Os maiores países produtores de feijão-caupi são Nigéria, Níger e Burkina Faso (Fao, 2021). O Brasil é o quarto maior produtor, a área colhida, a produção e a produtividade oscilam muito de ano para ano, em virtude, principalmente, das variações climáticas. Pesquisas indicam que 70% do feijão produzido no território brasileiro sejam do feijoeiro comum e 30% do feijão-caupi, no entanto, esses valores são subestimados, pois países como o Brasil e a Índia não fazem separação da produção de feijão comum e o feijão-caupi em âmbito mundial. A produção nacional da safra 2020/2021 foi estimada em 712,6 mil toneladas, com área plantada de 1.307.800 ha (Conab, 2021). Na contemporaneidade, existem perfis de produção dessa leguminosa no Brasil: o primeiro, fortemente tecnificado, explorando mais a região dos cerrados, com uso de máquinas de última geração e altas produtividades. O segundo, constituído de pequenos e médios produtores, especialmente das regiões Norte e Nordeste, na maioria das vezes sem acesso à assistência técnica fazendo o cultivo do feijão-caupi para o sustento da família, utilizando baixo nível tecnológico.

A região Nordeste com climas tropicais proporciona condições edafoclimáticas favoráveis ao feijão-caupi, com condições semelhantes ao seu país de origem a África, (Brito et al., 2011). Nessas regiões, o feijão-caupi desempenha papel importante na alimentação e na geração de empregos para as famílias de baixa renda (Zilli et al., 2006). É importante ressaltar que essa cultura, além de ser considerada alimento essencial na mesa das famílias carentes dos estados das regiões Norte e Nordeste, exerce papel significativo como gerador de emprego e renda na zona rural como também urbana, estimulando a economia de modo a possibilitar oportunidades de negócio para os produtores e agroindústrias fornecendo suprimento para uma cadeia produtiva que se desenvolve desde o agricultor familiar ao empresarial até o consumidor final (Silva et al., 2016; Do Vale et al., 2017). Somente as cultivares de feijão-caupi geradas pela Embrapa Meio-Norte, em parceria com outras instituições do sistema cooperativo de pesquisa, ocupam 30% da área total cultivada com essa leguminosa no Brasil, gerando milhares de empregos diretos e renda (Ribeiro et al., 2013, Kigel e Rosental, 2015, Filho et al., 2018; Souza, 2018).



Nos Cerrados das regiões Nordeste, Norte e Centro-Oeste, o feijão-caupi tem modificado a estrutura tradicional de produção e de mercado. Até 1990, era quase exclusivamente uma cultura de pequenos e médios agricultores de base familiar, sem uso de tecnologia e insumos. Contudo, atualmente, o feijão-caupi passou a ocupar outros cenários agrícolas, em áreas de perímetro irrigado e na safrinha, após a cultura de outras leguminosas como a soja, e começou a ser cultivada por grandes produtores, com maior adoção de tecnologia (Martins et al., 2003; Soares et al., 2006). Entretanto, ainda é constatada baixa utilização de tecnologia, principalmente na primeira e na segunda safra, resultando ainda em baixa produtividade, equivalente a  $920 \text{ kg ha}^{-1}$  (Nascente et al., 2014).

No estado do Rio de Janeiro a cultura vem crescendo representados pelos municípios de Cachoeiras de Macacu região da baixada litorânea, Magé região metropolitana e São Francisco de Itabapoana, São João da Barra e Cardoso Moreira, pertencentes à Região Norte Fluminense, principalmente, em áreas rurais, onde se concentram populações originárias do norte e nordeste, o que representa uma considerável demanda pelo consumo do produto (Guedes, 2008).

A cultura tem a vantagem de apresentar características apropriadas à região como, mão de obra intensiva, ciclo curto, baixa exigência hídrica, recuperação das áreas degradadas pela fixação biológica do  $\text{N}_2$ , conseqüentemente melhorando as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, além de suprir a demanda de produção dentro do Estado, podendo contribuir de forma significativa com a cadeia produtiva (Ceasa-RJ, 2006) decorrente principalmente da tecnificação de seu cultivo no Estado.

O consumo de feijão-caupi é feito principalmente na forma de grãos secos cozidos e também na forma de grãos verdes cozidos (Rocha et al., 2017). Em relação ao valor alimentar é uma leguminosa altamente protéica, nas quais suas sementes são fontes de aminoácidos, tiamina e niacina, proteínas além de fibras dietéticas, por isso é uma boa opção para a melhoria da qualidade de vida, especialmente da população baixa renda no meio rural e urbano (Fonseca et al., 2010). A composição centesimal, expressa em porcentagem de peso seco, mostra que as sementes de feijão-caupi possuem, em média, 60,57% de carboidratos, 2,75% de lipídios, 23,01% de proteína, 2,07% de cinzas e 12,41% de umidade. Além disso, as sementes de feijão-caupi têm os oito aminoácidos essenciais, Treonina ( $1,24 \text{ mg kg}^{-1}$ ), Valina ( $1,22 \text{ mg kg}^{-1}$ ), Leucina ( $1,42 \text{ mg kg}^{-1}$ ), Isoleucina

(1,37 mg kg<sup>-1</sup>), Metionina (1,15 mg kg<sup>-1</sup>), Fenilalanina (1,75 mg kg<sup>-1</sup>), Lisina (1,58 mg kg<sup>-1</sup>), Triptofano (0,17 mg kg<sup>-1</sup>) (Araújo, 1997). Outra importante característica é que as sementes de feijão-caupi têm níveis adequados de Ferro e Zinco, apresentando médias, com valores de 61,3 mg kg<sup>-1</sup> e 44,7 mg kg<sup>-1</sup> respectivamente.

### 3.4 Sementes enriquecidas com molibdênio

O molibdênio (Mo) é um micronutriente essencial para o desenvolvimento das culturas. Sua deficiência é tão prejudicial quanto a falta de um macronutriente, sobretudo por ter influência marcante no metabolismo do nitrogênio (Taiz e Zeiger, 2017) desempenhando funções ativas através de metaloenzimas nas plantas (Havemeyer et al., 2011; Hille et al., 2011). Nos sistemas biológicos, o Mo é constituinte das enzimas sulfito oxidase (EC 1.8.3.1), xantina desidrogenase (CE 1.17.1.4), aldeído oxidase (CE 1.2.3.1), mas desempenha um papel importante principalmente nas enzimas nitrogenase e nitrato redutase (CE 1.6.6.1) fazendo a transformação de nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) em amônio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) (Kovács et al., 2015, Rana et al., 2020).

Os fatores que mais influenciam na disponibilidade de Mo no solo são o pH e a quantidade de óxidos de Al e Fe (Tisdale et al., 1993). Ao contrário dos outros micronutrientes, a disponibilidade de Mo no solo aumenta com o aumento do pH Nie et al., (2020) e Rutkowska et al., (2017) observaram intensa adsorção específica de molibdato a cargas positivas do complexo em solos ácidos, principalmente em virtude de estes apresentarem em óxidos de ferro e alumínio.

O primeiro relato sobre a importância do Mo para as plantas foi feito por Bortels et al., (1930). Esse autor demonstrou que a *Azotobacter vinelandii* inoculada em meio de cultura sem N precisou de Mo para crescer, o que não ocorreu se essa bactéria tivesse amônio disponível. Posteriormente, Bulen e Le Conte et al. (1966) demonstraram que a nitrogenase purificada continha Mo. Sabe-se, hoje, que o Mo participa de enzimas importantes na planta, como a nitrogenase, a nitrato redutase, a oxidase de aldeído, a oxidase do sulfito e a oxidase/desidrogenase da xantina (Rubio e Ludden et al., 2008; Mendel et al., 2011). Acredita-se que o Mo se mova na planta através do xilema, como molibdato (MoO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), complexo Mo-S aminoácido ou como molibdato complexado com açúcares (Dechen et al., 2006).

A nitrogenase atua na FBN e a nitrato redutase na redução do nitrato ( $\text{N-NO}_3$ ) a nitrito ( $\text{N-NO}_2$ ) (Kerbaui et al., 2012). A função da enzima nitrogenase é reduzir o  $\text{N}_2$  atmosférico a amônia ( $\text{NH}_3$ ) durante a FBN. A enzima nitrato redutase atua no citoplasma celular, que termina com a disponibilização de N-amoniaco para a planta. A nitrato redutase é uma enzima homodimérica com três grupos protéticos de transferência de elétrons por subunidade: flavina (FAD), heme e cofactor Mo (MoCo). A atividade da nitrato redutase é baixa em plantas deficientes em Mo, o que causa acúmulo de  $\text{N-NO}_3$  na planta uma vez que o Mo está intimamente ligado à atividade da enzima nitrato redutase e ao processo de redução do nitrato nos vegetais (Marschner, 2011). A oxidase/desidrogenase da xantina catalisa reações que dão origem a compostos nitrogenados que são transportados através dos nódulos para a parte aérea da planta. Portanto, a deficiência de Mo pode reduzir a atividade dessa enzima. A oxidase/desidrogenase da xantina atua na senescência das folhas e na resistência da planta a fatores bióticos e abióticos. Por isso a aplicação de Mo pode regularizar a atividade das enzimas envolvidas no metabolismo do N (Polanco et al., 2014).

Estudos demonstram o desempenho do feijão-comum utilizando sementes originadas de plantas com altas doses de Mo, variando de 400 a 1440 g por hectare, como o estudo de Vieira et al. (2005). Esses autores constataram que a aplicação de doses elevadas de Mo ( $1.440 \text{ g ha}^{-1}$ ) não foi tóxica para a planta e as sementes continham até 13 vezes mais Mo que a testemunha. Em solos pobres em N as plantas originadas de sementes enriquecidas com Mo apresentaram maior rendimento de grãos do que as plantas originadas de sementes com baixo conteúdo de Mo. Sapucay et al. (2016) conduziram ensaios na Zona da Mata, em solos com pH entre 5,4 e 5,8 e demonstraram que a aplicação de Mo no feijoeiro é capaz de suprir a planta com N até produtividades de  $3.000 \text{ kg ha}^{-1}$ .

Dada a importância desse nutriente e a carência dele no solo, o Mo é fornecido às plantas com intuito de suprir ou corrigir as necessidades vitais das plantas. Alguns autores como Vieira et al. (2005), Pacheco et al. (2012) e Vieira et al. (2015) afirmam que essa tecnologia tem baixo custo e produz sementes ricas em Mo originadas de plantas que são pulverizadas, geralmente mais de uma vez, com fontes de Mo solúvel em água, como o molibdato de sódio, cujas taxas variaram com doses de Mo ( $\sim 600 \text{ g ha}^{-1}$ ) mais altas que as usadas em pulverização

(50 a 100 g ha<sup>-1</sup>) para prevenir ou corrigir deficiência de Mo no solo (Pacheco et al., 2012; Almeida et al., 2013) até 4000 g ha<sup>-1</sup> de Mo (Vieira et al., 2011).

Recentemente um estudo desenvolvido por Barbosa et al. (2021) verificaram a eficácia do enriquecimento de sementes de Mo em feijão-caupi, esses autores observaram que plantas cultivadas a partir de sementes com alto teor de Mo apresentaram valores 3,5 vezes maiores para número e peso de nódulos e renderam 70% a mais do que aquelas cultivadas com sementes com baixo teor de Mo. Além disso, os autores concluíram que o uso de sementes enriquecidas com Mo associado à inoculação de *Bradyrhizobium* melhoram a produtividade e aumentam os teores de N do feijão-caupi de forma sustentável.

O fornecimento adequado e equilibrado deste micronutriente à cultura contribui não somente para elevar a produtividade, mas também para melhorar a qualidade fisiológica das sementes produzidas e ao desenvolvimento inicial da cultura do feijoeiro (Teixeira et al., 2005), já que a disponibilidade de nutrientes induz a formação do embrião e dos cotilédones, com efeitos sobre o vigor das sementes (Barbieri et al., 2013).

### **3.5. Adubação Fosfatada**

O fósforo (P) é um macronutriente essencial para as plantas, por ser um componente estrutural de ácidos nucléicos e fosfolipídios, além de desempenhar papel importante nos processos metabólicos de suporte à vida vegetal (Bucher et al., 2018). Explorar o efeito, concentração e forma de aplicação da adubação fosfatada no solo, vai facilitar no manejo deste nutriente para a maioria das culturas (Silva et al., 2003).

Na maioria dos solos brasileiros, altamente intemperizados, o teor de P disponível nos solos é baixo, pois o fósforo apresenta baixa mobilidade no solo e desloca-se apenas poucos centímetros por meio do processo de difusão, além de formar ligações com cálcio (Ca), ferro (Fe) e alumínio (Al) Raij et al., (2001), sendo o fator mais limitante para o rendimento das culturas. Portanto o manejo inadequado do solo afeta a disponibilidade de P para as plantas, aumentando as perdas desse nutriente e conseqüentemente a baixa produtividade das culturas (Tiecher et al., 2012; Tiecher et al., 2017).

A utilização da adubação fosfatada favorece a alta produtividade de grãos da maioria das culturas, o que vem propiciando à intensificação da definição das

doses mais adequadas, que garantam retornos econômicos (Fageria, 1990). Isso torna a prática da fertilização fosfatada essencial para garantir altos rendimentos (Shen et al., 2011). Diante disso, um dos principais desafios dos sistemas de produção sustentáveis é aumentar a eficiência de uso de P (EUP), diminuindo assim, a demanda global por fertilizantes fosfatados e conseqüentemente o esgotamento das reservas minerais desse nutriente (Delgado et al., 2016; Pang et al., 2018).

Apesar de extraído em menor quantidade do que outros macronutrientes, o P é considerado o principal fator limitante da produção da cultura do feijão-caupi (Freire Filho et al., 2005). O P auxilia na nodulação pela transferência de energia na forma de Adenosina Trifosfato (ATP), sendo ainda importante para o estabelecimento de nodulação, pois aumenta o número de pelos radiculares proporcionando mais sítios de infecção para as bactérias fixadoras de N<sub>2</sub> (Okeleye e Okelana, 1997). Além disso, a fixação de nitrogênio no feijoeiro também tem sido estabelecida para ser mais afetada pela deficiência de P do que em outras leguminosas como a soja (Fageria e Baligar, 2016).

Além disso, o fósforo participa de características ligadas à qualidade fisiológica das sementes e segundo Carvalho e Nakagawa, (2000), o nível de vigor das sementes pode prejudicar o potencial de armazenamento do lote, comprometendo o estabelecimento da cultura, o desenvolvimento da planta, a uniformidade da lavoura e conseqüentemente sua produtividade. Após o processo de germinação, as reservas de fósforo nas sementes são translocadas para as raízes e parte aérea. O fósforo em sementes é encontrado como ácido fítico, fosfatídeos, ácidos nucleicos e componentes inorgânicos de P. O ácido fítico representa, em leguminosas, cerca de 70% da quantidade de fósforo total (Raboy, 2009). Há poucos relatos na literatura sobre os mecanismos fisiológicos que controlam a transição entre a dependência completa sobre as reservas de fósforo nas sementes e o início da aquisição, bem como a indução de uma maior capacidade de absorção em plantas deficientes nesse nutriente (White; Veneklaas, 2012).

Muitos trabalhos têm evidenciado a importância da adubação fosfatada nas culturas agrícolas e estão intimamente associados à biomassa acumulada e o rendimento de cereais de grãos (Fageria et al., 2011; Zhu et al., 2012; Fageria, 2014). Para grãos de feijão-caupi Oliveira et al. (2011) observaram que a máxima

eficiência agronômica foi obtida com aplicação de 120 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, com produtividade de grãos de 1343,07 kg ha<sup>-1</sup>. Estudando o efeito de doses residuais de P em safrinha de feijão-caupi, Costa Leite et al. (2020) observaram efeito crescente na produção de grãos, com produtividade máxima, obtida na dose de 200 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

A escolha da dose, da forma de aplicação e da fonte a ser estudada é primordial quando se trata da adubação fosfatada, pois muitas vezes são aplicadas doses altas, devido ao processo de adsorção dos argilos minerais e óxidos de ferro e alumínio. Dentre as fontes de P solúvel existentes, o superfosfato simples (SFS) e triplo (SFT) são as mais utilizadas (Lana et al., 2004). O SFS tem a vantagem de também adicionar S para o solo e, conseqüentemente, suprir as necessidades das plantas com este elemento. Além disso, o SFT apresenta maior concentração de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, diminuindo a quantidade bruta a ser aplicada na adubação. Muitos trabalhos já evidenciaram o efeito da adubação fosfatada sobre o crescimento e nodulação em leguminosas herbáceas (Silva; Vahl et al., 2002) e arbóreas (Araújo et al., 2000).

Segundo Leal e Prado et al. (2008) plantas deficientes em fósforo apresentam diminuição do número de folhas, da altura da planta, do diâmetro de caule e da área foliar, diminuição da produção de matéria seca de folhas (93%), caule (95%) e raízes (88%), por isso a preocupação do melhor manejo desse nutriente, bem como a dose ótima para não acarretar na perda da produtividade.

O fósforo é um dos nutrientes que mais desperta interesse por pesquisas, devido ter baixa disponibilidade no solo e uma dinâmica complexa no sistema. Em regiões tropicais e subtropicais, que há um intenso intemperismo, a fração de fósforo disponível na sua maioria é inferior à exigência mínima das culturas (Santos et al., 2008). Além disso, o fósforo apresenta efeito sinérgico com o Mo, pois a elevação dos teores de fósforo no solo faz com que o fosfato desloque do complexo de troca o Mo que estava retido às cargas positivas nos colóides, resultando em aumento na concentração de Mo na solução do solo. A interação desses dois elementos pode resultar na formação de compostos fosfomolibdatos, devido à sua solubilidade e são rapidamente absorvidos pelas raízes (Wurzburger et al., 2012).

Dessa forma, existem poucas informações sobre adubação fosfatada e seus efeitos para a cultura do feijão-caupi, e até o momento, nenhum trabalho foi

realizado para explorar a eficácia da aplicação foliar de Mo e doses de P na cultura do feijão-caupi.

### **3.6. Qualidade fisiológica das sementes**

As sementes são apontadas como a principal evidência de evolução da agricultura brasileira, portanto uma semente de qualidade é definida por quatro atributos: genéticos, fisiológicos, físicos e sanitários, esses atributos irão refletir diretamente na competência da semente originar uma plântula normal, com estabelecimento de um estande mais uniforme, ausência de patologias, alta viabilidade e vigor, e com alta capacidade produtiva (Popinigis, 1985; Marcos Filho, 2015). Além desses atributos, o armazenamento, transporte e tratamento aos quais essas sementes são submetidas podem afetar diretamente a sua qualidade (Ludwig, 2016).

É essencial para o produtor que a semente apresente alta qualidade, a fim de contribuir para o aumento da produtividade dos cultivos. Sementes vigorosas e sadias são essenciais para assegurar a formação de um estande bem desenvolvido, padronizado e adequado no campo (Marcos-Filho, 2015).

O uso de sementes que apresentem elevado padrão de qualidade física e fisiológica é de fundamental importância, por isso, o ideal é utilizar métodos eficientes para padronização dos lotes de sementes e testes fisiológicos para analisar a viabilidade dos lotes de sementes (Silva et al., 2008). No entanto, as sementes tendem a perder qualidade durante seu armazenamento, principalmente devido à peroxidação de lipídeos, quando condições de alto teor de água das sementes, alta umidade relativa do ar e temperatura elevada estão ocorrendo (Smaniotto et al., 2014). Embora as sementes de feijão-caupi apresentem baixo teor de gordura (2%), quando mal armazenadas podem sofrer com a peroxidação.

Atualmente os investimentos na área da pesquisa permitiram a expansão das áreas de plantio, bem como o desenvolvimento de maquinários agrícolas, sistemas de irrigação, agroquímicos e principalmente o uso de fertilizantes, nesse mesmo contexto, as sementes também ganham destaque, por serem a matéria prima para obter uma lavoura produtiva, dessa forma o adequado fornecimento de nutrientes é fundamental para o desempenho inicial de plântulas e conseqüentemente o estabelecimento de seu estande em campo (Delarmino e Ferraresi et al., 2014). O papel dos nutrientes é fundamental durante as fases de

formação, desenvolvimento e maturação das sementes, principalmente na constituição das membranas e no acúmulo de carboidratos, lipídios e proteínas (Sá, 1994).

Portanto o tratamento de sementes com micronutrientes promove elevadas produtividades, quando comparado a não utilização destes nutrientes, principalmente em regiões que adotam elevados níveis tecnológicos de manejo das culturas e os solos dessas regiões são pobres em micronutrientes (Ávila et al., 2006). O fornecimento de micronutrientes vem sendo realizado via aplicação foliar ou via sementes no momento da sementeira, ou ainda, pelo procedimento de peletização e pelo processo de enriquecimento da semente com Mo pela remobilização desse elemento, durante o período de formação da mesma (Almeida et al., 2015).

Trabalhos relacionados ao fornecimento de Mo via sementes foram realizados desde os anos 80 e 90 (Jacob-Neto e Franco, 1986; Jacob-Neto e Rossetto, 1998). Esses autores relataram que sementes enriquecidas com Mo podem aumentar a disponibilidade de nutriente para a plântula nos estágios iniciais de desenvolvimento e a reserva interna da semente pode fornecer quantidades suficientes de Mo para que a planta possa crescer sem adição suplementar de Mo ao solo. Estudos realizados por Vieira et al. (2015) revelam que dose de 300 g ha<sup>-1</sup> de Mo aplicada na floração (R6) do feijão-comum não influencia a qualidade fisiológica das sementes.



#### 4. TRABALHOS

##### APLICAÇÃO FOLIAR DE MOLIBDÊNIO E DOSES DE FÓSFORO EM FEIJÃO-CAUPI: PRODUTIVIDADE E CONTEÚDO DE MOLIBDÊNIO NA SEMENTE.

##### RESUMO

O feijão-caupi é uma leguminosa rica em aminoácidos e proteínas, cultivada mundialmente, no entanto a cultura apresenta baixa produtividade de grãos, o que se atribui ao manejo inadequado da adubação. Nesse sentido, objetivou-se avaliar o efeito de doses de fósforo aplicadas via solo e de molibdênio via foliar sobre a produtividade e conteúdo de molibdênio na semente de feijão-caupi. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, em esquema fatorial 4 x 4: doses de Mo (0, 100, 250 e 500 g ha<sup>-1</sup>) e doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0, 50, 100 e 150 kg ha<sup>-1</sup>), em delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições. As aplicações de Mo foram realizadas no estágio de floração e maturação para garantir a melhor absorção do micronutriente. Ao final da maturação foram avaliados comprimento de vagens, massa de vagem, número de grãos por vagem, massa de 100 grãos, produção de grãos, teor e conteúdo de molibdênio na semente. Houve interação significativa entre as doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e doses de Mo para o comprimento de vagem e número de grãos por vagem com incrementos na produção e dose ótima estimada em 374,15

g ha<sup>-1</sup> de molibdênio e 123,43 kg ha<sup>-1</sup> de fósforo, entretanto, para massa seca de vagem, produção de grãos e massa de 100 grãos apenas o fósforo teve influência na dose de 150 kg ha<sup>-1</sup>. A dose de 500 g ha<sup>-1</sup> de Mo foi 20,7 e 16,4 vezes maior para teor e conteúdo de Mo na semente, respectivamente. Todos os componentes de produção foram incrementados com o aumento das doses de fósforo. O teor e conteúdo de Mo foi maior na ausência da aplicação de fósforo.

**Termos para indexação:** Adubação fosfatada e molíbdica, Componentes de produção, *Vigna unguiculata*.

#### MOLYBDENUM FOLIAR APPLICATION AND PHOSPHORUS RATES IN COWPEA: SEED MOLYBDENUM YIELD AND CONTENT.

#### ABSTRACT

Cowpea is a legume rich in amino acids and proteins, cultivated worldwide, however the crop has low grain yield, which is attributed to inadequate management of fertilization. In this regard, the purpose was to evaluate the effect of phosphorus doses applied via soil and molybdenum via leaves on productivity and molybdenum content in cowpea seed. The experiment was carried out in a greenhouse, in a 4 x 4 factorial scheme: Mo doses (0, 100, 250 or 500 g ha<sup>-1</sup>) and doses of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0, 50, 100 or 150 kg ha<sup>-1</sup>), in a randomized block design, with four replications. Mo applications were carried out at the flowering and maturation stage to ensure the best absorption of the micronutrient. At the end of maturation, pod length, pod mass, number of grains per pod, 100 grain mass, grain yield, seed molybdenum content and content were evaluated. There was a significant interaction between the doses of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and Mo doses for pod length and number of grains per pod with increments in production and optimal dose estimated at 374.15 g ha<sup>-1</sup> of molybdenum and 123.43 kg ha<sup>-1</sup> of phosphorus, however, for pod dry mass, grain production and

mass of 100 grains, only phosphorus had an influence on the dose of 150 kg ha<sup>-1</sup>. The dose of 500 g ha<sup>-1</sup> Mo content was 20.69 and 16.4 times higher for Mo content and Mo content respectively. All production components were increased with increasing doses of phosphorus. Mo content and content were higher in the absence of phosphorus application.

**Keywords:** Phosphate and Molybdcic Fertilization, Production components, *Vigna unguiculata*.

## INTRODUÇÃO

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), também conhecido como feijão-fradinho, feijão-macassar ou feijão-de-corda, é uma espécie de ampla distribuição mundial, sendo uma cultura versátil que serve como alimento para humanos, animais e nutre o solo e outras culturas por ser fixadora de N<sub>2</sub> (Silva et al., 2018). Além disso, é uma das principais espécies de importância socioeconômica no Brasil, pois é uma cultura com relevância para a segurança alimentar e nutricional, sendo a principal fonte de proteína para milhões de pessoas nos países em desenvolvimento (Gonçalves et al., 2016, Lonardi et al., 2019). Sementes e vagens de feijão-caupi contêm aproximadamente 25% de proteína de alta qualidade na forma de aminoácidos, carboidratos, ácido fólico, clorofila, carotenoides, fenólicos e minerais essenciais (Carvalho et al., 2019).

Embora apresente características nutricionais desejáveis, a área global estimada para a produção de feijão-caupi é de aproximadamente 12,5 milhões hectares, com uma produção anual de 7 milhões de toneladas e rendimento médio de 589 kg ha<sup>-1</sup> (Faostat, 2020). No entanto, o rendimento médio global está abaixo do potencial de rendimento do feijão-caupi, estimado em 6.000 kg ha<sup>-1</sup> (Faostat, 2020). Além disso, a FAO relatou o declínio da cultura em 19% entre os anos de 2012 a 2017, apesar da característica inerente do feijão-caupi de ser rústico e se desenvolver em áreas com manejo inadequado da adubação, pragas, doenças e o déficit hídrico (Faostat, 2020).

São diversos os fatores que podem afetar tanto a produção de massa vegetal das plantas de feijão-caupi, como a produtividade da cultura e seus constituintes. Diante disso, a nutrição das plantas é imprescindível para alcançar elevadas produtividades e para a alocação correta dos insumos, o que gera economia de recursos e aumento da produtividade de grãos, maior eficiência técnica e econômica do capital investido (Oliveira et al., 2018).

Nesse contexto nutricional, a adubação fosfatada requer atenção especial, pois ocupa lugar de destaque, devido à sua deficiência na grande maioria dos solos brasileiros em virtude dos altos teores de óxidos de ferro e alumínio. A baixa disponibilidade deste elemento no solo afeta negativamente o crescimento do feijão-caupi e, conseqüentemente, a produtividade (Silva et al., 2019a). Avaliando a eficiência da adubação fosfatada em feijão-caupi, Costa Leite et al. (2020) observaram que a fertilização com fosfato teve uma influência positiva nos componentes de produção e que a aplicação 200 kg ha<sup>1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> aumentou a produtividade dos grãos.

O molibdênio (Mo) é um micronutriente exigido em menor quantidade para o desenvolvimento das plantas. No entanto, sua deficiência é tão prejudicial quanto à falta de um macronutriente, sobretudo por ter influência marcante no metabolismo do N (Taiz e Zeiger, 2017). É possível fornecer esse micronutriente para as plantas por intermédio de sementes grandes, como as de feijão comum e feijão-caupi (Vieira et al., 2015; Barbosa et al., 2021).

Dado a importância desse micronutriente e sua carência no solo, o Mo é fornecido em altas doses às plantas com intuito de suprir ou corrigir as necessidades vitais das plantas, bem como aumentar os teores nutricionais na semente. Esse manejo de baixo custo produz sementes ricas em Mo originadas de plantas que são pulverizadas, geralmente mais de uma vez, com doses de Mo (~ 600 g ha<sup>-1</sup>) mais altas que as usadas em pulverização (50 a 100 g ha<sup>-1</sup>) para prevenir ou corrigir deficiência de Mo no solo (Pacheco et al., 2012; Vieira et al., 2015; Sapucay et al., 2016).

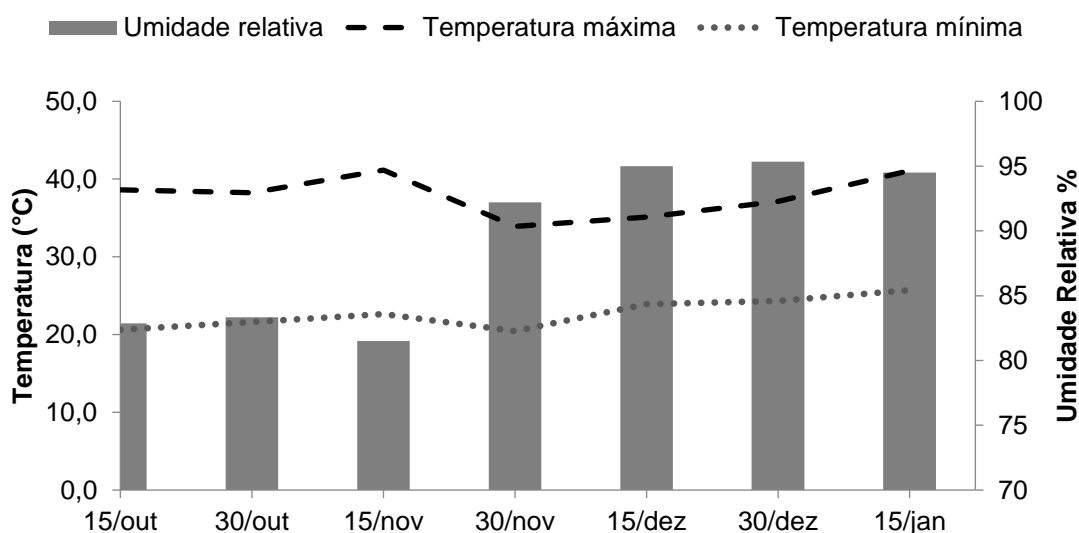
Muitos estudos demonstram que a aplicação de P melhora a disponibilidade de Mo no solo. Essas investigações indicam predominantemente uma interação sinérgica entre P e Mo devido à formação de complexos aniônicos entre esses nutrientes (Barrow et al., 2005; Liu et al., 2010a; Nie et al., 2015). Entretanto, não há trabalhos na literatura sobre o enriquecimento de sementes com

Mo adubadas com P em feijão-caupi, no Brasil. Por isso, pouco se sabe sobre o comportamento das plantas oriundas de sementes enriquecidas com Mo e seus efeitos sobre os componentes de produção e a produtividade de grãos.

Dessa forma, objetivou-se avaliar o efeito de doses de fósforo no solo e de molibdênio via foliar sobre os componentes de produção, a produtividade, o teor e o conteúdo de molibdênio na semente de feijão-caupi.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, na Unidade de Apoio à Pesquisa, da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, na cidade de Campos dos Goytacazes (21°45'S e 41°17'W, 11 metros de altitude). Durante o período experimental, as temperaturas máxima e mínima e a umidade relativa do ar foram medidas com auxílio do HOBO® pro v2 “*data logger*” e estão apresentadas na (Figura 1).



**Figura 1.** Médias de temperatura máxima e mínima e umidade relativa do ar no período de outubro/2019 a janeiro/2020 medidas pelo HOBO® pro v2 “*data logger*”, Campos dos Goytacazes – RJ.

Antes da instalação do experimento, amostras de solo foram coletadas na profundidade de 0-20 cm, na área experimental do Colégio Agrícola Antônio Sarlo e misturadas com areia na proporção (1:1 v/v). As características químicas desse

solo antes da instalação do experimento foram: pH em H<sub>2</sub>O = 5,4; P (Melich<sup>-1</sup>) = 4 mg dm<sup>-3</sup>; K (Melich<sup>-1</sup>) = 14,0 mg dm<sup>-3</sup>; Ca = 0,6 cmol dm<sup>-3</sup>; Mg = 0,3 cmol dm<sup>-3</sup>; Al<sup>3+</sup> = 0,1 cmol dm<sup>-3</sup>; H+Al = 1,03 cmol dm<sup>-3</sup>; Na = 0,02 mg dm<sup>-3</sup>; CTC (t) = 1,1 cmol dm<sup>-3</sup>; CTC (T) = 2,0 cmol dm<sup>-3</sup>; soma de base = 1,0 cmol dm<sup>-3</sup>; V = 48,1 %; MO = 0,84%; Fe = 60 mg dm<sup>-3</sup>; Cu = 0,2 mg dm<sup>-3</sup>; Zn = 1,5 mg dm<sup>-3</sup>; Mn = 20,4 mg dm<sup>-3</sup>; S= 1,39 mg dm<sup>-3</sup>; B= 0,38 mg dm<sup>-3</sup>.

Os tratamentos foram arranjados no esquema fatorial 4 x 4: doses de molibdênio (0, 100, 250 e 500 g ha<sup>-1</sup>) aplicado via foliar e doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0, 50, 100 e 150 kg ha<sup>-1</sup>) aplicado no solo antes do plantio. O delineamento utilizado foi em blocos casualizados, com quatro repetições. A fonte de Mo utilizada foi o molibdato de sódio (Na<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O) e de P foi o superfosfato simples (20% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). A unidade experimental foi composta por três vasos com capacidade de 8 dm<sup>3</sup> e duas plantas por vaso. Antes do plantio foi quantificado o teor e o conteúdo de Mo nas sementes de feijão-caupi que continham 2,07 mg kg<sup>-1</sup> e 0,64 µg semente<sup>-1</sup>, respectivamente.

Os vasos foram regados com água até 60% da sua capacidade de campo posteriormente encubados com as doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> por 30 dias. Após esse período, realizou-se a semeadura do feijão-caupi, com 5 sementes por vaso, posteriormente realizou-se o desbaste deixando duas plantas por vaso. Para adubação de plantio, metade das doses de 60 kg ha<sup>-1</sup> de N (nitrato de amônio, 35% de N) e 60 kg ha<sup>-1</sup> de KCl (Cloroeto de potássio, 60% de K<sub>2</sub>O) foram aplicadas em semeadura e a outra metade em cobertura, aos 20 dias após emergência (DAE).

A adubação molíbdica foi realizada com um pulverizador manual de 750 ml, em seguida borrifou-se as plantas dos vasos com água medindo-se na proveta o volume gasto por planta para o preparo da solução de Mo. As aplicações foram realizadas de forma parcelada nestas fases de desenvolvimento do feijão-caupi: 30 (DAE) - botão floral; 45 DAE - flores e vagens até 10 cm e 60 DAE - 10% das vagens formadas e com grãos. A dose de 100 g ha<sup>-1</sup> de Mo foi aplicada aos 30 DAE. A dose de 250 g ha<sup>-1</sup> de Mo, 100 g ha<sup>-1</sup> foi aplicado aos 30 DAE e 150 g ha<sup>-1</sup> foi aplicado aos 45 DAE. A dose de 500 g ha<sup>-1</sup> de Mo, 100 g ha<sup>-1</sup> foi aplicado aos 30 DAE; 250 g ha<sup>-1</sup> aos 45 DAE e 150 g ha<sup>-1</sup> aos 60 DAE.

As aplicações realizadas dessa forma tiveram o objetivo de evitar possíveis danos com toxicidade pelo excesso do micronutriente ao feijão-caupi. A aplicação com altas doses de Mo (200 a 300 g/ha de Mo) na fase de enchimento de grãos

pode reduzir a qualidade fisiológica das sementes de feijão-comum e reduzir o estande final das plantas de feijão-caupi (Vieira et al., 2015; Barbosa et al., 2021). A alternância de 15 dias entre uma aplicação e outra se justifica pelo rápido desenvolvimento inicial da cultura, a aplicação nas fases de florescimento até o enchimento de grãos incrementam mais Mo na semente (Vieira et al., 2015). Para a calda aderir na folhagem foi utilizado o espalhante adesivo agrícola não iônico Adesil. Uma lona plástica com 2 m de largura foi usada entre às unidades experimentais vizinhas às tratadas, para evitar a deriva.

Ao final da maturação, as vagens das duas plantas de cada vaso foram colhidas à medida que amadureciam. Em seguida, essas vagens foram debulhadas e os grãos foram pesados para determinar a produção de grãos. Ademais, foram avaliados o comprimento de vagens, massa de vagem seca com os grãos, número de grãos por vagem, e massa de 100 grãos. A produção e a massa de 100 grãos foram obtidas com 13% de umidade.

Posteriormente, os grãos foram secos em estufa de ventilação forçada de ar a 70°C, até atingirem massa constante para determinação dos teores nutricionais. Em seguida, foram moídas em moinho tipo Wiley com peneira de 20 mesh. Uma subamostra de 0,2 g do material vegetal foi submetida à digestão de ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>) concentrado e peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>). No extrato obtido foi quantificado o teor de fósforo e molibdênio na semente, por espectrometria de massa acoplada ao plasma induzido (ICPE-9000, Shimadzu). O conteúdo de Mo na semente representa o Mo acumulado em uma semente que estará disponível para a planta cultivada a partir desta semente. O conteúdo de Mo no grão, em µg semente<sup>-1</sup>, foi obtido pela multiplicação do teor de Mo pela massa de uma semente seca, em g, estimada a partir da massa de 100 grãos secos.

Os dados foram submetidos aos testes de normalidade (Lilliefors) e homocedasticidade (Cochran e Bartlett). Após atenderem estes pressupostos, os dados obtidos foram submetidos às análises de variância (ANOVA) e de regressão. Os modelos foram escolhidos com base no sentido biológico, na significância dos coeficientes de regressão de até 5% de probabilidade, pelo teste “t”, e no coeficiente de determinação, calculado pela relação ( $R^2 = \text{SQ}_{\text{Regressão}}/\text{SQ}_{\text{Total}}$ ). Foi usado o Sistema para Análises Estatísticas e Genéticas (SAEG versão 9.1) para execução de todas as análises estatísticas.

## RESULTADOS

Verificou-se pela análise de variância, efeito significativo entre doses de  $P_2O_5$  e doses de Mo para o comprimento de vagens, número de grãos/vagem, teor e conteúdo de Mo na semente (Tabela 1). O coeficiente de variação (CV%) variou de 6,16% a 7,61% para os componentes de produção e 11,43% e 27,8%, respectivamente, para o teor e o conteúdo de Mo na semente (Tabela 1). O CV constituiu-se numa estimativa do erro experimental em relação à média geral do ensaio. Considera-se que, quanto menor o CV maior é a precisão do experimento.

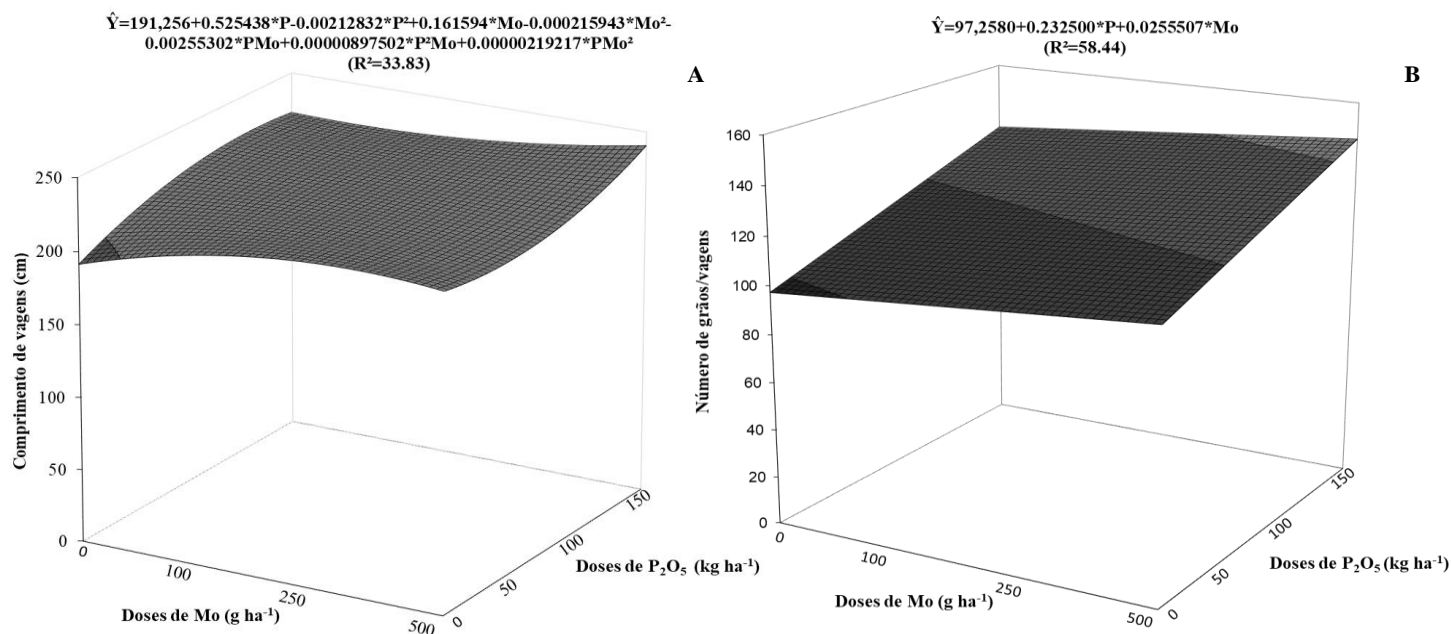
**Tabela 1.** Valor de *F* para as variáveis dependentes afetadas pelas doses de  $P_2O_5$ , pelas doses de Mo e pela interação entre esses fatores em plantas de feijão-caupi cultivar BRS Itaim. Campos dos Goytacazes, RJ - Brasil

Variável	Doses de $P_2O_5$	Doses de Mo	$P_2O_5$ *Mo	CV (%)
Comprimento de vagem (cm)	6,22***	2,27 <sup>ns</sup>	3,00**	6,16
Massa seca da vagem (g)	7,695***	0,124 <sup>ns</sup>	0,317 <sup>ns</sup>	7,38
Produção de grãos (g planta <sup>-1</sup> )	8,1***	0,043 <sup>ns</sup>	0,634 <sup>ns</sup>	8,04
Número de grãos/vagem	50,83***	6,91***	4,66**	7,42
Massa de 100 grãos (g)	15,44***	3,85 <sup>ns</sup>	2,16 <sup>ns</sup>	7,61
Teor de Mo na semente (mg kg <sup>-1</sup> )	143,34***	1014,81***	41,47***	11,43
Conteúdo de Mo (µg semente <sup>-1</sup> )	14,25***	155,39***	2,8***	27,81

CV: Coeficiente de variação (%). O grau de liberdade para doses de  $P_2O_5$  é 3, para doses de Mo via foliar é 3 e para interação é 9. 'ns' = não significativo, \* $P \leq 0,05$ ; \*\* $P \leq 0,01$  e \*\*\* $P \leq 0,001$ .

A resposta do comprimento de vagem foi quadrática para interação entre as doses de Mo e  $P_2O_5$  (Figura 2A). A dose estimada de 374,15 g ha<sup>-1</sup> de Mo proporcionou o maior comprimento da vagem, 18,56 cm, e a dose estimada de 123,43 kg ha<sup>-1</sup> de  $P_2O_5$  proporcionou o comprimento máximo da vagem de 19,91 cm. As doses de Mo e de  $P_2O_5$  afetaram o número de grãos/vagem de forma linear crescente (Figura 2B). A dose de 500 g ha<sup>-1</sup> de Mo proporcionou 10,52% mais grãos/vagem em relação à ausência da aplicação de Mo. A dose de 150 kg ha<sup>-1</sup> de  $P_2O_5$  proporcionou 37,79% mais grãos/vagem em relação à ausência da aplicação de  $P_2O_5$  (Figura 2B). Portanto o número de grãos/vagem apresentou efeito linear positivo com ponto máximo para esse estudo de 500 g/ha para Mo e 150 kg ha<sup>-1</sup> de  $P_2O_5$ .

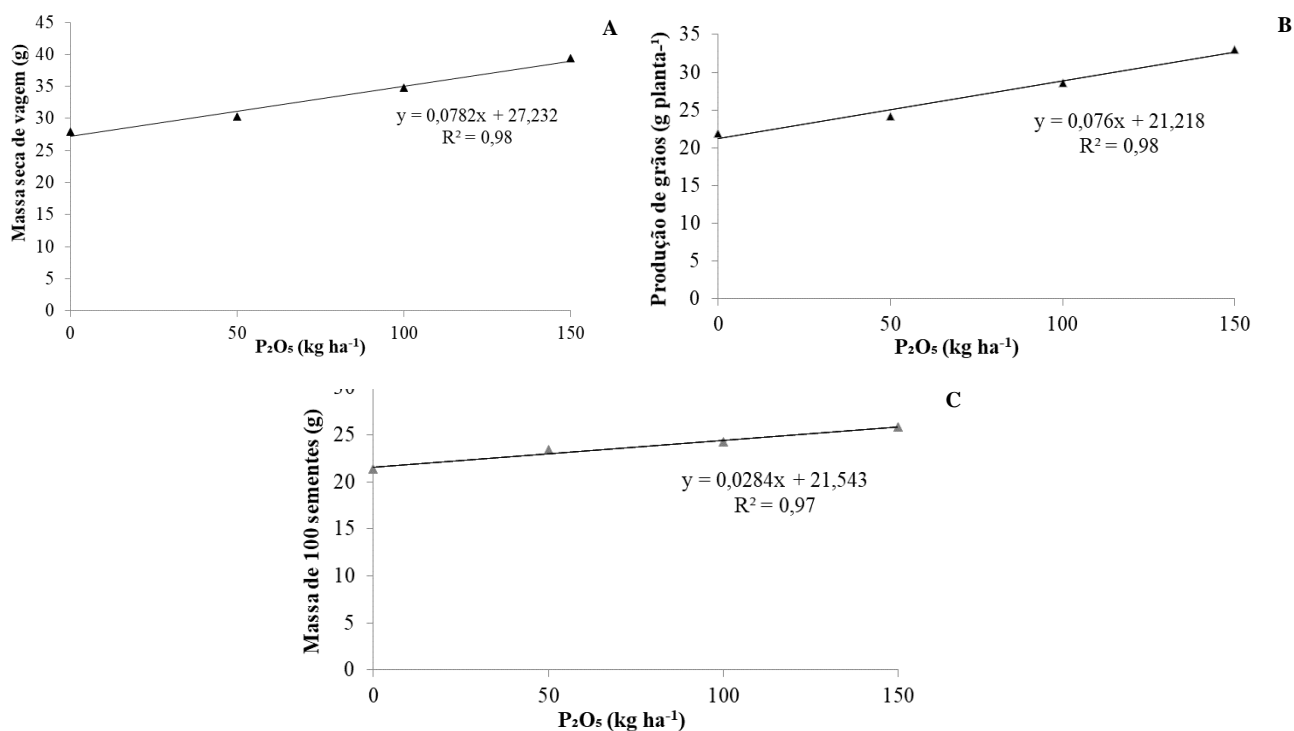




**Figura 2.** Comprimento de vagens (A) e número de grãos por vagem (B) em feijão-caupi cultivar BRS Itaim cultivadas em função da aplicação foliar de Mo e doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Campos dos Goytacazes – RJ.

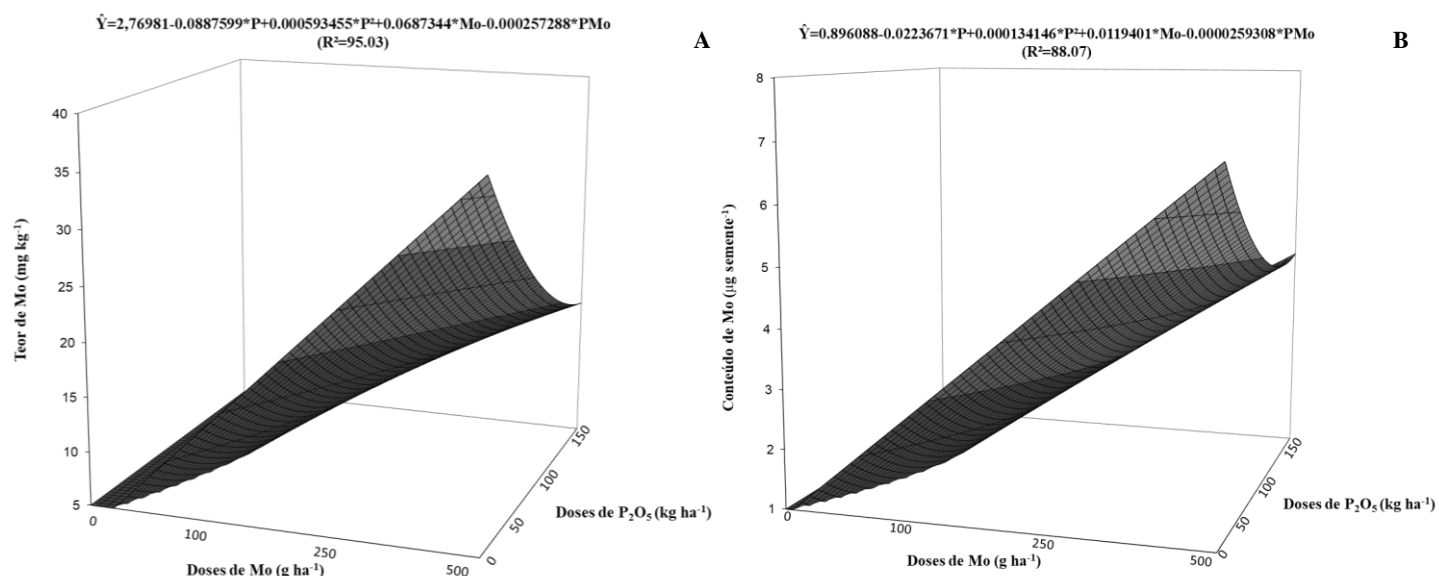
As doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> afetaram de forma linear crescente a massa de vagem seca (Figura 3A), a produção de grãos (Figura 3B) e a massa de 100 grãos (Figura 3C), independente das doses de Mo. A dose de 150 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> proporcionou aumento de 41,26%, 51,18% e 20,92% na massa seca de vagem, na produção de grãos e na massa de 100 grãos, respectivamente, em relação à ausência da aplicação de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. No presente experimento, a relação de produtividade de grãos e as doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> apresentaram efeito linear positivo, apresentando incrementos na produtividade na maior dose estudada.

O estudo indicou que níveis adequados de fósforo no solo favorecem a eficiência reprodutiva por vagem e consequentemente a produção. O aumento da produtividade foi devido a aumentos significativos nos componentes de produção massa de vagem seca com grãos e massa de 100 grãos em resposta aos aumentos nos níveis de fósforo do solo.



**Figura 3.** Massa de vagem (A), produção de grãos(B) e massa de 100 sementes (C) em feijão-caupi cultivar BRS Itaim cultivadas em função da aplicação foliar de Mo e doses de  $P_2O_5$ , Campos dos Goytacazes – RJ.

Houve interação significativa entre as doses de  $P_2O_5$  e as doses de Mo para o teor (Figura 4 A) e conteúdo de Mo na semente (Figura 4 B) com efeito linear para molibdênio e quadrático para fósforo. As melhores respostas quanto ao teor e conteúdo de Mo nas sementes de feijão-caupi foram obtidas com a aplicação das maiores doses de Mo e com as menores doses de  $P_2O_5$ , conforme mostra as figuras 4 A e B.



**Figura 4.** Teor (A) e conteúdo (B) de Mo da semente em feijão-caupi cultivar BRS Itaim cultivadas em função doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e da aplicação foliar de Mo, Campos dos Goytacazes – RJ.

Observou-se maior teor de Mo, 39,74 mg kg<sup>-1</sup>, na dose de 500 g ha<sup>-1</sup> de Mo e na ausência da aplicação de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Figura 4A). O teor de Mo na semente na ausência da adubação molíbdica, apresentou 1,92 mg kg<sup>-1</sup>. Portanto o aumento no teor de Mo da semente foi 20,69 vezes superior quando as doses variaram de 0 a 500 g ha<sup>-1</sup>. Além disso, observa-se também que à medida que se aumenta as doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> diminui o teor de Mo na semente. Para produzir sementes enriquecidas com Mo, a dose a ser usada depende da disponibilidade de Mo no solo, do pH do solo, da cultivar e do estágio fenológico da cultura na hora da aplicação foliar do Mo.

Observou-se maior conteúdo de molibdênio de 7,22 µg semente<sup>-1</sup> na dose de 500 g ha<sup>-1</sup> de Mo na ausência da aplicação de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Figura 4B). O conteúdo de Mo na semente na ausência da adubação molíbdica, apresentou 0,44 µg semente<sup>-1</sup>. Portanto, o aumento do conteúdo de Mo da cultivar BRS Itaim, foi de 16,4 vezes superior quando as doses de Mo variaram de 0 a 500 g ha<sup>-1</sup>. A aplicação parcelada com altas doses de Mo em fases vegetativas e reprodutivas do feijão-caupi aumenta o teor e o conteúdo de Mo na semente, porém a adição de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> interfere na absorção desse micronutriente nas sementes.

## DISCUSSÃO

A interação entre as doses de  $P_2O_5$  e de Mo proporcionou comprimento máximo de vagem 19,91 e 18,56, respectivamente (Figura 2A). Segundo Gerrano et al. (2015), a variação do comprimento de vagem pode ser devida ao genótipo, ao ambiente e à interação genótipo e ambiente. Os melhores incrementos de P nos componentes de produção relatado no presente estudo é possivelmente em função do melhor enraizamento da cultura, maior disponibilidade de P no solo devido a elevadas doses e maior produção de matéria seca, resultados semelhantes foram relatados por Sasode et al. (2008).

Vilarinho et al. (2005), estudando o desempenho produtivo de linhagens de feijão-caupi em Roraima, encontraram valores de 10,4 a 22,6 cm para comprimento médio de vagem. No entanto, em relação às outras cultivares avaliadas para esta variável os resultados desse estudo foram inferiores ao padrão comercial de 20 cm, proposto por Silva e Oliveira, (1993). Mesmo assim, esse resultado se torna relevante, visto que nos sistemas de produção tecnificados, vagens leves e menores são cruciais para a realização da colheita mecanizada, porém, na colheita manual, vagens com tamanhos maiores são mais viáveis, devido ao maior número de grãos por vagem.

A produção de massa de vagem seca foi incrementada com o aumento da fertilização fosfatada, o que já era esperado, pois a aplicação de P na cultura do feijão-caupi promove, entre outros benefícios, o aumento na produção de matéria seca da parte aérea, corroborando com os trabalhos de Oliveira et al. (2011) que também observaram efeito linear crescente com aplicação de P (0; 70; 140 e 210 kg  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup>) sobre a massa de vagem seca e Teixeira et al. (2016) que observaram aumentos de número de grãos/vagem no feijão-caupi com o incremento da disponibilidade de fósforo, evidenciado o fósforo como fator limitante para essa variável. O fósforo estimula a germinação da semente, desenvolvimento de raízes, caule, formação da flor e semente, qualidade rendimento da colheita. Além disso, a disponibilidade de P aumenta a capacidade de fixação de  $N_2$  em leguminosas. Portanto, o P é essencial em todos os estádios de desenvolvimento, desde a germinação até a maturidade das culturas (Malhotra et al., 2018).

Karikari et al. (2015) observaram aumento no crescimento vegetativo de plantas de feijão-caupi em resposta à adubação fosfatada, em solos caracterizados pela baixa disponibilidade de P. Estudando o efeito de doses residuais de P em

safrinha de feijão-caupi, Costa Leite et al. (2020) observaram efeito linear crescente na produção de grãos, com produtividade máxima, obtida na dose de 200 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, resultados semelhantes aos encontrados no presente estudo. Devido ao ciclo curto do feijão-caupi entre o plantio e a colheita, bem como o baixo volume de solo explorado pelas raízes, em virtude do cultivo ser em vaso, a baixa disponibilidade de nutrientes no solo é um dos principais fatores que limitam a produtividade dessa cultura (Silva et al., 2019a).

Vários trabalhos têm demonstrado a eficiência do P e estão intimamente associados à biomassa acumulada e o rendimento de grãos (Fageria et al., 2011; Zhu et al., 2012; Fageria et al., 2014). Além disso, o P é um dos nutrientes que mais limita a produção do feijão-caupi, considerando as condições do solo e as propriedades do nutriente no meio (Fernandes et al., 2013). Portanto a eficiência do uso do fósforo é significativamente influenciada pela taxa de aplicação de P no solo e genótipo da planta. Estas observações indicam que fornecer o P em doses adequadas durante todo o ciclo da cultura, melhora o rendimento de grãos (Rose et al., 2016). Alguns estudos, direcionados à utilização de P, demonstram relação entre o rendimento, os componentes do rendimento, a taxa de aplicação de P e acúmulo de P nas culturas de grãos, em experimentos no campo e em vasos (Fageria et al., 2014; Vandamme et al., 2016a).

Estudos conduzidos por Singh et al., (2011), Oliveira et al., (2011), Ndor et al., (2012), Coutinho et al., (2014) e Pereira Júnior et al., (2015) relatam efeitos significativos do P sobre a massa de 100 grãos em cultivares de feijão-caupi, corroborando com resultados obtidos no presente estudo. Esse maior acúmulo de matéria seca no grão em resposta aos maiores teores de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> no solo favorece a qualidade e aceitação comercial do produto, visto que há preferência e aceitação na maioria dos mercados consumidores, por grãos maiores. Em safras de cereais, como arroz e trigo, a maioria do P absorvido pelas plantas é armazenado em sementes. Assim, um fornecimento inadequado de P pode reduzir o tamanho da semente, o número de sementes e a viabilidade. A concentração ótima de P no solo aumenta o número de sementes, a matéria seca de sementes, o rendimento de sementes e o índice de colheita (Malhotra et al., 2018).

O maior incremento de P nos componentes de produção em feijão-caupi sob o suprimento de aplicação foliar de Mo relatado no presente estudo foi principalmente devido ao efeito sinérgico desses nutrientes. Estudos realizados

por Zakikhani et al. (2014) mostraram que a aplicação de Mo aumentou os teores de P em plantas de arroz. Trabalhando com feijão comum Kubota et al. (2006) observaram que a adubação conjunta de P e Mo não apresentou aumento na massa de 100 grãos, diferente dos resultados obtidos no presente estudo, que apresentou efeito do P para essa variável.

Estudo conduzido por Lopes et al. (2016) avaliaram a aplicação de níquel e molibdênio, via foliar, em feijão comum e não observaram efeito do Mo na massa de 100 grãos. O efeito do P na massa de 100 grãos é evidenciado por vários autores. No entanto, o Mo não influenciou a massa seca de 100 grãos, que pode ser explicado pelo fato de que o estudo foi realizado em solo ácido, portanto não fazendo o aproveitamento devido do nutriente, já que este é mais disponibilizado a cultura em solos mais alcalina. Ao avaliar a disponibilidade de Mo em solo ácido, Nie et al. (2020) e Rutkowska et al. (2017) observaram intensa adsorção específica de molibdato a cargas positivas do complexo, especialmente em óxidos de ferro e alumínio, esses autores também revelam que a nutrição molíbdica de lavouras é afetada por mudanças no pH do solo. Portanto se faz necessário o fornecimento do Mo via foliar para corrigir esses problemas de adsorção, uma vez que a ausência de Mo promove o acúmulo de nitrato em folhas de feijão, indicando a baixa eficiência de assimilação do N pelas plantas na ausência deste micronutriente (Calonego et al., 2010).

Elevadas doses de molibdênio, com aplicações parceladas nos estágios reprodutivos da cultura, aumentou o teor e conteúdo de Mo da semente do feijão-caupi na ausência da aplicação de  $P_2O_5$ , corroborando com os resultados obtidos por Pessoa et al. (2000) e Vieira, et al. (2011), que também observaram maior teor de Mo da semente em feijão comum com a aplicação de Mo via foliar. Além disso, duas pulverizações de  $400 \text{ g de Mo ha}^{-1}$  nos estágios reprodutivos incrementaram o teor de Mo da semente de soja (Campo et al., 2009). Embora o feijão-caupi seja um transportador de Mo de alta afinidade associado a doses de P, os mecanismos que controlam o transporte de Mo em plantas permanecem desconhecidas, mas a evidência experimental indica que a absorção de molibdato de sódio pode ocorrer através do sistema de absorção de fosfato (Kaiser et al., 2005).

Estudo conduzido por Lopes et al. (2016) avaliando a adubação conjunta de molibdênio e níquel aplicados na folhagem observaram aumento no teor de Mo da semente do feijoeiro, independentemente da dose de Ni utilizada. O teor de Mo

mais alto neste estudo ( $39,74 \text{ mg kg}^{-1}$ ) foi superior ao obtido em Coimbra, com a cultivar majestoso ( $32,7 \text{ mg kg}^{-1}$ ), utilizando  $600 \text{ g ha}^{-1}$  parcelada no estudo conduzido por (Vieira et al., 2014).

O conteúdo médio determinado de Mo da semente oriundas de plantas sem adubação molíbdica em nosso ensaio foi de  $0,44 \text{ } \mu\text{g grão}^{-1}$  bem acima do obtido por Vieira et al. (2005), em pH 5,7 ( $0,096 \text{ } \mu\text{g}$  de Mo por grão) para feijão comum, mas semelhante ao verificado por Vieira et al. (2011) em pH 6,1 ( $0,412 \text{ } \mu\text{g}$  de Mo por grão). Estudos desenvolvidos por Vieira et al. (2005) avançaram no conhecimento sobre o enriquecimento de Mo via semente através da aplicação foliar de Mo, outros autores também estudaram o enriquecimento de sementes com Mo (Vieira et al., 2011; Pacheco et al., 2012 e Vieira et al., 2015). Estudando várias cultivares de feijão comum, Vieira et al. (2014) em solo com pH 6,8, utilizando  $600 \text{ g ha}^{-1}$  de Mo parcelada em diferentes estágios vegetativos e reprodutivos do feijoeiro, observaram que o cultivar Jalo MG apresentou o conteúdo de Mo de  $11,2 \text{ } \mu\text{g semente}^{-1}$ , valor superior ao encontrado nesse estudo.

Essas diferenças nos conteúdos encontrados no presente estudo possivelmente estão ligadas as diferenças edafoclimáticas, genótípicas ou pH do solo da região. Além disso, essa resposta diferenciada, pode ser uma resposta específica da cultivar utilizada (Berger et al., 1995). Os autores observaram, que no cultivar Ouro, o Mo pode ser aplicado com a mesma eficiência tanto nas sementes quanto na pulverização via foliar, por outro lado a cultivar Ouro Negro a pulverização via foliar foi mais eficiente do que a peletização. Estudando a cultivar Goytacazes de feijão comum e aplicação foliar de Mo Fullin et al. (1999), observaram resposta semelhante ao trabalho de Berger et al. (1995), e ainda concluíram que a aplicação via foliar desse micronutriente foi mais eficiente quando comparada a ausência da adubação molíbdica e a peletização das sementes. Portanto, os resultados obtidos nesse experimento sugerem que é possível colher sementes de feijão-caupi com conteúdo de Mo de  $7,22 \text{ } \mu\text{g semente}^{-1}$  com dose menor que  $1000 \text{ g ha}^{-1}$  utilizada por Vieira et al. (2011) e também inferior aos  $1.280 \text{ g ha}^{-1}$  de Mo usado por Leite et al. (2009), que colheu sementes com  $2,645 \text{ } \mu\text{g}$  de Mo.

O manejo da aplicação foliar é capaz de garantir sementes de feijão-caupi com alto conteúdo de Mo e sementes oriundas dessas plantas aumentam a produtividade de grãos do feijão-caupi, quando não se utiliza adubação

nitrogenada, nos solos coesos com baixa fertilidade natural do Maranhão (Barbosa et al., 2021). Conseqüentemente, a tecnologia de produção de sementes de leguminosas enriquecidas com Mo através da fertilização foliar pode ser considerada consolidada. Esta prática de enriquecimento de Mo via semente proporciona algumas vantagens, como aumento da eficiência do nutriente, principalmente pela eliminação das perdas do fertilizante aplicado e o fornecimento das sementes com alta qualidade, por ser uma prática de baixo custo e tecnicamente viável (Vieira et al., 2015).

## CONCLUSÕES

Os componentes de produção comprimento de vagem e número de grãos por vagem tiveram incrementos significativos quando foi utilizado o Mo e P em conjunto.

À dose 150 kg ha<sup>-1</sup> de P aumentou a produção de grãos, a massa seca de vagem e a massa de 100 grãos, esses dois últimos são os responsáveis pelo aumento na produtividade.

À dose de 500 g ha<sup>-1</sup> de Mo, aplicada via foliar, parcelado em três estágios apresentaram o maior teor e o conteúdo de Mo na semente de feijão-caupi cultivar BRS Itaim, na ausência da aplicação de P. Esta técnica é uma forma eficaz de aumentar o teor de Mo da semente, o que leva a uma redução no custo de produção de sementes ricas em Mo.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), à Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) pela concessão de bolsas e apoio financeiro.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barbosa, E. P. A.; Sodré, D. N.; Braun, H.; Vieira, R. F. (2021). Seeds enriched with molybdenum improve cowpea yield in subhumid tropical regions of Brazil. *Agronomy Journal*, p. 1-10.
- Barrow, N.J., Cartes, P., Mora, M., (2005). Modifications to the Freundlich equation to describe anion sorption over a large range and to describe competition between pairs of ions. *European Journal of Soil Science*. 56:601–606.
- Berger, P.G.; Vieira, C.; Araújo, G.A.A.; Cassini, S.T.A. (1995). Peletização de sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) com carbonato de cálcio, rizóbio e molibdênio. *Revista Ceres*, Viçosa, 42(243):562-574.
- Calonego J. C, Ramos-Junior E. U, Barbosa R. D, Leite G.H.P, Grassi-Filho H (2010). Adubação nitrogenada em cobertura no feijoeiro com suplementação de molibdênio via foliar. *Revista Ciência Agronômica* 41:334- 340.
- Campo, R.J., Araujo, R.S., Hungria, M., (2009). Molybdenum-enriched soybean seeds enhance N accumulation, seed yield, and seed protein content in Brazil. *Field Crops Research*. 110:219–224.
- Carvalho, M., Castro, I., Moutinho-Pereira, J., Correia, C., Egea-Cortines, M., Matos, M., Rosa, E., Carnide, V., Lino-Neto, T., (2019). Evaluating stress responses in cowpea under drought stress. *Journal of Plant Physiology* 241.
- Chagas, E; Araujo, A. P; Alves, B.J.R e Teixeira, M.G. (2010). Sementes enriquecidas com fósforo e molibdênio aumentam a contribuição da fixação biológica de nitrogênio em feijoeiro estimada pela diluição isotópica de <sup>15</sup>N. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 34(4:1093-1101.
- Companhia Nacional de Abastecimento (Conab). Acompanhamento da safra brasileira de grãos: safra 2019/20. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 01 out. 2021

- Coutinho, P. W. R.; Silva, D. M. S da; Saldanha, M. E; Okumura, R. S; Silva Júnior, M. L. da (2014) Doses de fósforo na cultura do feijão-caupi na região nordeste do Estado do Pará. *Revista Agro@ambiente*, Boa Vista. 8(1):66-73.
- Costa Leite R. da; Costa Leite R. da; Silva Cravo, M. da (2020). Safrinha de feijão-caupi sob doses residuais de fósforo na Amazônia brasileira. *Pesquisa Agropecuária Tropical*. 50:66078.
- Fageria, N.K., Santos, A.B., Heinemann, A.B., (2011). Lowland rice genotypes evaluation for phosphorus use efficiency in tropical lowland. *Journal Plant Nutrition*. 34:1087–1095.
- Fageria, N.K., (2014). Yield and yield components and phosphorus use efficiency of lowland rice genotypes. *Journal Plant Nutrition*. 37:979–989.
- FAOSTAT. (2018) Food and agriculture organization of the United nations. Statistic database. Disponível em <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC> E. Acessado em out. de 2020.
- Fernandes, A. R.; Fonseca, M. R.; Braz, A. M. S. (2013) Produtividade de feijão caupi em função da calagem e fósforo. *Revista Caatinga*, 26(4):54-62.
- Filho Cargnelutti, A.; Storck, L. (2007) Estatísticas de avaliação da precisão experimental em ensaios de cultivares de milho. *Pesquisa agropecuária brasileira*, Brasília, 42(1):17-24.
- Freire Filho, F. R.; Cravo, M. da S.; Vilarinho, A. A.; Cavalcante, E. da S.; Fernandes, J. B.; Sagrilo, E.; Ribeiro, V. Q.; Rocha, M. de M.; Souza, F. de F.; Lopes, A. de M.; Gonçalves, J. R. P.; Carvalho, H. W. L. de; Raposo, J. A. A.; Sampaio, L. S. (2008). BRS Novaera: cultivar de feijão-caupi de porte semiereto. Belém, PA: *Embrapa Amazônia Oriental*, 4 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Comunicado Técnico, 215).

- Fullin, E. A.; Zangrande, M. B.; Lani, J. A.; Mendonça, L. F. de; Dessaune Filho, N. (1999). Nitrogênio e molibdênio na adubação do feijoeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 34(7):1145- 1149.
- Gerrano, A. S.; Adebola, P. O.; Jansen Van Rensburg, W. S.; Laurie, S. M. (2015). Genetic variability in cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) genotypes. *South African Journal of Plant and Soil*. 32(3):165-174.
- Gomes Junior, F. G.; Sá, M. E.; Muraishi, C. T. (2008). Adubação nitrogenada no feijoeiro em sistema de semeadura direta e preparo convencional do solo. *Acta Scientiarum. Agronomy*. 30(5):673-680.
- Gonçalves, A.; Goufo, P.; Barros, A.; Domínguez-Perles, R.; Trindade, H.; Rosa, E. S.; Ferreira, L.; Rodrigues, M. (2016). Cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp), a renewed multipurpose crop for a more sustainable agri-food system: nutritional advantages and constraints. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 96, (9):2941-2951.
- Grant, C. A. (2001). A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. *Piracicaba: ESALQ*.
- Malhotra, H.; Vandana, S.; Sharma, R, Pandey. (2018). Phosphorus Nutrition: Plant Growth in Response to Deficiency and Excess. (eds.), *Plant Nutrients and Abiotic Stress Tolerance*.
- Johnston, A. E., Poulton, P. R., Fixen, P. E., e Curtin, D. (201). Phosphorus: its efficient use in agriculture. In *Advances in agronomy*. 123:177-228.
- Kaiser, B.N., Gridley, K.L., Brady, J.N., Phillips, T., Tyerman, S.D., (2005). The role of molybdenum in agricultural plant production. *Annals of Botany*. 96:745–754.
- Karikari, B.; Arkorful, E.; Addy, S. (2015). Growth, Nodulation and Yield Response of Cowpea to Phosphorus Fertilizer Application in Ghana. *Journal of Agronomy*. 14(4):234-240.

- Kubota, F.Y.; (2006). *Aumento dos teores de fósforo e de molibdênio em sementes de feijoeiro (Phaseolus vulgaris L.) via adubação foliar*. 40p. dissertação de mestrado, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.
- Leite, L. F. C.; Araújo, A. S. F. de; Costa, C. do N.; Ribeiro, A. M. B. (2009). Nodulação e produtividade de grãos do feijão-caupi em resposta ao molibdênio. *Revista Ciência Agronômica*. 40(4):492-497.
- Lonardi, S.; Amatriain, M. M.; Liang, Q.; SHU, S. (2019). The genome of cowpea (*Vigna unguiculata* [L.] Walp.). *The Plant Journal*. 98(5):767-782.
- Liu, H., Hu, C., Hu, X., Nie, Z., Sun, X., Tan, Q., Hu, H., (2010). Interaction of molybdenum and phosphorus supply on uptake and translocation of phosphorus and molybdenum by *Brassica napus*. *Journal Plant Nutrition*. 33:1751–1760.
- Monteiro, F. P. R; Chagas Júnior, A. F; Reis, M. R; Santos, G. R. dos; Chagas, L. F. B. (2012). Efeitos de herbicidas na biomassa e nodulação do feijão-caupi inoculado com rizóbio. *Revista Caatinga*, 25:44 – 51.
- Ndor, E., Dauda, N.S., E.O. Abimuku, Azagaku, D.E., Anzaku, H. (2012). Effect of phosphorus fertilizer and spacing on growth, nodulation count and yield of cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] in southern guinea savanna agroecological zone, Nigeria. *Asian Journal of Agricultural Sciences* 4:254-257.
- Nie, Z., Li, S., Hu, C., Sun, X., Tan, Q., Liu, H., (2015). Effects of molybdenum and phosphorus fertilizers on cold resistance in winter wheat. *Journal Plant Nutrition*. 38:808–820.
- Nie Z, Li J, Liu H, Liu S, Wang D, Zhao P, Liu H. (2020). Adsorption kinetic characteristics of molybdenum in yellow-brown soil in response to pH and phosphate. *Open Chemistry*. 18:663-8.

- Oliveira, G. A.; Araújo, W. F.; Cruz, P. L. S.; Silva, W. L. M.; Ferreira, G. B. (2011). Resposta do feijão-caupi as lâminas de irrigação e as doses de fósforo no cerrado de Roraima. *Revista Ciência Agronômica*. 42(4):872-882.
- Oliveira, I. J.; Fontes, J. R. A.; Barreto, J. F.; Pinheiro, J. O. C. (2018). Recomendações técnicas para o cultivo de milho no Amazonas. Manaus: *Embrapa Amazônia Ocidental*, 28 p. (Embrapa Amazônia Ocidental. Circular Técnica, 68).
- Pacheco, R. S.; Brito, L. F.; Staliotto, R.; Pérez, D. V.; Araújo, A. P. (2012). Seeds enriched with phosphorus and molybdenum as a strategy for improving grain yield of common bean crop. *Field Crops Research*. 136:97-106.
- Pereira Junior, E. B., Oliveira, F. H. T., Oliveira, F.T., Silva, G. F., Hafle, O. M., Cruz, A. R. (2015). Adubação nitrogenada e fosfatada na cultura do feijão-caupi irrigado no município de Sousa – PB. *Global Science and Technology* 8:110 – 121.
- Pessoa, A. C. S, Ribeiro, A. C, Chagas, J. M e Cassini, S. T. A. (2000). Concentração foliar de molibdênio e exportação de nutrientes pelo feijoeiro ‘Ouro Negro’ em resposta à adubação foliar com molibdênio. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 24:75-84.
- Pimentel-Gomes, F. (1985) *Curso de Estatística Experimental*. 12. ed. Piracicaba: Livraria Nobel, 467p.
- Rose, T. J., Mori, A., Julia, C. C., Wissuwa, M., (2016). Screening for internal phosphorus utilization efficiency: comparison of genotypes at equal shoot P content is critical. *Plant Soil*. 401:79–91.
- Rutkowska, B., Szulc, W., Szychaj-Fabisiak, E., Pior N., (2017). Prediction of molybdenum availability to plants in differentiated soil conditions. *Plant Soil Environ*.

- Sapucay, M. J. C, Vieira, R. F, Carneiro, J. E. S, Junior, T. J. P, Lima M. S, Vidigal, S. M. (2016). Is it possible to attain high-yielding common bean using molybdenum fertilizer instead of side-dressed nitrogen. *Journal Plant of Nutrition*. 39:1644–1653.
- Sasode, D.S., (2008). Response of greengram [*Vigna radiata* (L) Wilczek] to fertility levels and sulphur sources application. *Agricultural Science Digest*. 28:18–21.
- Silva, P. S. L.; Oliveira, C. N. (1993). Rendimentos de feijão verde e maduro de cultivares de caupi. *Horticultura Brasileira*, Brasília. 11(2):133-135.
- Silva, M. B. de O.; Carvalho, A. J. de; Rocha, M. de M.; Batista, P. S. C.; Santos Júnior, P. V.; Oliveira, S. M. de. (2018). Desempenho agrônômico de genótipos de feijão-caupi. *Revista de Ciências Agrárias*. 41:1059-1066.
- Silva, E. M.; Santos, M. M.; Lopes, M. B. S.; Fidelis, R. R.; Rocha, W. S.; Chagas Júnior, A. F. (2019a). Eficiência de rizóbios sob doses de fósforo na cultura do feijão-caupi. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*. 9(2):67-77.
- Singh, B. B.; Ajeigbe, H.A.; Tarawali, S. A.; Fernandez-Rivera, S.; Abubakar, M. (2011). Improving the production and utilization of cowpea as food and fodder. *Field Crop Research* 84:169- 177.
- Souza, V.B. de; Carvalho, A.J. de; Damasceno Silva, K.J.; Rocha, M. de M.; Lacerda, M.L.; Pereira Filho, I.A. (2018). Agronomic performance of cowpea elite lines in the states of Minas Gerais and Mato Grosso, Brazil. *Revista Caatinga*. 31:90-98.
- Taiz, L.; Zeiger, E.; Moller, I. M.; Murphy, A. (2017). *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. 6. ed. Porto Alegre-RS: Artmed. 888 p.
- Teixeira, P. E. G., Fernandes, A. R., Galvão, J. R., Pereira, W. V. S., Casanova, S. R. A; Alves Filho, P. P. C. (2016). Cowpea yield on soils with residues of NPK

and natural phosphate fertilizers in succession the area of degraded pasture. *Revista Ceres*. 63:553-567.

- Vandamme, E., Rose, T., Saito, K., Jeong, K., Wissuwa, M., (2016a). Integration of P acquisition efficiency, P utilization efficiency and low grain P concentrations into P-efficient rice genotypes for specific target environments. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 104:413–427.
- Vilarinho, A. A. (2005). *Desempenho Produtivo de Linhagens de Feijão-caupi em Roraima - safras 2004 e 2005*. Roraima: Embrapa, 21 p.
- Vieira, R.F.; Ferreira, A. C. B e Prado, A. L. (2011). Aplicação foliar de molibdênio em feijoeiro: conteúdo do nutriente na semente e desempenho das plantas originadas. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 41:163-169.
- Vieira, R.F.; Paula Júnior, T.J. De; Prado, A.L. DO; Araújo, R.F.; Lehner, M. DA S.; Silva, R.A. (2015). A aplicação foliar de molibdênio na fase de enchimento de vagens do feijão-comum pode reduzir a qualidade da semente. *Revista Ceres*. 62(4):415-419.
- Vieira, R. F.; Paula Júnior, T. J.; Pires, A, A.; Carneiro, J. E. S.; Rocha, G. S. (2011). Common beans seed complements molybdenum uptake by plants from soil. *Agronomy Journal*. 103(6):1843-1848.
- Vieira, R. F.; Paula Júnior, T. J.; Carneiro, J. E. S. e Queiroz, M. V. (2014). Genotypic variability in seed accumulation of foliar-applied molybdenum to common bean. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 38:205-213.
- Vieira, R. F.; Salgado, L. T.; Ferreira, A. C. C. (2005). Performance of common bean using seeds harvested from plants fertilized with high rates of molybdenum. *Journal of Plant Nutrition*. 28:393-377.
- Zhu, X., Li, C., Jiang, Z., Huang, L., Feng, C., Guo, W., Peng, Y., (2012). Responses of phosphorus use efficiency, grain yield, and quality to phosphorus application amount of weak-gluten wheat. *Journal of Integrative Agriculture*. 11:1103–1110.

## SEMENTES ENRIQUECIDAS COM MOLIBDÊNIO ASSOCIADAS A DOSES DE FÓSFORO AUMENTAM A PRODUTIVIDADE DE FEIJÃO-CAUPI NO NORTE FLUMINENSE

### RESUMO

O feijão-caupi é uma excelente fonte de proteína para as regiões tropicais e subtropicais. No entanto sua produtividade é baixa, no Brasil a nutrição mineral muitas vezes tem sido negligenciada, principalmente em relação aos micronutrientes, dessa forma, os efeitos de sementes enriquecidas com molibdênio para essa cultura precisam ser estudados. Objetivou-se avaliar o efeito dos conteúdos de Mo na semente e doses de P sobre a produtividade e teores nutricionais nos grãos de feijão-caupi. Portanto instalou-se um experimento em casa de vegetação no esquema fatorial 4 x 4: quatro conteúdos de molibdênio na semente (0,44; 1,89; 3,89 e 7,22  $\mu\text{g semente}^{-1}$ ) e quatro doses de  $\text{P}_2\text{O}_5$  (0, 50, 100 e 150  $\text{kg ha}^{-1}$ ) aplicado no vaso. As sementes utilizadas nesse experimento foram enriquecidas com Mo, em 2020, no experimento 1 em casa de vegetação no município de Campos dos Goytacazes O delineamento utilizado foi em blocos casualizados, com quatro repetições. A unidade experimental foi composta por três vasos com capacidade de 8  $\text{dm}^3$  e duas plantas por vaso totalizando 192 vasos. A cultivar de feijão-caupi utilizada foi a BRS Itaim. Na floração, foi avaliado o número de nódulos (NN). No final da maturação, foram avaliados o comprimento de vagens (CV), massa seca de vagem (MSV) número de grãos por vagem (NGV), número de vagens por planta (NV), massa de 100 grãos (M100G). A produtividade e a massa de 100 grãos foram obtidas com 13% de umidade e teores nutricionais nos grãos de feijão-caupi. Houve interação significativa entre os conteúdos de molibdênio na semente e doses de  $\text{P}_2\text{O}_5$  para o (NN) e produtividade de grãos ( $p < 0,05$ ). Para os demais componentes de produção (CV), (MSV), (NGV), (NV) e (M100S) apenas o fósforo teve efeito significativo ( $p < 0,05$ ) com efeito linear e aumento de 59, 33, 67, 50 e 70%, respectivamente, para estes cinco componentes. Dentre os 13 nutrientes avaliados nos grãos, apenas 4 nutrientes foram influenciados pelos tratamentos, sendo o nitrogênio (N) influenciado pela interação entre os conteúdos de molibdênio



e as doses de  $P_2O_5$ , e o potássio (K), níquel (Ni) e Manganês (Mn) apenas pelo fósforo. Elevadas doses de  $P_2O_5$  combinados com alto teor de Mo na semente aumentaram em 170% e 29%, respectivamente, a nodulação e o desempenho simbiótico do feijão-caupi. A interação entre o conteúdo de molibdênio de  $\cong 2,9 \mu\text{g semente}^{-1}$  e a dose de  $150 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $P_2O_5$  proporcionou a maior produtividade de grãos de  $\cong 2.506 \text{ kg/ha}$ .

**Termos de indexação:** Componentes de produção, Nutrição Mineral, Fixação Biológica de Nitrogênio, *Vigna unguiculata*.

## SEEDS ENRICHED WITH MOLYBDENUM ASSOCIATED WITH PHOSPHORUS DOSES INCREASE THE PRODUCTIVITY OF COWPEA BEANS IN NORTH FLUMINENSE

### ABSTRACT

Cowpea is an excellent source of protein for tropical and subtropical regions. However its productivity is low, in Brazil mineral nutrition has often been neglected, especially in relation to micronutrients, thus, the effects of seeds enriched with molybdenum for this crop need to be studied. The objective was to evaluate the effect of Mo contents in the seed and P doses on cowpea yield. In 2020 seeds with 0.44 (low) and 7.22 (high)  $\mu\text{g seed}^{-1}$  of Mo were harvested from a greenhouse experiment in Campos dos Goytacazes. An experiment with these seeds was installed and conducted in a greenhouse in a 4 x 4 factorial scheme: four seed molybdenum contents (0.44; 1.89; 3.89 and 7.22  $\mu\text{g seed}^{-1}$ ) and four doses of  $P_2O_5$  (0, 50, 100 and 150  $\text{kg ha}^{-1}$ ) applied to the pot. The design used was in randomized blocks, with four replications. The experimental unit consisted of three pots with a capacity of 8  $\text{dm}^3$  and two plants per pot, totaling 192 pots. The cowpea cultivar used was BRS Itaim. At flowering, the number of nodules (NN) was evaluated. At the end of maturation, pod length (CV), pod dry mass (MSV), number of grains per pod (NGV), number of pods per plant (NV), weight of 100 seeds (M100S) were evaluated. Yield and weight of 100 grains were obtained with 13% moisture. There was a significant interaction between molybdenum contents in the seed and  $P_2O_5$

doses for (NN) and grain yield ( $p < 0.05$ ). For the other production components (CV), (MSV), (NGV), (NV) and (M100S) only phosphorus had a significant effect ( $p < 0.05$ ) with a linear effect and an increase of 59, 33, 67, 50 and 70%. Among the 13 nutrients evaluated, the harvested seeds showed alterations in the contents of 4 elements, with nitrogen (N) being influenced by the interaction between molybdenum contents and  $P_2O_5$  doses, and potassium (K), nickel (Ni) and Manganese (Mn) only by phosphorus. High doses of  $P_2O_5$  combined with high Mo content in the seed increased by 170% and 29%, respectively, the nodulation and symbiotic performance of cowpea. The interaction between the molybdenum content of  $\cong 2.9 \mu\text{g seed}^{-1}$  and the dose of  $150 \text{ kg ha}^{-1}$  of  $P_2O_5$  provided the highest grain yield of  $\cong 2,506 \text{ kg/ha}$ .

**Keywords:** Production components, Mineral Nutrition, Biological Nitrogen Fixation, *Vigna unguiculata*.

## INTRODUÇÃO

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), também conhecido como feijão fradinho, feijão-de-corda ou feijão-macassar, é uma leguminosa pertencente à classe Dicotiledônea da ordem Fabales. O feijão-caupi é uma cultura anual, herbácea, com hábito de crescimento determinado ou indeterminado é uma fonte primária de proteína, destacando-se como cultura de segurança alimentar para grandes regiões da África seu berço de origem, Ásia e América do Sul Wang et al. (2017) e Burridge et al. (2017). No Brasil é bastante cultivado nas regiões Norte, Nordeste por ser rico em vitaminas, proteínas, minerais representando uma atividade socioeconômica muito importante para as famílias de baixa renda dessas regiões (Bezerra et al., 2014). Além disso, o feijão-caupi também é rico em fitoquímicos como fenóis, flavonoides e alcaloides (Sivakumar et al., 2018; Sombi et al., 2018 e Alidu et al., 2020). Assim, a plantação do feijão-caupi tem sido viabilizada em grandes áreas das regiões Centro-Oeste, Norte e Nordeste, como cultura principal ou de safra (Bezerra et al., 2012).

Mesmo com o avanço da tecnologia empregada no cultivo de feijão-caupi a produtividade ainda é baixa, a produção nacional na última safra 2020/2021 foi estimada em 712,6 mil toneladas com produtividade média de 545 kg/ha, com área plantada de 1.307.800 ha (Conab, 2021). Uma das principais causas dessa baixa produtividade está relacionada ao alto grau de intemperismo dos solos brasileiros, esse processo eleva a concentração de íons de hidrogênio, que somadas às cargas positivas presentes no solo facilitam a perda de cátions por lixiviação dificultando a absorção dos nutrientes (Lambers e Oliveira, 2019).

Por outro lado, em algumas regiões do Brasil, a nutrição mineral muitas vezes tem sido negligenciada, principalmente em relação aos micronutrientes (Teixeira et al., 2004). Por isso, em solos deficientes em Mo, especialmente nos solos com baixo pH, a adubação com molibdênio pode trazer aumentos expressivos de produtividade (Sapucay et al., 2016). Alguns autores como Vieira et al. (2011), Pacheco et al. (2012) e Vieira et al. (2015) relataram que o fornecimento de sementes ricas em Mo para os agricultores proporcionam aumento de produtividade, maior resistência das plantas a estresses bióticos e abióticos e reduz a necessidade de N na cultura do feijão comum.

Além do molibdênio, outro importante nutriente para essa leguminosa é o fósforo (P), que participa de processos importantes na planta, tais como fotossíntese, respiração, armazenamento e transferência de energia pelo ATP, fixação biológica de nitrogênio (Shahid et al., 2012; Malhotra et al., 2018) principalmente as leguminosas que dependem fortemente da aquisição e manejo adequado do P. A produção global de alimentos é totalmente dependente de fertilizantes fosfatados (Bindraban et al., 2020), dessa forma a suplementação fosfatada para as culturas auxilia no aumento da taxa de fixação de carbono, no uso eficiente da água e melhoram o desempenho fisiológico, refletindo em altas produtividades (RuizNavarro et al., 2019). Vários trabalhos demonstram o efeito positivo da adubação fosfatada em feijão-caupi (Vilarinho et al., 2014; Silva et al., 2019; Costa Leite et al., 2020) e da interação entre o P e Mo em feijão comum (Chagas et al., 2010; Pacheco et al., 2012).

Portanto, a expressão do potencial produtivo do feijão-caupi depende da combinação favorável da suplementação desses nutrientes, bem como das características morfológicas e fisiológicas das sementes, densidade populacional das plantas (Bezerra et al., 2014). Dessa forma, não há trabalhos na literatura

especializada sobre o enriquecimento de sementes com Mo associado a doses de P em feijão-caupi. Por isso, nada se sabe sobre o comportamento das plantas oriundas de sementes enriquecidas com Mo e plantadas na região do Norte Fluminense. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito dos conteúdos de Mo na semente, associada às doses de P encubadas antes do plantio sobre os componentes de produção, produtividade de grãos e os teores nutricionais dos grãos de feijão-caupi no Norte Fluminense.

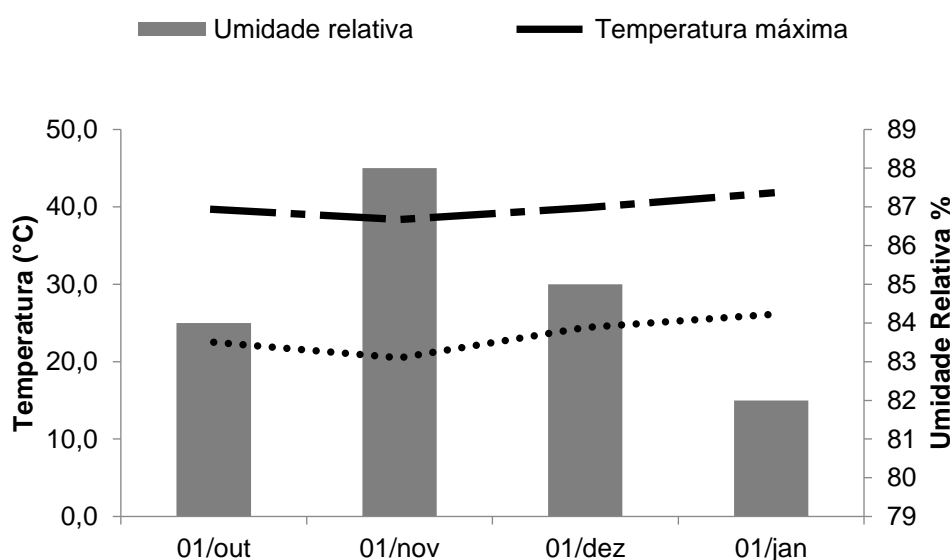
## MATERIAL E MÉTODOS

### Produção de sementes ricas em molibdênio em Campos dos Goytacazes - RJ

Para obter as sementes de feijão-caupi com quatro Conteúdos de Mo na Semente (CMoS) foi conduzido um experimento em casa de vegetação, em Campos dos Goytacazes (21°45'S e 41°17'W, 11 metros de altitude), município do Estado Rio de Janeiro. Esse experimento foi instalado no delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições. Os tratamentos foram a aplicação de Mo na folhagem nas doses: (0, 100, 250 e 500 g ha<sup>-1</sup>) e a fonte de Mo utilizada foi o molibdato de sódio (Na<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O). A unidade experimental foi composta por três vasos com capacidade de 8 dm<sup>3</sup> e duas plantas por vaso. A cultivar de feijão-caupi utilizada foi a BRS Itaim. Antes do plantio o teor e o conteúdo de Mo foram quantificados e apresentaram 2,07 mg kg<sup>-1</sup> e 0,64 µg semente<sup>-1</sup>, respectivamente. Após a condução do experimento os teores e conteúdos de molibdênio quantificados foram 1,92; 8,41; 17,83; e 39,74 mg kg<sup>-1</sup> e 0,44; 1,89; 3,89 e 7,22 µg semente<sup>-1</sup> nas doses (0, 100, 250 e 500 g ha<sup>-1</sup>) respectivamente. O conteúdo de Mo na semente representa o Mo acumulado em uma semente que estará disponível para a planta cultivada a partir desta semente. O conteúdo de Mo na semente, em µg semente<sup>-1</sup>, foi obtido pela multiplicação do teor de Mo pela massa de uma semente seca, em g, estimada a partir da massa de 100 grãos. É importante frisar que o Mo contido na semente só supre a planta-filha, ou seja, as sementes colhidas da planta-filha voltam a ser pobres em Mo se o solo for deficiente nesse micronutriente (Vieira et al., 2005).

## Sementes enriquecidas com molibdênio

Com as sementes enriquecidas com Mo, foi conduzido o segundo experimento, em casa de vegetação na Unidade de Apoio à Pesquisa, da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, no município de Campos do Goytacazes (21°45'S e 41°17'W, 11 metros de altitude). Durante o período experimental, as temperaturas máxima e mínima e a umidade relativa do ar foram medidas com auxílio do HOBO® pro v2 “data logger” e estão apresentadas na (Figura 1).



**Figura 1.** Médias de temperatura máxima e mínima e umidade relativa do ar no período de outubro/2020 a janeiro/2021 medidas pelo HOBO® pro v2 “data logger”, Campos dos Goytacazes – RJ.

Antes da instalação do experimento amostras de solo foram coletadas na profundidade de 0-20 cm, na área experimental do Colégio Agrícola Antônio Sarlo e misturadas com areia na proporção (2:1 v/v) dois de areia e um de solo, sendo determinadas suas características químicas: pH em H<sub>2</sub>O = 5,6; P (Melich<sup>-1</sup>) = 6 mg dm<sup>-3</sup>; K (Melich<sup>-1</sup>) = 1,0 mmol dm<sup>-3</sup>; Ca = 10,80 mmol dm<sup>-3</sup>; Mg = 6,50 mmol dm<sup>-3</sup>; Al<sup>3+</sup> = 0,0 mmol dm<sup>-3</sup>; H+Al = 11,70 mmol dm<sup>-3</sup>; Na = 0,60 mmol dm<sup>-3</sup>; CTC (t) = 7,20 g dm<sup>-3</sup>; CTC (T) = 30,60 mmol dm<sup>-3</sup>; soma de base = 18,90 mmol dm<sup>-3</sup>; V = 62 %; MO = 12,41 g dm<sup>-3</sup>; Fe = 107,29 mg dm<sup>-3</sup>; Cu = 0,10 mg dm<sup>-3</sup>; Zn = 3,0 mg dm<sup>-3</sup>; Mn = 35,77 mg dm<sup>-3</sup>; S= 2,0 mg dm<sup>-3</sup>; B= 0,14 mg dm<sup>-3</sup>.

Os tratamentos foram arranjados no esquema fatorial 4 x 4: quatro conteúdos de molibdênio na semente (0,44; 1,89; 3,89 e 7,22 µg semente<sup>-1</sup>) e

quatro doses de  $P_2O_5$  (0, 50, 100 e 150  $kg\ ha^{-1}$ ) aplicado no vaso. O delineamento utilizado foi em blocos casualizados, com quatro repetições. A fonte de P foi o superfosfato simples (20% de  $P_2O_5$ ). A unidade experimental foi composta por três vasos com capacidade de 8  $dm^3$  e duas plantas por vaso totalizando 192 vasos. A cultivar de feijão-caupi utilizada foi a BRS Itaim.

Antes da semeadura, os vasos foram regados com água até 60% da sua capacidade de campo e posteriormente encubados com as doses de  $P_2O_5$ . Após alguns dias, realizou-se a semeadura do feijão-caupi. Para adubação de plantio, metade das doses de 40  $kg\ ha^{-1}$  de N (nitrato de amônio, 35% de N) e 60  $kg\ ha^{-1}$  de KCl (Cloreto de potássio, 60% de  $K_2O$ ) foram aplicadas em semeadura e a outra metade em cobertura, aos 20 dias após emergência (DAE).

#### Características avaliadas

Na floração, foi avaliado o número de nódulos (NN) de uma unidade experimental com duas plantas de cada tratamento, com auxílio de água da torneira e peneira afim de minimizar a perda dos nódulos na hora da lavagem. As raízes foram separadas da parte aérea, e os nódulos destacados, contados e em seguida, secos em estufa de circulação forçada de ar a 70°C, até atingirem massa constante, para determinação da massa de nódulos secos (MSN).

Ao final da maturação as vagens das quatro plantas úteis dos vasos foram colhidas, à medida que amadureciam. Em seguida, essas vagens foram debulhadas e os grãos foram pesados para determinar a produtividade de grãos. Ademais, foram avaliados o comprimento de vagens (CV), número de grãos por vagem (NGV), número de vagens por planta (NV), massa de 100 grãos (M100G). A produtividade e a massa de 100 grãos foram obtidas com 13% de umidade.

Posteriormente, os grãos foram secos em estufa de ventilação forçada de ar a 70°C, até atingirem massa constante para determinação dos teores nutricionais no grão. Em seguida, esses grãos foram moídos em moinho tipo Wiley com peneira de 20 mesh. Os teores de nitrogênio (N) foram determinados após digestão do material em  $H_2SO_4$ . Foi utilizado o método colorimétrico Nessler por espectrofotometria (Specord 210, Analytik Jena, Jena, Alemanha). Os teores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), ferro (Fe), cobre (Cu), manganês (Mn), molibdênio (Mo), níquel (Ni) e zinco (Zn) foram determinados após digestão do material seco em  $HNO_3$  por meio espectrômetro de

emissão atômica (ICPE-9000, Shimadzu, Kyoto, Japão). As configurações do gás argônio utilizado foram gás do plasma 8,0 L.min<sup>-1</sup>, gás auxiliar 0,70 L.min<sup>-1</sup> e gás carreador 0,55 L.min<sup>-1</sup>.

### Análises Estatísticas

Os dados foram submetidos aos testes de normalidade (Lilliefors) e homocedasticidade (Cochran e Bartlett). Os dados obtidos foram submetidos às análises de variância (ANOVA), após a detecção de significância pelo teste F da ANOVA, os tratamentos foram estudados por meio de análises de Regressão. Para as análises de regressão, quando foi observada significância para a interação P x Mo na ANOVA, optou-se por escolher um modelo de Superfície de Resposta que melhor explicasse o fenômeno biológico. Para isso, foi considerado o modelo de superfície de resposta de segundo grau completo, com os fatores P e Mo, suas interações e suas combinações até o grau 2. Para a escolha do melhor modelo de regressão utilizaram-se os seguintes critérios: 1- Anova da regressão; 2- Coeficiente de determinação do modelo; 3- Teste de significância dos coeficientes do modelo; 4- Critério da parcimônia. Para as características em que a ANOVA revelou a não significância da interação P x Mo, as regressões foram realizadas para cada fator, quando este foi significativo na ANOVA. Neste caso, regressão linear simples, mas os critérios de escolha destes modelos são os mesmos para as superfícies de resposta.

## RESULTADOS

Verificou-se pela análise de variância, interação significativa entre as doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e conteúdo de molibdênio na semente (CMoS) para o número de Nódulos (NN) e produtividade de grãos (PG). O coeficiente de variação (CV%) para essas variáveis foi de 13,32 e 5,33%, respectivamente (Tabela 1), valores estes considerados muito bons como medidas de precisão ambiental. Houve efeito significativo apenas do fósforo para as demais variáveis avaliadas: comprimento de vagem (CV), massa seca de vagem (MSV), número de grãos por vagem (NGV), número de vagens por planta (NV) e massa de 100 grãos (M100G), o coeficiente

de variação para essas variáveis foi de 1,97, 7,34, 10,44, 11,65 e 5,26%, respectivamente, esses valores são consistentes com os achados na literatura.

**Tabela 1.** Valor de F para as variáveis dependentes afetadas pelas doses de  $P_2O_5$ , pelo conteúdo de molibdênio na semente (CMoS) e pela interação entre esses fatores em plantas de feijão-caupi cultivar BRS Itaim. Campos dos Goytacazes, RJ - Brasil

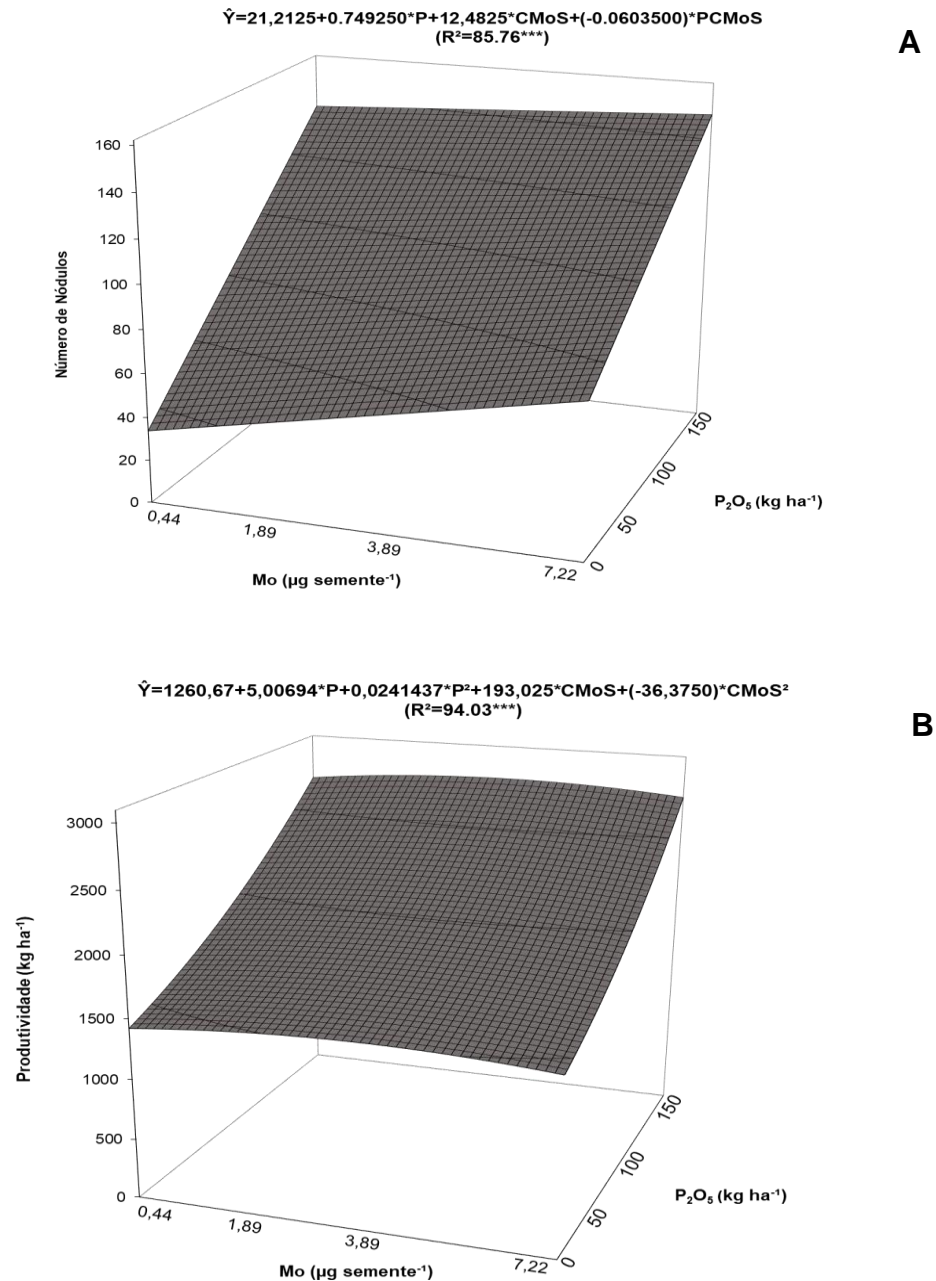
Variável	Doses de $P_2O_5$	CMoS	$P_2O_5$ *Mo	CV (%)
Comprimento de vagem (cm)	1466,31***	29,30 <sup>ns</sup>	1,79 <sup>ns</sup>	1,97
Massa seca de vagem (g)	42,30***	1,91 <sup>ns</sup>	0,54 <sup>ns</sup>	7,34
Número de grãos/vagem	44,30***	2,43 <sup>ns</sup>	0,95 <sup>ns</sup>	10,44
Número de vagem (planta <sup>-1</sup> )	58,80***	1,08 <sup>ns</sup>	1,67 <sup>ns</sup>	11,65
Massa de 100 grãos (g)	273,23***	2,40 <sup>ns</sup>	1,01 <sup>ns</sup>	5,26
Número de Nódulos	143,29***	10,40**	3,27***	13,32
Produtividade de grãos (kg ha <sup>-1</sup> )	419,84***	3,42**	2,37**	5,33

CV: Coeficiente de variação (%). O grau de liberdade para doses de  $P_2O_5$  é 3, para (CMoS) é 3 e para interação é 9. 'ns' = não significativo, \* $P \leq 0,05$ ; \*\* $P \leq 0,01$  e \*\*\* $P \leq 0,001$ .

A interação entre CMoS e as doses de  $P_2O_5$  foi significativa sobre o número de nódulos no feijão-caupi cultivar BRS Itaim (Tabela 1). Os CMoS e as doses de  $P_2O_5$  afetaram de forma linear crescente o número de nódulos no feijão-caupi (Figura 2A). As plantas cultivadas a partir de sementes com alto conteúdo de Mo (7,22  $\mu\text{g semente}^{-1}$ ) tiveram 29% mais nódulos (109 vs. 84) do que aquelas cultivadas com baixo conteúdo de Mo (0,44  $\mu\text{g semente}^{-1}$ ), ( $P=0,003$ ). As plantas cultivadas na dose 150 de  $\text{kg ha}^{-1}$  de  $P_2O_5$  tiveram 170% mais nódulos (138 vs. 51) do que aquelas cultivadas na menor dose de  $P_2O_5$ .

A interação significativa entre os CMoS e as doses de  $P_2O_5$  afetaram a produtividade de grãos de forma quadrática crescente e linear crescente, respectivamente (Figura 2B), ( $P=0,027$ ). A interação entre o conteúdo de molibdênio de  $\cong 2,9 \mu\text{g semente}^{-1}$  e a dose de 150  $\text{kg ha}^{-1}$  de  $P_2O_5$  proporcionou a maior produtividade de grãos de  $\cong 2.506 \text{ kg ha}^{-1}$ .

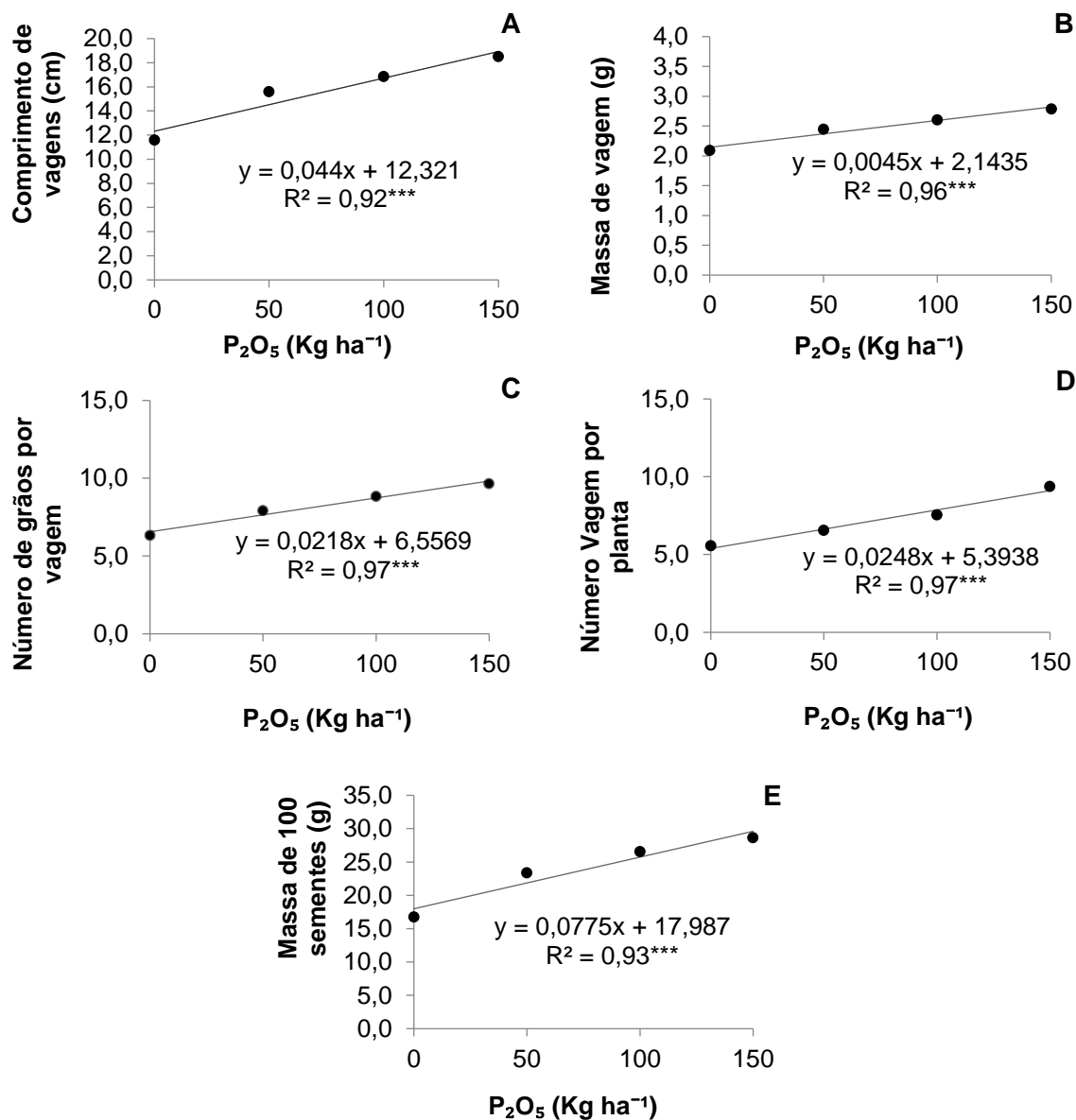




**Figura 2.** Número de Nódulos (A) e Produtividade de grãos (B) em feijão-caupi cultivar BRS Itaim cultivadas em função do CMoS e doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Campos dos Goytacazes – RJ.

As doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> afetaram de forma linear crescente o comprimento de vagem (CV) (Figura 3A), Massa seca de vagem (MSV) (Figura 3B), Número de grãos por vagem (NGV) (Figura 3C), Número de vagem por planta (NV) (Figura 3D) e a Massa de 100 grãos (M100G) (Figura 3E) independente dos CMoS. A dose de 150 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> proporcionou aumento significativo de  $\cong$  59%, 33%, 67%, 50%

e 70%, respectivamente para todas essas variáveis avaliadas em relação à dose 0  $\text{kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ .



**Figura 3.** Comprimento de vagem (A), Massa de vagem (B) Número de grãos por vagem (C), Número de vagem por planta (D) e Massa de 100 grãos (E) em feijão-caupi cultivar BRS Itaim cultivadas em função do CMOs e doses de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , Campos dos Goytacazes – RJ.

A análise de variância mostrou interação significativa entre as doses de  $\text{P}_2\text{O}_5$  e conteúdo de molibdênio na semente (CMoS) sobre os teores nutricionais na semente apenas para nitrogênio (N). O coeficiente de variação para esse nutriente foi de 4,87% (Tabela 2). Houve efeito significativo apenas do fósforo para o potássio (K), manganês (Mn) e níquel (Ni). O coeficiente de variação para esses nutrientes

foi de 12,06; 31,09 e 31,25%, respectivamente. Para os macronutrientes P, Ca, Mg, e S não houve efeito significativo dos tratamentos em estudo, as médias dos teores desses nutrientes foram: 4,45; 0,64; 2,25 e 2,74 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Para os micronutrientes B, Cu, Zn, Fe e Mo não houve efeito significativo dos tratamentos, as médias dos teores desses nutrientes foram: 33; 8,95; 79; 33,47 e 1,19 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente, estando de acordo com os achados na literatura.

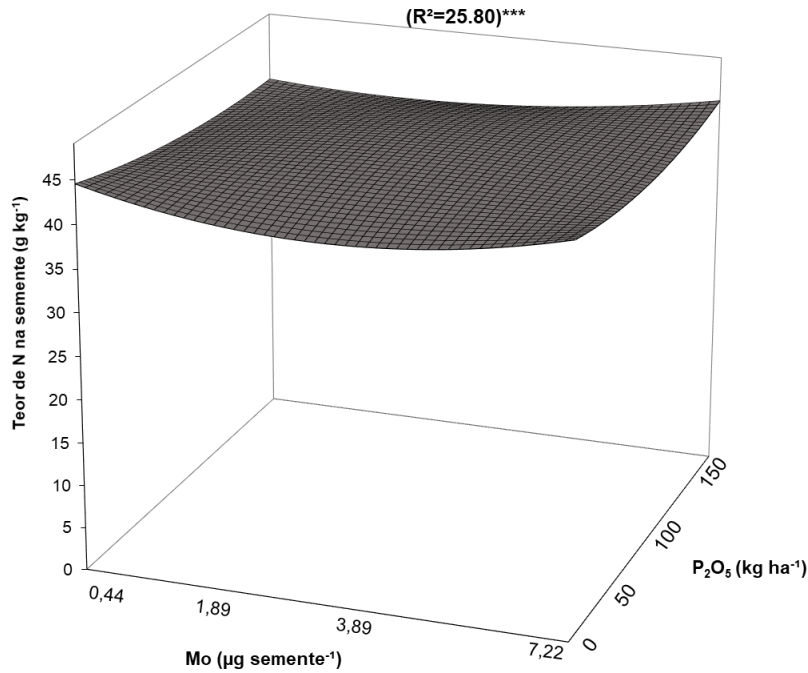
**Tabela 2.** Valor de F para os teores nutricionais nos grãos em função das doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, do conteúdo de molibdênio na semente (CMoS) e pela interação entre esses fatores em plantas de feijão-caupi cultivar BRS Itaim Campos dos Goytacazes, RJ - Brasil

Teores Nutricionais	Doses de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CMoS	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> *Mo	CV (%)
N (g kg <sup>-1</sup> )	1,71 <sup>ns</sup>	2,40 <sup>ns</sup>	2,74 <sup>***</sup>	4,87
K (g kg <sup>-1</sup> )	6,31 <sup>***</sup>	0,30 <sup>ns</sup>	0,78 <sup>ns</sup>	12,06
Ni (mg kg <sup>-1</sup> )	2,82 <sup>*</sup>	1,17 <sup>ns</sup>	0,69 <sup>ns</sup>	31,09
Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	4,65 <sup>***</sup>	1,55 <sup>ns</sup>	0,57 <sup>ns</sup>	31,25

CV: Coeficiente de variação (%). O grau de liberdade para doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> é 3, para (CMoS) é 3 e para interação é 9. 'ns' = não significativo, \*P ≤ 0,05; \*\*P ≤ 0,01 e \*\*\*P ≤ 0,001.

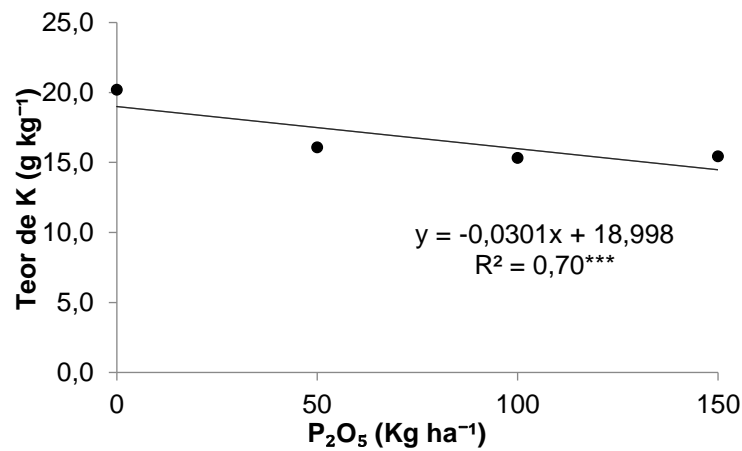
A interação significativa entre os CMoS e as doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> afetaram de forma quadrático decrescente e linear crescente o teor de nitrogênio nos grãos de feijão-caupi cultivar BRS Itaim, respectivamente (Figura 4). Os grãos oriundos a partir de sementes com alto conteúdo de Mo (7,22 µg semente<sup>-1</sup>) apresentaram maior teor de N nos grãos de ≈ 43,5 g kg<sup>-1</sup> do que aquelas cultivadas com baixo conteúdo de Mo (0,44 µg semente<sup>-1</sup>), essa diferença foi significativa (P = 0,012). Os grãos oriundos a partir de plantas adubadas com doses de 150 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> tiveram maior teor de N nos grãos de ≈ 46,8 g kg<sup>-1</sup> do que aquelas cultivadas com a menor dose de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

$$\hat{Y}=50,6875+(-0,274000)*P+0,0014975*P^2+(-7,70963)*CMoS+1,55188*CMoS^2+0,273733*PCMoS+(-0,00162075)*P^2CMoS+(-0,0545875)*PCMoS^2+0,000331250*P^2CMoS^2$$



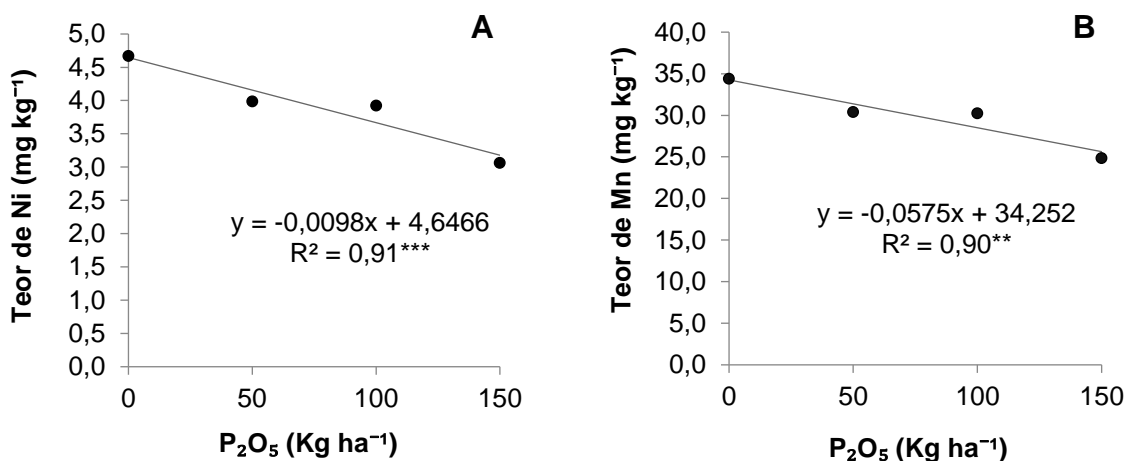
**Figura 4.** Teor de nitrogênio (N) nos grãos de feijão-caupi cultivar BRS Itaim cultivadas em função doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e do CMoS, Campos dos Goytacazes – RJ.

As doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> afetaram de forma linear decrescente os teores de potássio, níquel e manganês nos grãos de feijão-caupi independente dos CMoS. Quando se aplicou as doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> o teor de potássio que estava calculado em 20,18 g kg<sup>-1</sup> na dose 0 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> reduziu para 15,17 g kg<sup>-1</sup> na dose de 150 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Figura 5A).



**Figura 5.** Teor de potássio (K) nos grãos de feijão-caupi cultivar BRS Itaim cultivadas em função doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e do CMoS, Campos dos Goytacazes – RJ.

Quando se aplicou as doses de  $P_2O_5$  o teor de níquel que estava calculado em  $4,67 \text{ mg kg}^{-1}$  na dose  $0 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $P_2O_5$  reduziu para  $3,06 \text{ mg kg}^{-1}$  na dose de  $150 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $P_2O_5$  (Figura 6A). Quando se aplicou as doses de  $P_2O_5$  o teor de manganês que estava calculado em  $34,36 \text{ mg kg}^{-1}$  na dose  $0 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $P_2O_5$  reduziu para  $24,84 \text{ mg kg}^{-1}$  na dose de  $150 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $P_2O_5$  (Figura 6B).



**Figura 6.** Teor de níquel (Ni) (A) e manganês (Mn) (B) nos grãos de feijão-caupi cultivar BRS Itaim cultivadas em função doses de  $P_2O_5$  e do CMoS, Campos dos Goytacazes – RJ.

## DISCUSSÃO

Os resultados obtidos no presente estudo demonstraram coeficientes de variação baixos e médios apontados como coeficientes bons dentro da literatura. Segundo Pimentel-Gomes, (2009) para experimentos de campo com culturas agrícolas, considera-se os valores de CV como baixos, quando são inferiores a 10%, médios, quando estão entre 10 e 20%, altos, quando estão entre 20 e 30%, e muito altos, quando são superiores a 30% (Tabela 1 e 2).

A interação positiva entre o fósforo e molibdênio em feijão comum já foram relatadas na literatura por Pacheco et al. (2012). Esses autores observaram que sementes enriquecidas, com P e Mo, aumentam o número de vagens por planta, produtividade de grãos e o teor de N nos grãos em feijão comum, para plantas que foram inoculadas e receberam N em cobertura. Resultados semelhantes foram observados no presente estudo, pois as sementes enriquecidas com Mo e doses

de P no plantio aumentaram a produtividade de grãos do feijão-caupi. Por interferir no metabolismo do nitrogênio nas plantas, principalmente em leguminosas, o Mo pode ser capaz de aumentar a produtividade de grãos do feijão-caupi. Provavelmente isso ocorreu devido a semente apresentar uma quantidade elevada de Mo para atender as necessidades da cultura em relação a este micronutriente. Além disso, o aumento do número de nódulos das raízes é possível, porque o fósforo é fonte de energia para a planta (ATP) que quando bem nutrida, disponibiliza carboidratos para as bactérias de rizóbio auxiliando assim, no desenvolvimento dos nódulos.

Os benefícios das sementes enriquecidas com Mo, para melhorar rendimento de grãos nas culturas, vêm sendo demonstrados em várias culturas como em soja (Campo et al., 2009), em feijão comum (Vieira et al., 2005, 2011 e 2015) e recentemente em feijão-caupi (Barbosa et al., 2021). O molibdênio tem influência marcante no metabolismo do N (Taiz e Zeiger, 2017), nos sistemas biológicos é constituinte de enzimas de grande importância para as plantas dentre essas enzimas estão xantina oxidase, aldeído oxidase e sulfito oxidase, mas a função mais importante do Mo está relacionada com o metabolismo do N, sobretudo com a atuação das enzimas nitrato redutase e nitrogenase, todas essas enzimas têm influência na resposta da planta a estresses bióticos e abióticos (Mendel, 2011). Portanto, o fornecimento de sementes ricas em Mo para os agricultores podem proporcionar aumento de produtividade, maior resistência das plantas a estresses bióticos e abióticos e a redução da aplicação de adubos nitrogenados (Vieira et al., 2015).

O efeito sinérgico entre o P e Mo aumentou a produtividade de grãos. Isso é possível, pois o nível de fosfato correlaciona-se positivamente com o do molibdato na solução do solo uma vez que, o fosfato desloca o molibdato da superfície de adsorção para a solução do solo, em consequência, a disponibilidade de Mo no solo é bastante afetada pelo nível de P no solo (Mengel e Kirkby, 1987). Esse aumento de produção devido aos conteúdos de Mo pode ser resultado da influência desse micronutriente sobre as enzimas nitrogenase, responsável pela fixação biológica do  $N_2$ , e redutase do nitrato, responsável pela redução do nitrato a nitrito, aumentando suas atividades, de modo a possibilitar maior aproveitamento do N e melhor qualidade nutricional das plantas. Além disso, a aplicação de P ao feijão-caupi resultou em aumentos significativos no crescimento da planta,

desempenho simbiótico e rendimento de grãos. Resultados semelhantes foram observados por Mourice e Tryphone, (2012) e Namugwanya et al. (2014). Esses autores verificaram que a adubação fosfatada no feijoeiro, em condições de campo, proporcionou aumentos da biomassa da parte aérea e da nodulação radicular.

A concentração ótima e adequada de P no solo aumenta o número de grãos, a matéria seca dos grãos, o rendimento dos grãos e o índice de colheita (Malhotra et al., 2018). Vários trabalhos demonstram ganhos significativos com a adição de elevadas doses de  $P_2O_5$  na cultura do feijão-caupi, no entanto, esses ganhos estão relacionados com a cultivar em estudo, o tipo de solo e o manejo de adubação (Vilarinho et al., 2014; Melo et al., 2018; Costa Leite et al., 2020).

A interação entre o fósforo e o molibdênio aumentou o número de nódulos em neste experimento. Essa interação e melhor fixação do  $N_2$  também foi observada por Chagas et al. (2010) que verificaram aumento no crescimento e a fixação biológica de  $N_2$  em feijão-comum oriundas de sementes enriquecidas com P e Mo em experimentos com vasos. Avaliando sementes enriquecidas com Mo e doses de N em feijão-caupi Barbosa et al. (2021) observaram que plantas cultivadas a partir de sementes com alto conteúdo de Mo apresentaram número e peso de nódulos aproximadamente 3,5 vezes maiores do que aqueles cultivados a partir de sementes com baixo conteúdo de Mo. Segundo Almeida et al. (2013), plantas de feijoeiro cultivadas a partir de sementes com baixa concentração de Mo apresentaram menor fixação biológica de nitrogênio do que aquelas cultivadas a partir de sementes com alta concentração de Mo em casa de vegetação. Esses estudos indicam que o molibdênio é um micronutriente fundamental para leguminosas de grãos, e que sua deficiência pode prejudicar a simbiose com rizóbios.

Além disso, o efeito do fósforo na nodulação em leguminosas também já foi demonstrado em vários estudos. Almeida et al. (2000) e Araújo e Teixeira, (2000) relatam que as variáveis relacionadas à fixação biológica de  $N_2$  são mais responsivas à disponibilidade de P no solo, do que as variáveis relacionadas ao crescimento das plantas. Nesse mesmo contexto, Karikari et al. (2015) concluíram que o uso de fertilizantes fosfatados aumentou significativamente o crescimento vegetativo, a nodulação e o rendimento dos grãos de feijão-caupi, corroborando com os resultados obtidos neste estudo. Segundo Kubota et al. (2006) plantas cultivadas em áreas com baixos teores de P no solo, afetou diretamente a FBN,

haja vista que o P atua diretamente na iniciação, crescimento e funcionamento dos nódulos. De acordo com Nkaa et al., (2014) o aumento dos teores de P, proporcionou incrementos no número e no tamanho dos nódulos na cultura do feijão-caupi. Esses mesmos resultados foram observados no presente estudo, onde as menores doses de P proporcionaram os menores números e massa seca de nódulos e doses maiores maior número de nódulos.

Estudando doses de  $P_2O_5$  em plantas de feijão-caupi, Silva et al. (2010) observaram efeito quadrático na produção de nódulos e o valor máximo de 46 nódulos na dose de estimada em  $32,5 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $P_2O_5$  diferentemente dos resultados obtidos no presente estudo, pois com o aumento das doses de  $P_2O_5$  foi observado aumento no número de nódulos. De acordo com outros estudos desenvolvidos por Dekhane et al. (2011) e Musa et al. (2011) a inoculação e a adubação fosfatada aumentaram o teor de proteína bruta no grão de feijão-caupi que é uma grande vantagem em termos de nutrição de qualidade, o que torna o uso do P na cultura fator limitante para produção e qualidade nutricional.

O número de vagens por planta foi linearmente influenciado pelas doses de P, possivelmente ocasionado pelo estímulo do P no desenvolvimento radicular, favorecendo a formação inicial das partes reprodutivas (Raij, 1991). Assim a adição crescente de P pode melhorar a formação de grãos, assim como proporcionar às plantas maior resistência às adversidades (Zucareli et al., 2011), o que possibilita condições para o feijão-caupi produzir maior quantidade de grãos e de melhor qualidade, as quais foram observadas neste estudo. Corroborando com estudos de outros pesquisadores Haruna e Usman, (2013); Ndor et al. (2012); Singh et al. (2011), que também observaram um aumento significativo no número de vagens de feijão-caupi em resposta ao incremento de fósforo no solo.

Segundo Ayodele e Oso, (2014) e Malhotra et al., (2018) afirmam que a concentração ótima de P no solo, aumenta o número de vagens por planta, o número de sementes por vagem, a massa de 100 sementes, a matéria seca das sementes, o rendimento de sementes e o índice de colheita validando os resultados obtidos nesse estudo. A disponibilidade de fósforo no solo pode influenciar na absorção de outros nutrientes. No presente estudo foi demonstrado a influência da adubação fosfatada e dos conteúdos de Mo nos teores nutricionais nos grãos de feijão-caupi e que existe uma correlação positiva entre nitrogênio e fósforo (Lin et al., 2013), portanto o incremento das doses de P influenciaram na mesma



magnitude os teores de nitrogênio. De acordo com Pacheco et al. (2012) estudando sementes enriquecidas com P e Mo, observaram interação entre esses nutrientes no teor de nitrogênio nos grãos, resultados semelhantes ao presente estudo, onde o teor de N nos grãos em plantas de feijão-caupi também foram influenciados pelo conteúdo de Mo na semente e doses de P.

Portanto, os resultados obtidos neste estudo demonstram que sementes enriquecidas com Mo e doses de  $P_2O_5$  melhoram o crescimento das plantas, o desempenho simbiótico e a produtividade de grãos de feijão-caupi. O fornecimento adequado de doses de  $P_2O_5$  proporcionaram maior rendimento de grãos, uma prática agrônômica que poderia impulsionar a produção de feijão-caupi no estado do Rio de Janeiro. Em condições de solo ácido, além de melhorar a aquisição de N pelas plantas através da fixação simbiótica de N, sementes com alto conteúdo de Mo garantem a assimilação do nitrato retirado do solo pelas plantas (Kaiser et al., 2005). Os efeitos interativos significativos de sementes ricas em Mo e doses de  $P_2O_5$  apoiam ainda mais a visão de que fornecer sementes com alto conteúdo de Mo aos agricultores pode aumentar o rendimento de grãos de feijão-caupi para segurança alimentar e nutricional, mesmo quando esses desconhecem os benefícios do Mo para as plantas.

## CONCLUSÕES

Elevadas doses de  $P_2O_5$  combinados com alto teor de Mo na semente aumentaram em 170% e 29%, respectivamente a nodulação.

As plantas cultivadas a partir de alto conteúdo de molibdênio associada à dose de  $150 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $P_2O_5$  aumentaram a produtividade de feijão-caupi cultivar BRS Itaim.

Alto conteúdo de molibdênio ( $7,22 \mu\text{g semente}^{-1}$ ) na semente associado a doses de fósforo, aumenta o teor de nitrogênio nos grãos de feijão-caupi.

Assim, o uso de sementes enriquecidas com Mo por agricultores pode melhorar a nutrição nitrogenada e a produtividade de feijão-caupi uma prática

agronômica que poderia impulsionar a produção no estado do Rio de Janeiro reduzindo o uso da adubação nitrogenada mineral cara e poluente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alidu, M.S., Asante, I.K., Mensah, H.K., (2020). Evaluation of nutritional and phytochemical variability of cowpea Recombinant Inbred Lines under contrasting soil moisture conditions in the Guinea and Sudan Savanna. *Agroecologies Heliyon* 6(2):03406.
- Almeida, J.P.F.; Hartwig, U.A.; Frehner, M.; Nösberger, J. e Lüscher, A. (2000). Evidence that P deficiency induces N feedback regulation of symbiotic N<sub>2</sub> fixation in white clover (*Trifolium repens* L.). *Journal Experimental Botany*. 51:1289-1297.
- Araújo, A.P. e Teixeira, M.G. (2000). Ontogenetic variations on absorption and utilization of phosphorus in common bean cultivars under biological nitrogen fixation. *Plant Soil*. 225:1-10.
- Araujo, E.O; Martins, M.R.; Vitorino, A.C.T.; Mercante, F.M.; Urquiaga, S.S. (2015). Effect of nitrogen fertilization associated with diazotrophic bacteria inoculation on nitrogen use efficiency and its biological fixation by corn determined using 15N. *African Journal Microbiology Research*, 9(9):643-650.
- Ayodele, O.J. and A.A. Oso, (2014). Cowpea responses to phosphorus fertilizer application at Ado-Ekiti, South-West Nigeria. *Journal of Applied Science Agriculture*. 9:485-489.
- Barbieri, A.P.P.; Martin, T.N.; Mertz, L.M.; Nunes, U.R. e Conceição, G.M. (2013). Redução populacional de trigo no rendimento e na qualidade fisiológica das sementes. *Revista Ciência Agronômica*. 44(4):724-731.
- Bezerra, A.A.C.; Alcântara Neto, F.; Neves, A.C. e Maggioni, K. (2012) – Comportamento morfoagronômico de feijão-caupi, cv. BRS Guariba, sob diferentes densidades de plantas. *Revista de Ciências Agrárias*. 55(3):184-189.

- Bezerra, A.A.C.; Neves, A.C.; Alcântara Neto, F. e Silva Júnior, J.V. (2014) – Morfofisiologia e produção de feijão-caupi, cultivar BRS Novaera, em função da densidade de plantas. *Revista Caatinga*. 27(4):135-141.
- Bezerra, M. A. F.; Oliveira, F. A. de; Bezerra, F. T. C.; Pereira, W. E.; Da Silva, S. A. (2014). Cultivo de feijão-caupi em Latossolos sob o efeito residual da adubação fosfatada. *Revista Caatinga*. 27(1):109-115.
- Bindraban, P.S., Dimkpa, C.O., Pandey, R., (2020). Exploring phosphorus fertilizers and fertilization strategies for improved human and environmental health. *Biology and Fertility of Soils*. 56:299–317.
- Burridge, J. D.; Schneider, H. M.; Huynh, B. L.; Roberts, P. A.; Bucksch, A.; Lynch, J. P. (2017). Genome-wide association mapping and agronomic impact of cowpea root architecture. *Theoretical and applied genetics*. 130(2):419-431.
- Chagas, E., Araújo, A.P., Alves, B.J.R., Teixeira, M.G., (2010). Seeds enriched with phosphorus and molybdenum improve the contribution of biological nitrogen fixation to common bean as estimated by <sup>15</sup>N isotope dilution. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 34(4):1093-1101.
- Companhia Nacional de Abastecimento (Conab), (2021). Acompanhamento da safra brasileira de grãos: safra 2020/21. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 03 jan. 2022.
- Dekhane, S. S., Khafi, H. R., Raj, A. D., and Parmar, R. M. (2011). Effect of biofertilizer and fertility levels on yield, protein content and nutrient uptake of cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.]. *Legume Res*. 34:51–54.
- Edouard Rurangwa, Bernard Vanlauwe, Ken E. Giller, (2018). Benefits of inoculation, P fertilizer and manure on yields of common bean and soybean also increase yield of subsequent maize. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 261:219-229.
- Fageria, N.K., (2014). Yield and yield components and phosphorus use efficiency of lowland rice genotypes. *Journal of Plant Nutrition*. 37:979–989.

- Haruna, I.M. and A. Usman, (2013). Agronomic efficiency of cowpea varieties [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] under varying phosphorus rates in Lafia, Nasarawa State, Nigeria. *Asian Journal Crop Science*. 5:209-215.
- Hopkins, B. G. (2015). Phosphorus. In A. V. Barker, D. J. Pilbeam (Eds.). *Handbook of plant nutrition*. Boca Raton: Taylor & Francis, 65–126.
- Karikari, B.; Arkorful, E.; Addy, S. (2015). Growth, Nodulation and Yield Response of Cowpea to Phosphorus Fertilizer Application in Ghana. *Journal of Agronomy*. 14(4):234-240.
- Lambers, H., Oliveira, R. S. (2019). Mineral nutrition. In *Plant physiological ecology*. Springer, Cham, 301-384.
- Lin, H. J., Gao, J., Zhang, Z. M., Shen, Y. O., Lan, H., Liu, L., Xiang, K., Zhao, M., Zhou, S., Zhang, Y. Z., Gao, S. B., Pan, G. T. (2013). Transcriptional responses of maize seedling root to phosphorus starvation. *Molecular biology reports*, 40(9): 5359-5379.
- Malhotra, H., Sharma, S., Pandey, R., (2018). Phosphorus nutrition: plant growth in response to deficiency and excess. In: Hasanuzzaman, M., Fujita, M., Oku, H., Nahar, K., Hawrylak-Nowak, B. (Eds.), *Plant Nutrients and Abiotic Stress Tolerance*. Springer, Singapore, 171–190.
- Melo, F. de B.; Bastos, EA; Cardoso, MJ; Ribeiro, VQ, (2018). Resposta do feijão-caupi ao fósforo e zinco. *Revista Caatinga*. 31:240-245.
- Mourice SK, Tryphone GM (2012). Evaluation of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes for adaptation to low phosphorus. *ISRN agro*, 9.
- Musa, E. M., Elsheikh, E. A. E., Ahmed, I. A. M., and Babiker, E. E. (2011). Effect of intercropping, *Bradyrhizobium* inoculation and N, P fertilizers on yields, physical and chemical quality of cowpea seeds. *Frontiers of Agriculture in China* 5:543–557.

- Namugwanya M, Tenywa JS, Otabbong E, Mubiru DN, Masamba TA (2014). Development of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) production under low soil phosphorus and drought in sub-Saharan Africa: a review. *International Journal of Sustainable Development* 7:128–139.
- Nkaa, F.A., O.W. Nwokeocha and O. Ihuoma, 2014. Effect of phosphorus fertilizer on growth and yield of cowpea (*Vigna unguiculata*). *Journal of Pharmaceutical and Biological Sciences*. 9:74-82.
- Pacheco, R. S.; Brito, L. F.; Staliotto, R.; Pérez, D. V.; Araújo, A. P. (2012). Seeds enriched with phosphorus and molybdenum as a strategy for improving grain yield of common bean crop. *Field Crops Research*. 136:97-106.
- Pimentel-Gomes, F. (2009). *Curso de estatística experimental*. 15. ed., Piracicaba: Fealq, 451 p.
- Ruiz-Navarro, A., Fernández, V., Abadía, J., Abadía, A., Querejeta, J. I., Albaladejo, J., Barberá, G. G. (2019). Foliar fertilization of two dominant species in a semiarid ecosystem improves their ecophysiological status and the use efficiency of a water pulse. *Environmental and Experimental Botany*, 167:103854.
- Sapucay, M. J. C, Vieira, R. F, Carneiro, J. E. S, Junior T. J. P, Lima M, S, Vidigal S, M. (2016). Is it possible to attain high-yielding common bean using molybdenum fertilizer instead of side-dressed nitrogen. *Journal Plant of Nutrition*. 39:1644–1653.
- Shahid, M., Hameed, S., Imran, A., Ali, S., van Elsas, J.D., (2012). Root colonization and growth promotion of sunflower (*Helianthus annuus* L.) by phosphate solubilizing *Enterobacter* sp. Fs-11. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 28:2749–2758.
- Silva, E.F.L.; Araújo, A.S.F.; Santos, V.B.; Nunes, L.A.P.L.; Carneiro, R.F.V. (2010). Fixação biológica do N<sub>2</sub> em feijão-caupi sob diferentes doses e fontes de fósforo solúvel. *Bioscience Journal*, Uberlândia. 26(3):394-402.

- Sivakumar, D., Chen, L., Sultanbawa, Y., 2018. A comprehensive review on beneficial dietary phytochemicals in common traditional Southern African leafy vegetables. *Food Sci. Nutr.* 6(4):714–727.
- Sombie, P., Compaore, M., Coulibaly, A.Y., Ouedraogo, J.T., Tignegre, J., Kiendrebeogo, M., (2018). Antioxidant and phytochemical studies of 31 cowpeas (*Vigna unguiculata* (L. Walp.)) genotypes from Burkina Faso. *Foods.* 7(9):143.
- Teixeira, I.R.; Borém, A.; Andrade, M.J.B.; Giúdice, M.P.D. & Cecon P.R. (2004) – Teores de clorofila em plantas de feijoeiros influenciadas pela adubação com manganês e zinco. *Acta Scientiarum. Agronomy.* 26(2):147-152.
- Vandamme, E., Rose, T., Saito, K., Jeong, K., Wissuwa, M., (2016a). Integration of P acquisition efficiency, P utilization efficiency and low grain P concentrations into P-efficient rice genotypes for specific target environments. *Nutrient Cycling in Agroecosystems.* 104:413–427.
- Vieira, R.F.; Paula Júnior, T.J. De; Prado, A.L. DO; Araújo, R.F.; Lehner, M. Da S.; Silva, R.A. (2015). A aplicação foliar de molibdênio na fase de enchimento de vagens do feijão-comum pode reduzir a qualidade da semente. *Revista Ceres.* 62(4):415-419.
- Vieira, R.F.; Paula Júnior, T.J.; Pires, A, A.; Carneiro, J.E.S.; Rocha, G.S. (2011). Common beans seed complements molybdenum uptake by plants from soil. *Agronomy Journal.* 103(6):1843-1848.
- Vieira, R.F.; Salgado, L.T.; Ferreira, A.C.C. (2005). Performance of common bean using seeds harvested from plants fertilized with high rates of molybdenum. *Journal of Plant Nutrition.* 28:393-377.
- Wang, G.; MCGiffen, M.E.; Ehlers, J.D.; Marchi, E.C.S. (2017). Competitive ability of cowpea genotypes with different growth habit. *Weed Science* 54(4):775-778.

Zilli, J.É.; Marson, L.C.; Marson, B.F.; Rumjanek, N.G.; Xavier, G.R. (2009). Contribuição de estirpes de rizóbio para o desenvolvimento e produtividade de grãos de feijão-caupi em Roraima. *Acta Amazônica*. 39(4):749-758.

Zucareli, C.; Prando, A. M.; Ramos Junior, E. U.; Nakagawa, J. (2011). Fósforo na produtividade e qualidade de sementes de feijão carioca precoce cultivado no período das águas. *Revista Ciência Agronômica*. 42(1):2-38.

## ALTOS CONTEÚDOS DE MOLIBDÊNIO NA SEMENTE NÃO AFETAM A QUALIDADE FISIOLÓGICA DE FEIJÃO-CAUPI

### RESUMO

A qualidade fisiológica de sementes é fundamental para o rendimento e potencial dos cultivos agrícolas. O feijão-caupi, é uma leguminosa de importância socioeconômica para o Brasil e as sementes crioulas dessa espécie geram emprego e renda para os agricultores. Portanto, objetivou-se avaliar a qualidade fisiológica de sementes, sob influência dos conteúdos de molibdênio, na semente de feijão-caupi cultivar BRS Guariba. As sementes de feijão-caupi enriquecidas com molibdênio foram trazidas da Universidade Estadual do Maranhão para o laboratório de Nutrição Mineral de Plantas da UENF e quantificado o conteúdo de molibdênio na semente (CMoS), que apresentaram os seguintes valores 3,51; 4,54, 5,29 e 7,02  $\mu\text{g semente}^{-1}$ . Os tratamentos foram constituídos de quatro doses de Mo aplicadas na folhagem (0, 50, 250 e 500  $\text{g ha}^{-1}$ ). A fonte de Mo utilizada foi o molibdato de sódio ( $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). Posteriormente essas sementes foram trazidas para o laboratório de Nutrição Mineral de Plantas da UENF e quantificado o conteúdo de molibdênio na semente (CMoS). Os conteúdos de Mo na semente apresentaram (3,51; 4,54, 5,29 e 7,02  $\mu\text{g semente}^{-1}$ ). Os experimentos foram conduzidos no laboratório de sementes e em casa de vegetação, na Unidade de Apoio à Pesquisa, ambos na Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, na cidade de Campos do Goytacazes. Os tratamentos foram arranjos no



esquema fatorial 4 x 5: quatro conteúdos de molibdênio na semente 3,51; 4,54, 5,29 e 7,02  $\mu\text{g semente}^{-1}$  e cinco tempos (0, 3, 6, 9 e 12) meses de armazenamento. O delineamento utilizado foi em blocos casualizados com 4 repetições. Todas as avaliações ocorreram no período de 0 a 12 meses de armazenamento durante todo esse período as sementes ficaram armazenadas em temperatura ambiente em sacos de papel trifoliados. Para realização da avaliação da qualidade fisiológica das sementes, foram realizados os seguintes testes: Germinação, Emergência, Condutividade Elétrica e Grau de Umidade. Os dados foram submetidos à análise de variância para o fator períodos de armazenamento e conteúdo de Mo na semente fez-se análise de regressão e os modelos foram ajustados com base no teste t ( $p \leq 0,05$ ) e coeficiente de determinação ( $R^2$ ). Observou-se que quase todas as características relacionadas a qualidade fisiológica tiveram efeito significativo entre o CMoS e o tempo de armazenamento. No entanto, não houve efeito significativo da interação entre o CMoS e o tempo para germinação (%G), essa característica teve efeito isolado dos CMoS e do tempo de armazenamento. Foram encontrados valores médios de CV de 5,82, 3,49, 8,08, 7,48, 4,45 % para índice de velocidade de germinação (IVG), germinação (%G), índice de velocidade de emergência (IVE), emergência (%E) e condutividade elétrica (C.E). Sementes com alto conteúdo de Mo, oriundas de plantas pulverizadas com altas doses de molibdênio, não afetam a qualidade fisiológica de sementes em longos períodos de armazenamento. As avaliações de % de germinação, % de emergência e condutividade elétrica foram eficientes em distinguir, que sementes enriquecidas com molibdênio apresentam alto poder germinativo em longos períodos de armazenamento estando dentro dos padrões para comercialização.

**Termos para indexação:** Armazenamento, *Vigna unguiculata*, Vigor.

## HIGH MOLYBDENUM CONTENTS IN THE SEED DO NOT AFFECT THE PHYSIOLOGICAL QUALITY OF SEEDS

### ABSTRACT

The physiological quality of seeds is fundamental for the yield and potential of agricultural crops. Cowpea is a legume of socioeconomic importance for Brazil, and the creole seeds of this species generate employment and income for farmers. Therefore, the objective was to evaluate the physiological quality of seeds submitted to tests of germination, emergence, electrical conductivity and degree of moisture under the influence of molybdenum contents in the seed of cowpea cultivar BRS Guariba. The seeds from cowpea enriched with molybdenum were brought from the State University of Maranhão. The treatments consisted of four doses of Mo applied to the foliage (0, 50, 250 or 500 g ha<sup>-1</sup>). The Mo source used was sodium molybdate (Na<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O). Subsequently, these seeds were brought to the Plant Mineral Nutrition laboratory at UENF and the molybdenum content in the seed (CMoS) was quantified. The Mo contents in the seed showed (3.51; 4.54, 5.29 and 7.02 µg seed<sup>-1</sup>). The experiments were carried out in the seed laboratory and in a greenhouse, at the Research Support Unit, both at the Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, in the city of Campos do Goytacazes. The treatments were arranged in a 4 x 5 factorial scheme: four molybdenum contents in the seed 3.51; 4.54, 5.29 and 7.02 µg seed<sup>-1</sup> and five times (0, 3, 6, 9 and 12) months, the design used was in randomized blocks with 4 replications. All evaluations took place in the period from 0 to 12 months of storage throughout this period the seeds were stored at room temperature in trifoliate paper bags. To carry out the evaluation of the physiological quality of the seeds, the following tests were carried out: Germination, Emergence, Electrical Conductivity and Humidity Degree. Data were subjected to analysis of variance for the factor storage periods and Mo content in the seed, regression analysis was performed and the models were adjusted based on the t test (p≤0.05) and coefficient of determination (R<sup>2</sup>). It was observed that almost all characteristics related to physiological quality had a significant effect between CMoS and storage

time. However, there was no significant effect between CMoS and time to germination (%G), this characteristic had an isolated effect of CMoS and storage time. Mean CV values of 5.82, 3.49, 8.08, 7.48, 4.45% were found for germination speed index (IVG), germination (%G), emergence speed index (ESI), emergence (%E) and electrical conductivity (EC). Seeds with high Mo content, from plants sprayed with high doses of molybdenum, do not affect the physiological quality of seeds in long periods of storage. The evaluations of % germination, % of emergence and electrical conductivity were efficient in distinguishing that seeds enriched with molybdenum have high germination power in long periods of storage, being within the standards for commercialization.

**Keyword:** Storage, *Vigna unguiculata*, Vigor.

## INTRODUÇÃO

O feijão-caupi é uma cultura tropical e subtropical originária da África, porém, está amplamente distribuída em todo o mundo, sendo uma das mais importantes fontes de proteína, aminoácidos e minerais (Freire Filho et al., 2011, Guilhen et al., 2016) para populações de baixa renda e podendo ainda ser usada como opção de rotação de cultivo e adubação verde. No Brasil a denominação ou nomes comuns variam de acordo com a região onde é estabelecido, na região Nordeste é popularmente conhecido como feijão corda e feijão macassar no Norte é conhecido como feijão de praia (Alves et al., 2015).

A área global estimada para a produção de feijão-caupi é de aproximadamente 12,5 milhões hectares, com uma produção anual de 7 milhões de toneladas e rendimento médio de 589 kg ha<sup>-1</sup> (Faostat, 2020). No entanto, a produtividade ainda é baixa, pois a produção nacional na última safra 2020/2021 foi estimada em 712,6 mil toneladas com produtividade média de 545 kg/ha, com área plantada de 1.307.800 ha (Conab, 2021). Entre as dificuldades enfrentadas pelos produtores, destaca-se a baixa produtividade da cultura em parte, essa limitação

está associada a baixa qualidade genética e fisiológica das sementes (Wamalwa et al., 2016).

A semente é atualmente um dos insumos de maior importância, seja qual for o sistema produtivo agrícola. De acordo com Shaibu e Ibrahim (2016), um dos fatores que podem afetar a produção das culturas é a qualidade das sementes, o que influencia indiretamente a velocidade e porcentagem de emergência de plântulas e estande, ou uma influência direta no vigor da planta. Muitos estudos têm sido realizados a fim de minimizar essas perdas, sejam a níveis fisiológicos, físicos, sanitários ou bioquímicos. Estes estudos resultam em testes, que são cada vez mais utilizados por produtores e pesquisadores para avaliar o estado de qualidade da semente (Marcos-Filho, 2015).

Em se tratando de qualidade de sementes, durante o armazenamento dependendo do tipo de embalagem em que estão mantidas pode ocorrer o desenvolvimento de insetos, ácaros e microrganismos, seguido por deteriorações, por estimular o metabolismo e consumir substâncias de reserva, culminando na redução de seus atributos de qualidade, bem como características inerentes a espécie, esse processo é quase irreversível e inevitável, sendo manifestado pelas alterações na qualidade fisiológica das sementes, impactando na germinação e no vigor (Marcos-Filho, 2015; Elias et al., 2015). Portanto o uso de sementes de alta qualidade fisiológica é fundamental para aumentar a produtividade e melhorar a tecnologia de cultivo do feijão (Adebisi et al., 2013). O fornecimento adequado e equilibrado de nutrientes à cultura pode contribuir não só para aumentar a produtividade, mas também para melhorar a qualidade fisiológica das sementes produzidas e ao desenvolvimento inicial do feijão-caupi (Teixeira et al., 2005).

Trabalhos relacionados ao fornecimento de Mo via sementes foram realizados desde os anos 80 e 90 (Jacob-Neto e Franco, 1986; Jacob-Neto e Rossetto, 1998). Esses autores relataram que sementes enriquecidas com Mo podem aumentar a disponibilidade de nutrientes para a plântula nos estágios iniciais de desenvolvimento e a reserva interna da semente pode fornecer quantidades suficientes de Mo para que a planta possa crescer sem adição suplementar de Mo ao solo. Estudos realizados por Vieira et al. (2015) revela que dose de 300 g ha<sup>-1</sup> de Mo aplicada na floração (R6) do feijão-comum não influencia a qualidade fisiológica das sementes. O fornecimento de sementes ricas em Mo para os agricultores pode proporcionar aumento de produtividade, maior resistência

das plantas a estresses bióticos e abióticos e reduzir a necessidade de N. Nesse contexto, na cultura do feijão-caupi, a pesquisa sobre o uso de testes de vigor para se avaliar a qualidade fisiológica das sementes tem crescido no Brasil, no entanto, não existe relatos sobre a qualidade fisiológica de sementes sob influência dos conteúdos de Mo na semente. Portanto o objetivo desse estudo foi avaliar a qualidade fisiológica de sementes de feijão-caupi sob efeitos dos conteúdos de molibdênio na semente submetidas a cinco períodos de armazenamento.

## MATERIAL E MÉTODOS

Produção de sementes ricas em molibdênio em São Luís – MA.

Foi conduzido um experimento de campo na Universidade Estadual do Maranhão, Campus São Luís (2°30'S, 44°18'W, altitude de 24 m) entre maio e agosto de 2019. O clima da região é do tipo AW', equatorial quente úmido, segundo a classificação de Köppen, com duas estações bem definidas: uma chuvosa, que se estende de janeiro a julho, e outra seca, com acentuado déficit hídrico, que se estende de julho a dezembro. As precipitações variam de 1700 mm a 2300 mm por ano e 80% concentram-se entre janeiro e junho. O solo da área experimental é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico Arênico com textura franco arenosa (Embrapa, 2013). As características físico-químicas na camada de 0-20 cm, antes da instalação do experimento, foram: pH  $\text{CaCl}_2 = 4,5$ ; matéria orgânica =  $4,3 \text{ g dm}^{-3}$ ; P =  $3 \text{ mg dm}^{-3}$ ; K =  $1,7 \text{ mmolc dm}^{-3}$ ; Ca =  $13 \text{ mmolc dm}^{-3}$ ; Mg =  $4,5 \text{ mmolc dm}^{-3}$ ; H +  $\text{Al}^{3+} = 15 \text{ mmolc dm}^{-3}$ ; soma de base =  $23,5 \text{ cmolc dm}^{-3}$ ; CTC =  $44,5 \text{ cmolc dm}^{-3}$ ; V = 52,8%; areia grossa =  $410 \text{ g kg}^{-1}$ ; areia fina =  $450 \text{ g kg}^{-1}$ ; e silte =  $40 \text{ g kg}^{-1}$ .

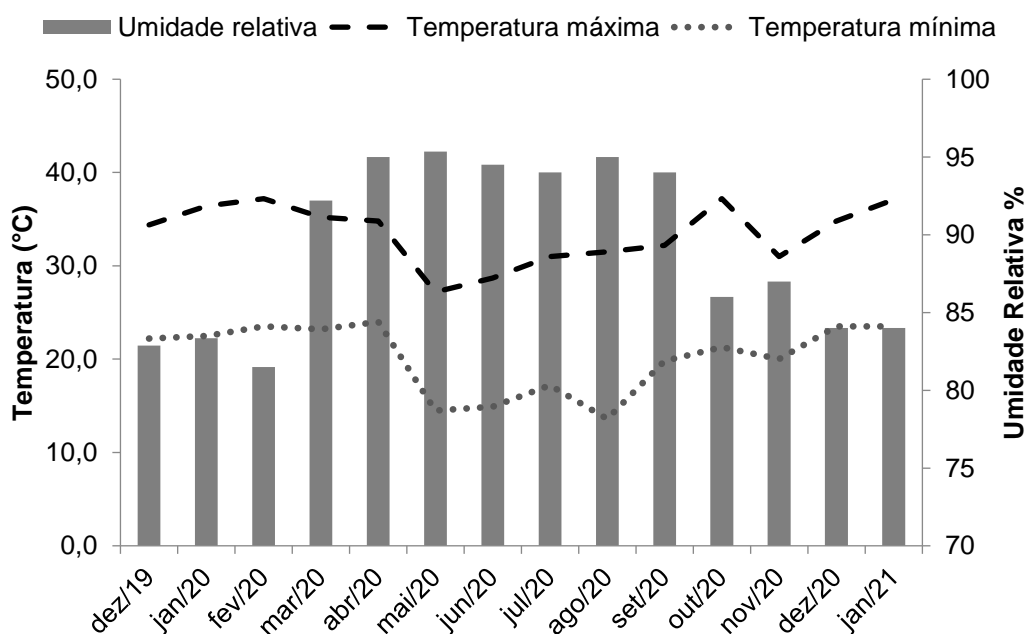
Os tratamentos foram constituídos de quatro doses de Mo aplicadas na folhagem (0, 50, 250 ou  $500 \text{ g ha}^{-1}$ ). A fonte de Mo utilizada foi o molibdato de sódio ( $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). As doses de Mo foram parceladas nestas fases de desenvolvimento do feijão-caupi: 30 DAE – final do estágio vegetativo, 45 DAE – floração e 60 DAE - formação de vagens. A dose de  $50 \text{ g ha}^{-1}$  de Mo foi aplicada aos 30 DAE. Na dose de  $250 \text{ g ha}^{-1}$  de Mo, foram aplicados  $50 \text{ g ha}^{-1}$  aos 30 DAE e  $200 \text{ g ha}^{-1}$  aos 45 DAE. Na dose de  $500 \text{ g ha}^{-1}$  de Mo,  $50 \text{ g ha}^{-1}$  foram aplicados

aos 30 DAE; 250 g ha<sup>-1</sup>, aos 45 DAE; e 200 g ha<sup>-1</sup>, aos 60 DAE. O delineamento foi em blocos ao acaso, com quatro repetições. A parcela experimental foi constituída de quatro fileiras de 5 m, espaçadas de 0,60 m. Foram distribuídas 10 sementes por metro de sulco. As duas fileiras laterais foram consideradas bordaduras. Foi utilizada a cultivar de feijão-caupi BRS Guariba.

Ao final da maturação as vagens, das fileiras centrais úteis, foram colhidas, à medida que amadureciam. Em seguida, essas vagens foram debulhadas, pesadas, armazenadas em sacos de papel e trazidas para Campos dos Goytacazes – RJ. Os grãos foram obtidos com 13% de umidade.

#### Experimentos em Campos dos Goytacazes

Os experimentos foram conduzidos no laboratório de sementes e em casa de vegetação, na Unidade de Apoio à Pesquisa, ambos na Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, na cidade de Campos dos Goytacazes (21°45'S e 41°17'W, 11 metros de altitude). Durante o armazenamento das sementes, as temperaturas máxima e mínima e a umidade relativa do ar foram medidas com auxílio do HOBO® pro v2 “*data logger*” e estão apresentadas na (Figura 1).



**Figura 1.** Temperatura máxima e mínima no período de dezembro/2019 a março/2021 medidas pelo HOBO® pro v2 “*data logger*”, Campos dos Goytacazes – RJ.

As sementes oriundas do experimento em São Luís – MA, foram trazidas para o laboratório de Nutrição Mineral de Plantas da UENF e antes de serem utilizadas nos experimentos foram secas em estufa de ventilação forçada de ar a 70°C, até atingirem massa constante para determinação do teor de molibdênio na semente. Uma subamostra de 0,2 g do material vegetal foi submetida à digestão de ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>) concentrado e peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>). No extrato obtido foi quantificado o teor de molibdênio na semente, por espectrometria de massa acoplada ao plasma induzido (ICPE-9000, Shimadzu). O conteúdo de Mo na semente representa o Mo acumulado em uma semente que estará disponível para a planta cultivada a partir desta semente. O conteúdo de Mo na semente, em µg semente<sup>-1</sup>, foi obtido pela multiplicação do teor de Mo pela massa de uma semente seca, em g, estimada a partir da massa de 100 grãos. Os conteúdos de Mo na semente apresentaram: 3,51; 4,54, 5,29 e 7,02 µg semente<sup>-1</sup>, respectivamente.

Os tratamentos foram arranjos no esquema fatorial 4 x 5: quatro conteúdos de molibdênio na semente (3,51; 4,54, 5,29 e 7,02 µg semente<sup>-1</sup>) e cinco tempos (0, 3, 6, 9 e 12) meses de armazenamento e o delineamento utilizado foi em blocos casualizados com 4 repetições. Todas as avaliações ocorreram no período de 0 a 12 meses de armazenamento durante todo esse período as sementes ficaram armazenadas em temperatura ambiente em sacos de papel trifoliados.

#### Testes avaliados

Para realização da avaliação da qualidade fisiológica das sementes, foram realizados os seguintes testes descritos abaixo:

Germinação - Quatro repetições de 50 sementes, foram distribuídas em rolos de papel germitest umedecidos com quantidade de água equivalente a 2,5 vezes o peso do substrato seco. Antes de serem colocadas para germinar em câmaras de germinação com 12h de fotoperíodo, a temperatura de 25±0,5°C, as sementes dispostas no rolo receberam por aspersão, a aplicação nitrato de cálcio Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> na concentração 0,1%. O teste teve duração de 10 dias e durante esse período foi realizada a contagem diária de sementes germinadas, para contabilizar o Índice de Velocidade de Germinação (IVG) de acordo com a fórmula descrita por Maguire (1962). As avaliações foram realizadas ao quinto dia após a semeadura, determinando-se a percentagem de sementes germinadas (emissão da radícula

primária com 1 mm), segundo os critérios estabelecidos pelas RAS (Brasil, 2009). Da mesma forma, foi avaliado a porcentagem de plântulas anormais, sementes não germinadas e sementes mortas. As sementes foram consideradas mortas quando se encontravam com tecido deteriorado.

**Emergência** - Foi realizada em condições ambiente, utilizando-se quatro repetições de 50 sementes, distribuídas em bandejas plásticas, com substrato composto por areia, com o teor de água para 60% da capacidade de retenção (Brasil, 2009) as sementes dispostas na areia receberam por irrigação manual, a aplicação nitrato de cálcio  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  na concentração 0,1%. O teste foi avaliado diariamente, contando-se o número de plântulas emergidas, considerando-se, nessa condição, aquelas que continham cotilédones aparentes, acima do nível do substrato. Com esses dados, calculou-se o índice de velocidade de emergência (IVE), seguindo a fórmula proposta por Maguire (1962), e a porcentagem de plântulas emergidas.

**Condutividade elétrica (CE):** O teste foi realizado com 25 sementes em quatro repetições para cada amostra, em que foram previamente pesadas em balança de precisão (0,001 g), de três dígitos, posteriormente cada amostra foi colocada em copo plástico e adicionado 75 mL de água deionizada. Os copos de 200 mL foram levados à incubadora, BOD, a 25°C por 24h. Após esse período foi realizada a leitura da condutividade elétrica, utilizando o condutivímetro digital de eletrodo constante, marca tester HI98129 Combo® modelo Hanna. Os resultados finais foram expressos em  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$  de sementes (Aosa, 1983; Vieira; Krzyzanowski, 1999).

**Grau de umidade (%):** foi determinado pelo método da estufa, a 105°C (+/- 3°C), durante 24 horas, utilizando-se duas amostras de 4,5 g por repetição de acordo com as RAS (Brasil, 2009).

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA). Para o fator períodos de armazenamento e conteúdo de Mo na semente procedeu-se a análise de regressão e os modelos foram ajustados com base no teste t ( $p \leq 0,05$ ) e coeficiente de determinação ( $R^2$ ).



## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises de variâncias contêm os valores e as significâncias dos quadrados médios (QM), bem como os coeficientes de variação experimental (CV%), com base nas médias dos conteúdos de molibdênio na semente e tempo de armazenamento para a qualidade fisiológica de sementes, em Campos dos Goytacazes, no experimento de feijão-caupi cultivar BRS Guariba. Observou-se que quase todas as características relacionadas à qualidade fisiológica tiveram efeito significativo entre o CMoS e o tempo de armazenamento. No entanto, não houve efeito significativo entre o CMoS e o tempo de armazenamento para germinação (%G), essa característica teve efeito isolado dos CMoS e do tempo de armazenamento. Foram encontrados valores médios de CV de 5,82, 3,49, 8,08, 7,48, 4,45% para o índice de velocidade de germinação (IVG), germinação (%G), índice de velocidade de emergência (IVE), emergência (%E) e condutividade elétrica (C.E) (Tabela 1).

**Tabela 1:** Resumo da análise de variância e coeficiente de variação experimental sob a influência dos CMoS para índice de velocidade de germinação (IVG), germinação (%G), índice de velocidade de emergência (IVE), emergência (%E) e condutividade elétrica (C.E) em sementes de feijão-caupi cultivar BRS Guariba

FV	GL	Quadrado Médio				
		IVG	%G	IVE	%E	C.E
<b>Repetição</b>	3	0,946123 <sup>ns</sup>	22,85000 <sup>ns</sup>	0,426088 <sup>ns</sup>	45,13333 <sup>ns</sup>	109,655021 <sup>ns</sup>
<b>CMoS</b>	3	11,601690*	29,916667**	0,659521 <sup>ns</sup>	344,7333*	839,561995***
<b>Tempo</b>	4	26,149502***	150,6750***	67,697221*	5208,2000*	4565,304911***
<b>CMoS X Tempo</b>	12	12,744616***	15,37500 <sup>ns</sup>	4,963170***	129,73333*	110,357912***
<b>Resíduo</b>	57	2,816626	9,165789	0,854784	36,782456	41,165620
<b>C.V (%)</b>		5,82	3,49	8,08	7,48	4,45

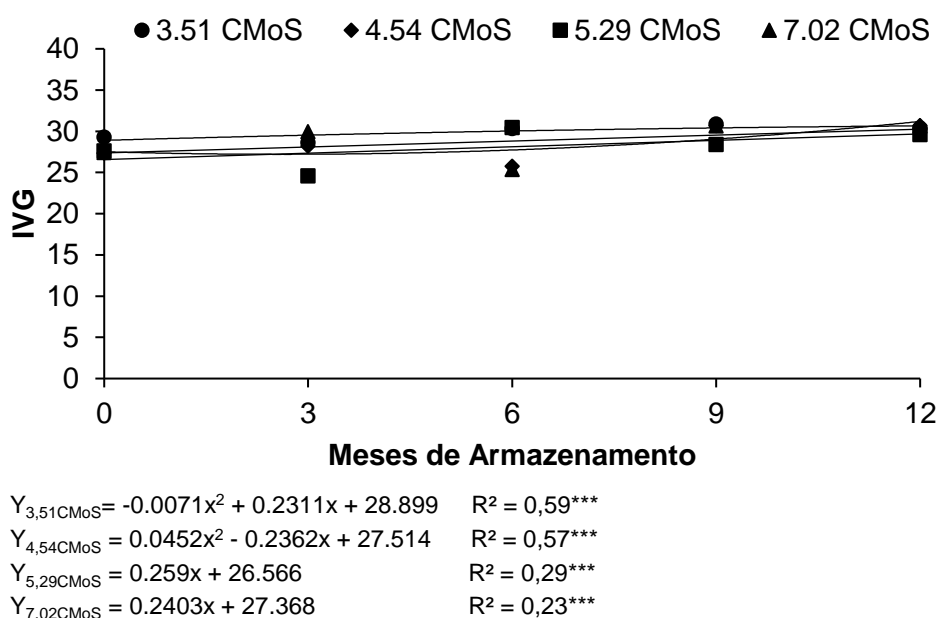
<sup>ns</sup> = não significativo, \*P ≤ 0,05; \*\*P ≤ 0,01 e \*\*\*P ≤ 0,001.

Analisando os resultados foram encontradas diferenças significativas ( $p < 0,001$ ), entre o CMoS e tempo de armazenamento, para índice de velocidade de germinação (IVG), índice de velocidade de emergência (IVE) e condutividade elétrica (C.E). Também foi verificada significância em nível de ( $p < 0,05$ ) para emergência (%E).

Foi possível observar que houve interação significativa no índice de velocidade de germinação nas sementes, em relação ao CMoS e tempo de

armazenamento, pois a germinação e o vigor permaneceram elevados até o décimo segundo mês do teste (Figura 2). O armazenamento pode influenciar diretamente na manutenção da qualidade das sementes (Scarioti et al., 2018). Resultado semelhante ao presente estudo foram observados por Oliveira et al. (2010) em sementes de mamona. Esses autores demonstraram que o Mo contribuiu para aumentar a germinação e o vigor das sementes de mamona, após a embebição em solução contendo Mo, além de contribuir na redução da porcentagem de sementes mortas. O uso de molibdênio via sementes também aumentou a germinação da soja de acordo com Guerra et. al. (2008).

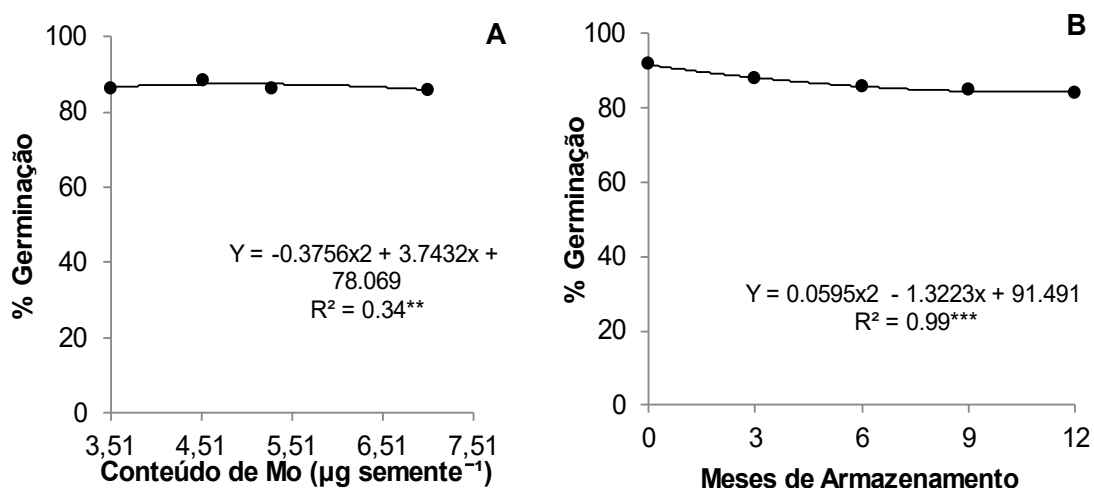
O uso de micronutrientes na germinação de sementes é negligenciado e precisa ser mais estudado, principalmente o uso de molibdênio, tendo em vista que esse tem participação no metabolismo no nitrogênio.



**Figura 2.** Índice de velocidade de germinação de sementes de feijão-caupi cultivar BRS Guariba, em função dos CMoS e tempo de armazenamento, Campos dos Goytacazes – RJ.

Os CMoS e o tempo de armazenamento, independente um do outro, proporcionaram um decréscimo na porcentagem de germinação (%G) (Figura 3A) e (Figura 3B). O percentual de germinação reduziu de 88,6% quando o CMoS era 3,51  $\mu\text{g semente}^{-1}$  para 86% quando o CMoS era 7,02  $\mu\text{g semente}^{-1}$  em relação aos CMoS. Nesse mesmo contexto, o percentual de germinação reduziu levemente

com o tempo de armazenamento de 91% no tempo zero de armazenamento para 84% no tempo dose de armazenamento. Isso indica que o tempo de armazenamento influencia no percentual de germinação e conseqüentemente pode interferir no vigor das sementes. Almeida et al. (2010) observaram efeito linear decrescente na germinação das sementes de cinco espécies de oleaginosas (algodão, amendoim, soja, girassol e mamona), com o aumento do período de armazenamento, em condições ambientais. As sementes tendem a perder qualidade durante seu armazenamento, principalmente devido à peroxidação de lipídeos, quando em condições de alto teor de água das sementes, alta umidade relativa do ar e temperatura elevada estão ocorrendo (Smaniotto et al., 2014). Embora as sementes de feijão-caupi apresentem baixo teor de gordura (2%), quando mal armazenadas podem sofrer com a peroxidação.

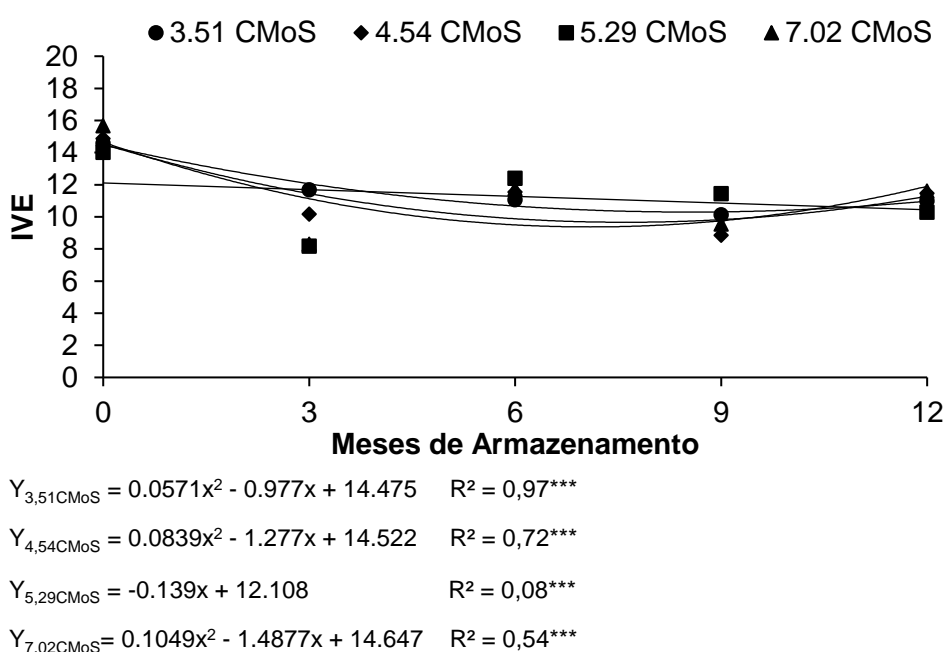


**Figura 3.** Porcentagem de germinação (%G) de sementes de feijão-caupi cultivar BRS Guariba, em função dos CMoS (A) e tempo de armazenamento (B), Campos dos Goytacazes – RJ.

Estudos desenvolvidos por Silva et al. (2010), revelam que a qualidade fisiológica (germinação e vigor) das sementes de arroz, milho e feijão apresentam decréscimo ao longo do período de armazenamento, corroborando com os resultados obtidos neste estudo. O padrão mínimo estabelecido para classificação e comercialização de sementes de feijão-caupi é de 80% de germinação (Brasil, 2009) embora armazenadas por um longo período, o presente estudo supera esse padrão de germinação. Ávila et al. (2013) encontraram valores superiores de germinação nas cultivares BRS Guariba e BRS Nova Era, sendo de 87 e 91%,

respectivamente, resultados semelhantes ao observado neste estudo com a cultivar BRS Guariba.

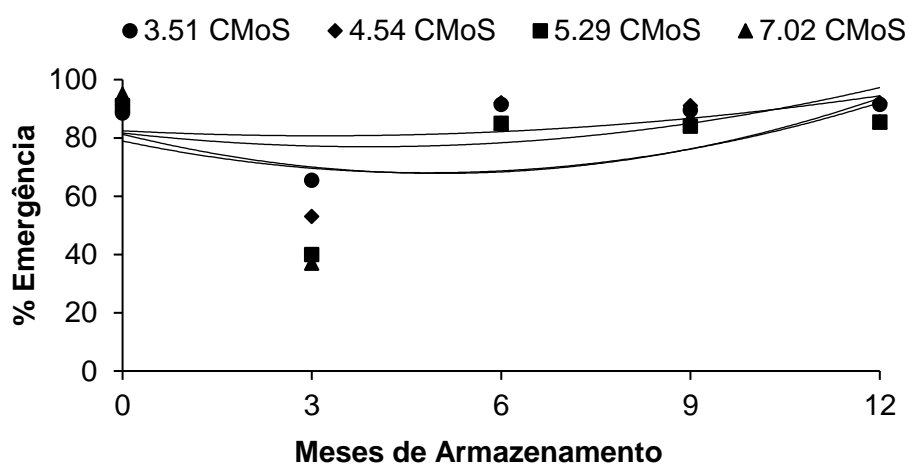
No índice de velocidade de emergência, houve interação estatisticamente significativa entre os CMoS e o tempo de armazenamento (Figura 4). Observou-se também que o índice de velocidade de emergência tende a diminuir significativamente principalmente quando as sementes se encontravam nas concentrações 3,51, 4,54 e 7,02  $\mu\text{g semente}^{-1}$ , a partir do 3º mês durante o período de armazenamento. Para o conteúdo de 5,29  $\mu\text{g semente}^{-1}$  de Mo e tempo de armazenamento houve interação significativa, com efeito linear decrescente.



**Figura 4.** Índice de velocidade de emergência de sementes de feijão-caupi cultivar BRS Guariba, em função dos CMoS e tempo de armazenamento, Campos dos Goytacazes – RJ.

Esses resultados corroboram com o achado por Dutra et al. (2007), que avaliando a qualidade de sementes de seis cultivares feijão-caupi conseguiram diferenciar o vigor das sementes produzidas no município de Limoeiro, estado do Ceará, por meio do teste de emergência e do IVE. A maior velocidade na emergência é um componente relevante para o vigor das sementes pelo fato de proporcionar um rápido estabelecimento das plântulas. Sementes com maior IVE possuem melhor desempenho e, conseqüentemente, maior capacidade de resistir a estresse que porventura possa ocorrer (Dan et al., 2010).

Houve interação significativa entre os CMoS e o tempo de armazenamento para a porcentagem de emergência (%E). Foi possível observar que a partir do 3º mês de experimento, houve um efeito quadrático decrescente para essa variável (Figura 5). Embora tenha ocorrido queda na emergência no início do armazenamento para todos os CMoS, observou comportamento crescente até o final do período do experimento, isso ocorreu provavelmente, porque neste período as temperaturas caíram drasticamente, afetando a emergência de plântulas de feijão-caupi já que é uma espécie de clima tropical e não tolera temperaturas abaixo de 16°C. Neste estudo, foram verificados resultados elevados após o 3º mês o que indicam adequabilidade das condições climáticas, com as sementes apresentando um alto nível de vigor, proporcionando valores superiores a 85% de plantas emergidas.



$$Y_{3.51\text{CMoS}} = 0,1746x^2 - 1,0952x + 82,443 \quad R^2 = 0,25^{**}$$

$$Y_{4.54\text{CMoS}} = 0,3095x^2 - 2,4143x + 81,671 \quad R^2 = 0,21^{**}$$

$$Y_{5.29\text{CMoS}} = 0,4683x^2 - 4,519x + 78,929 \quad R^2 = 0,20^{**}$$

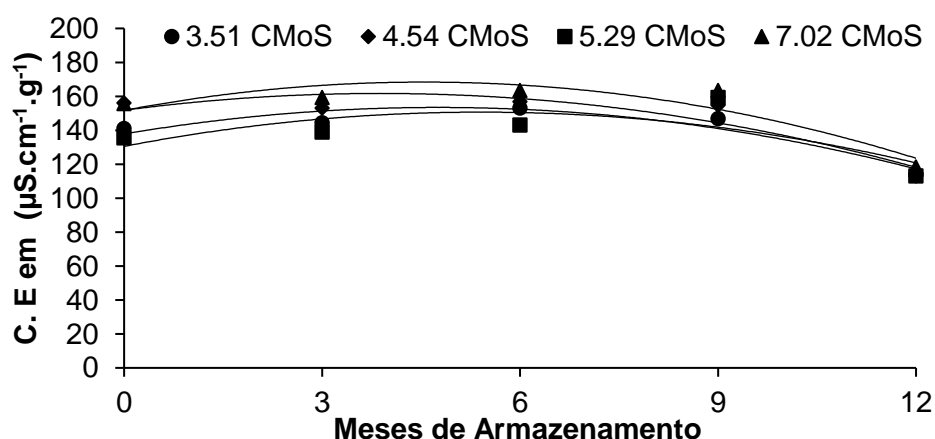
$$Y_{7.02\text{CMoS}} = 0,5317x^2 - 5,3476x + 81,271 \quad R^2 = 0,19^{**}$$

**Figura 5.** Porcentagem de emergência (%E) de sementes de feijão-caupi cultivar BRS Guariba, em função dos CMoS e tempo de armazenamento, Campos dos Goytacazes – RJ.

Trabalhando com feijão-caupi cultivar Canapuzinho, Dutra et al. (2012), encontraram 98% de emergência na média geral do experimento. Teixeira et al. (2010) encontraram valores de 85% de emergência em sementes de feijão-caupi resultados semelhantes ao obtido neste estudo. Amaro et al. (2014), avaliando a qualidade fisiológica de sementes de cultivares de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) em função de diferentes densidades populacionais, não observaram

diferenças de vigor pelo teste de emergência de plântulas. O teste para emergência de plântulas em campo é considerado um teste de referência, já que para qualquer teste de vigor ser considerado eficiente na área de análise de sementes, deve apresentar uma boa correlação com a emergência de plântulas a nível de campo (Martins et al., 2016). Avaliando o efeito do molibdênio na germinação Guerra et. al. (2008) concluíram que esse micronutriente aumentou a emergência de sementes de soja em campo.

Para a condutividade elétrica houve interação significativa entre CMoS e o tempo de armazenamento (Figura 6). Foi possível observar um comportamento quadrático crescente na liberação de eletrólitos nos seis primeiros meses de armazenamento, e pequenas oscilações na lixiviação de eletrólitos no restante do período. Os maiores valores de condutividade foram obtidos nas sementes que continham o maior conteúdo de Mo na semente  $7,02 \mu\text{g semente}^{-1}$  correspondendo a  $163,56 \mu\text{S.cm}^{-1}.\text{g}^{-1}$ . Contudo, ao final do período analisado, as médias de condutividade elétrica foram estatisticamente similares para todos os meses de armazenamento. Moura et al. (2016) afirmam que quanto menor os valores da condutividade elétrica, maior será a resposta fisiológica das sementes. O teste de condutividade elétrica fornece uma boa confiabilidade e rapidez para avaliação da qualidade de sementes.



$$Y_{3,51\text{CMoS}} = -0,6914x^2 + 6,5791x + 137,8 \quad R^2 = 0,88^{***}$$

$$Y_{4,54\text{CMoS}} = -0,6587x^2 + 5,1021x + 151,79 \quad R^2 = 0,84^{***}$$

$$Y_{5,29\text{CMoS}} = -0,6882x^2 + 7,4458x + 130,53 \quad R^2 = 0,54^{***}$$

$$Y_{7,22\text{CMoS}} = -0,8073x^2 + 7,3363x + 151,71 \quad R^2 = 0,84^{***}$$

**Figura 6.** Condutividade elétrica (C.E) de sementes de feijão-caupi cultivar BRS Guariba, em função dos CMoS e tempo de armazenamento, Campos dos Goytacazes – RJ.

Matos et al. (2015) confirmaram que durante o teste de condutividade elétrica, à medida em que a viabilidade das sementes diminui há um aumento na liberação de exsudados das sementes, pela água que permeiam as membranas celulares sinalizando a perda da integridade destas membranas.

No presente estudo, foi possível identificar o aumento na liberação de solutos com o decorrer do armazenamento, principalmente no terceiro e sexto mês. Esse mesmo comportamento também foi observado por Sarath et al. (2016) em sementes de amendoim e Smaniotto et al. (2014), em sementes de soja. Batista et al. (2012) estudando a condutividade elétrica em feijão-caupi cultivar BRS Guariba, observaram que a liberação de exsudados foi consideravelmente maior quando as sementes foram submetidas a períodos de embebição por 24h, resultados semelhantes ao encontrado neste estudo.

Devido à regressão ser altamente significativa, admite-se que quanto menor a condutividade elétrica maior o percentual de germinação, ou seja, altos valores na medição da condutividade elétrica indicam baixa qualidade fisiológica, e baixos valores representam maior vigor das sementes, isso pode ser claramente explicado pelo IVG e C.E neste estudo.

O teor de umidade das sementes pelo método de estufa a 105°C (+/- 3°C), não diferiu estatisticamente entre os CMoS e o tempo de armazenamento, logo a variação do (%) de umidade foi de 11,12 a 12,78°C (Tabela 2).

**Tabela 2.** Teor de umidade em sementes de feijão-caupi cultivar BRS Guariba, em função dos CMoS durante o período de armazenamento em 12 meses, Campos dos Goytacazes – RJ

CMoS	(%) UMIDADE				
	0	3	6	9	12
<b>3,51</b>	11,15 A	11,89 A	11,94 A	12,42 A	12,68 A
<b>4,54</b>	11,12 A	12,76 A	11,99 A	12,60 A	12,78 A
<b>5,29</b>	11,35 A	11,40 A	12,10 A	11,92 A	12,69 A
<b>7,02</b>	11,25 A	11,56 A	12,04 A	12,09 A	12,66 A
<b>CV %</b>	5,52				

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

A ausência de diferença significativa encontrada entre os tratamentos e o tempo de armazenamento pode ser explicada pelo período de secagem, após a colheita ser o suficiente para padronizar a umidade das sementes dos diferentes tratamentos e tempo de armazenamento. Avaliando a qualidade fisiológica de sementes de feijão, em função da aplicação foliar de cobalto e molibdênio,

Marcarello et al. (2012) verificaram que o teor de umidade dos tratamentos variou de 8,20 a 10,63%.

No presente estudo houve uma variação na umidade de sementes de 11 a 12% e segundo Viera e Yokohama (2000) esses valores estão dentro dos padrões considerados ideais para a colheita e armazenamento de sementes de feijão. Além disso, o ideal é que os lotes de sementes não apresentem variações maiores que 2% no teor de água para não comprometerem os resultados, devido principalmente a velocidade de umedecimento das sementes durante os testes de qualidade fisiológica (Marcos Filho, 1999). No entanto, esses valores de umidade estão dentro da faixa de condição ideal de armazenamento, uma vez que a umidade precisa ser mantida de 11 a 13% a fim de evitar a deterioração das sementes por respiração (Bragantini, 2005). Vale ressaltar que sementes com alta qualidade fisiológica é fator determinante no estabelecimento de qualquer lavoura principalmente para alcançar elevadas produtividades (Dias et al., 2012).

Os resultados alcançados no presente estudo são promissores, levando em conta a possibilidade de aplicação de molibdênio, via enriquecimento de sementes de feijão-caupi, em doses de até 500 g ha<sup>-1</sup> de sementes sem ocasionar efeitos negativos à qualidade fisiológica das sementes. Estudos realizados por Vieira et al. (2015) revelam que a dose de 300 g ha<sup>-1</sup> de Mo aplicada na floração (R6) do feijão-comum não influencia a qualidade fisiológica das sementes, portanto o parcelamento e época de aplicação do Mo influencia diretamente na qualidade fisiológica de sementes de feijão-caupi.

## CONCLUSÕES

Sementes com alto conteúdo de Mo, oriundas de plantas pulverizadas com altas doses de molibdênio, não afetam a qualidade fisiológica de sementes num período de 12 meses de armazenamento.

As avaliações de % de germinação, % de emergência e condutividade elétrica evidenciaram que sementes enriquecidas com molibdênio apresentam alto poder germinativo em longos períodos de armazenamento estando dentro dos padrões para comercialização.

O armazenamento de sementes em papel trifoliado em temperatura ambiente não afeta a qualidade fisiológica de sementes de feijão-caupi cultivar BRS Guariba em Campos dos Goytacazes, RJ.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adebisi, M. O. et al., (2013). Seed and seedling vigor in tropical maize inbred lines. *Plant Breed and Seed Science*. 67(3):88-101.
- Almeida, F. A. C. (2010). Estudo de técnicas para o armazenamento de cinco oleaginosas em condições ambientais e criogênicas. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*. 12(2):89-202.
- Alves, F. A. L., Silva, S. L. F., Maia, J. M., Freitas, J. B. S., Silveira, J. A. G. (2015). Regulação do acúmulo de Na<sup>+</sup> e resistência à salinidade em (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). *Pesquisa Agropecuária Pernambucana*. 20(1):1-10.
- Amaro, H. T. R.; David, A. M. S. S.; Carvalho, J.; Vieira, N. M. B.; Aspiazú.; I.; Assis, M. O. (2014). Qualidade fisiológica de sementes de cultivares de feijão em função de densidades populacionais. *Semina: Ciências Agrárias, Londrina*. 35(3):1241-1248.
- Association Of Official Seed Analysis, (1983). *Seed Vigor Testing Handbook*. Zürich: Aosa, 93p.
- Ávila, J. S.; Rocha, P. A.; Araujo Neto, A. C.; Nunes, R. T.C.; Lima. R. S.; Morais, O. M. (2013). Germinação de sementes de feijão-caupi de diferentes cultivares. *In: Congresso nacional de feijão-caupi*. Feijão-caupi como alternativa sustentável para os sistemas produtivos familiares e empresariais. Recife: IPA.
- Batista, N.A.S.; Luz, P.B.; Sobrino, S.P.; Neves, L.G. e Krause, W. (2012) – Avaliação da qualidade fisiológica de sementes de feijão-caupi pelo teste de condutividade elétrica. *Revista Ceres*. (59)4:550-554.
- Bragantini, C. (2005). Alguns aspectos do armazenamento de sementes e grãos de Feijão. Santo Antônio de Goiás, GO. *Embrapa Arroz e Feijão*, 85p.
- Brasil (2009) Regras para análise de sementes. Brasília, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Mapa/ACS, 395p.

- Companhia Nacional de Abastecimento (Conab) (2022). Acompanhamento da safra brasileira de grãos: safra 2020/21. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 04 jan. 2022.
- Dan, L. G. M.; Dan, H. A.; Barroso, A. L. L.; Braccini, A. L. (2010). Qualidade fisiológica de sementes de soja tratadas com inseticidas sob efeito do armazenamento. *Revista Brasileira de Sementes*. 32:131- 139.
- Dias, F. M.; Teixeira, I. R.; Alcântara, G. R. de; Devilla, I. A.; Alves, S. M. de F. (2012). Qualidade fisiológica de sementes de cultivares de feijão-caupi submetidas a diferentes condições de secagem. *Enciclopédia Biosfera*. 8(14):807 -818.
- Dutra, A. S.; Bezerra, F. T. C.; Nascimento, P. R.; Lima, D. C. (2012). Produtividade e qualidade fisiológica de sementes de feijão caupi em função da adubação nitrogenada. *Revista Ciências Agronômica*. 43(4):115-125.
- Dutra, A. S.; Teófilo, E. M.; Medeiros Filho, S.; Dias, F. T. C. (2007). Qualidade fisiológica de sementes de feijão-caupi em quatro regiões do estado do ceará. *Revista Brasileira de Sementes*. 29(2):111-116.
- Elias, M. C.; Oliveira, M. de; Vanier, N. L.; Ferreira, C. D. (2015). Tecnologias de pré-armazenamento, armazenamento e conservação de grãos. Pólo de Inovação Tecnológica em Alimentos da Região Sul - Corede-Sul / SCT-RS. Pelotas, Ed. UFPEL, 102.
- FAOSTAT. (2020) Food and agriculture organization of the United nations. Statistic database. Disponível em [http:// www.fao.org/faostat/en/#data/QC](http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC) E. Acessado em out. de 2020.
- Freire Filho, F. R.; Ribeiro, V. Q.; Rocha, M de M.; Silva, K. J. D. e; Nogueira, M. do S. da R.; Rodrigues, E. V. (2011). Feijão-caupi no Brasil: produção, melhoramento genético, avanços e desafios. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 84 p.
- Guerra, C. A., Marchetti, M. E., Robaina, A. D., Souza, L. C. F. de, Gonçalves, M. C., & Novelino, J. O. (2008). Qualidade fisiológica de sementes de soja em

função da adubação com fósforo, molibdênio e cobalto. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 28(1):91-97.

Guilhen, J. H. S. et al. (2016). Physiological characteristics in seeds of the common bean under multicollinearity and conditions of salinity. *Revista Ciência Agronômica*. 47(1):127-134.

Jacob-Neto, J.; Franco, A.A. (1986). Adubação de molibdênio em feijoeiro. Seropédica: Embrapa-Uapnpbs, 4p. (Embrapa-Uapnpbs. Comunicado Técnico, 12).

Jacob-Neto, J.; Rossetto, C.A.V. (1998). Concentração de nutrientes nas sementes: o papel do molibdênio. *Floresta e Ambiente* 5(1):171-183.

Marcarello, A.; Yamashita, O. M.; Carvalho, M. A. C. (2012). Qualidade fisiológica de sementes de feijoeiro em função da aplicação foliar de cobalto e molibdênio. *Global Science and Technology*. 5(2):121- 132.

Marcos Filho, J. (1999). Teste de envelhecimento acelerado. In: Krzyzanowski, F.C.; Vieira, R.D.; França-Neto, J.B. (Ed.). Vigor de Sementes: conceitos e testes. Londrina. 3:1-24.

Marcos-Filho, J. (2015). Fisiologia de sementes de plantas cultivadas. 2.ed. Londrina, 660.

Martins, C. C. (2016). Metodologia para seleção de linhagens de soja visando germinação, vigor e emergência em campo. *Revista Ciência Agronômica*. 47(3):455-461.

Matos, A. C. B.; Borges, E. E. L.; Silva, L. J. (2015). Fisiologia da germinação de sementes de *Dalbergia nigra* (Vell.) Allemão ex Benth. sob diferentes temperaturas e tempos de exposição. *Revista Árvore*. 39(1):115-125.

Moura, M. L. S.; Chagas, E. A.; Smirdele, O. J.; Vilaça, R.; Chagas, P. C.; Moura, E. A.; Farias, E. E. (2016). Biometric characterization water absorption curve and vigor on arcaç-boi seeds. *International Journal of Plant Biology*. 7, 6265.

- Oliveira, R. H.; Souza, M. J. L.; Moraes, O.M.; Guimarães, B.V.C.; Pereira Junior, H. A. (2010). Potencial fisiológico de sementes de mamona tratadas com micronutrientes. *Acta Scientiarum Agronomy*. 32(4):701-707.
- Sarath, K. L. L.; Goneli, A. L. D.; Hartmann Filho, C. P.; Masetto, T. E.; Oba, G. C. (2016). Physiological potential of peanut seeds submitted to drying and storage. *Journal of Seed Science*. 38(3):233-240.
- Shaibu, A. S.; Ibrahim, S. I, (2016). Genetic variability and heritability of seedling vigor in common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) in sudan savanna. *International Journal of Agricultural Policy and Research*. 4(4):62-66.
- Silva, F. S. (2010). Viabilidade do armazenamento de sementes em diferentes embalagens para pequenas propriedades rurais. *Revista de Ciências Agroambientais*. 8(1):45-56.
- Smaniotto, T. A. S.; Resende, O.; Marçal, K. A. F.; Oliveira, D. E. C.; Simon, G. A. (2014). Qualidade fisiológica das sementes de soja armazenadas em diferentes condições. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 18(4):446–453.
- Teixeira, I.R.; Borém, A.; Araújo, G.A.A. & Andrade, M.J.B. (2005) – Teores de nutrientes e qualidade fisiológica de sementes de feijão em resposta à adubação foliar com manganês e zinco. *Bragantia*. 64(1):83-88.
- Teixeira, I.R.; Silva, G.C.; Oliveira, J.P.R.; Silva, A.G.; Pelá, A. (2010). Desempenho agrônomico e qualidade de sementes de cultivares de feijão-caupi na região do cerrado. *Revista Ciência Agronômica*. 41(2):300-307.
- Vieira, E. H.N. (2000). Sementes de Feijão: Produção e Tecnologia. *Embrapa Arroz e Feijão*, 270.
- Vieira, R. D.; Krzyzanowski, F. C. (1999). Teste de Condutividade Elétrica. In: Krzyzanowski, F. C.; Vieira, R. D.; França Neto, J. B. (Ed.) Vigor de sementes: conceitos e testes. Londrina, 4-1.
- Vieira, R.F.; Paula Júnior, T.J. de; Prado, A.L. do; Araújo, R.F.; Lehner, M. DA S.; Silva, R.A. (2015). A aplicação foliar de molibdênio na fase de enchimento de

vagens do feijão-comum pode reduzir a qualidade da semente. *Revista Ceres*. 62(4):415-419.

Wamalwa, E.N.; Muoma, J. & Wekesa, C. (2016). Genetic Diversity of Cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) Accession in Kenya Gene Bank Based on Simple Sequence Repeat Markers. *International Journal of Genomics*. 8956412.

Yokohama, L.P.; Stone, L.F. (2000). Cultura do feijoeiro no Brasil. Embrapa arroz e feijão, 75.

## 5. RESUMO E CONCLUSÕES

Foram instalados 3 experimentos em Campos dos Goytacazes, município do Rio de Janeiro. O primeiro experimento teve como objetivo enriquecer sementes de feijão-caupi cultivar BRS Itaim, através da aplicação foliar de Mo e doses de P no plantio. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, em esquema fatorial 4 x 4: doses de Mo (0, 100, 250 ou 500 g ha<sup>-1</sup>) e doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0, 50, 100 ou 150 kg ha<sup>-1</sup>), em delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições. No segundo experimento objetivou-se avaliar o efeito dos conteúdos de Mo na semente e doses de P sobre a produtividade e teores nutricionais do feijão-caupi. O experimento foi conduzido em casa de vegetação no esquema fatorial 4 x 4: quatro conteúdos de molibdênio na semente (0,44; 1,89; 3,89 e 7,22 µg semente<sup>-1</sup>) e quatro doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0, 50, 100 e 150 kg ha<sup>-1</sup>) aplicado no vaso. O delineamento utilizado foi em blocos casualizados, com quatro repetições. Foram avaliados: o número de nódulos (NN), o comprimento de vagens (CV), a massa seca de vagem (MSV), o número de grãos por vagem (NGV), o número de vagens por planta (NV) e a massa de 100 grãos (M100G). No terceiro experimento objetivou-se avaliar a qualidade fisiológica de sementes submetidos a testes de germinação, emergência, condutividade elétrica e grau de umidade sob influência dos conteúdos de molibdênio na semente em feijão-caupi cultivar BRS Guariba. Os experimentos foram conduzidos no laboratório de sementes e em casa de vegetação, no esquema fatorial 4 x 5. Foram utilizados quatro conteúdos de molibdênio na semente (3,51; 4,54, 5,29 e 7,02 µg semente<sup>-1</sup>) e cinco tempos (0, 3,

6, 9 e 12 meses), o delineamento utilizado foi em blocos casualizados com 4 repetições.

### **As principais conclusões foram:**

Os componentes de produção comprimento de vagem e número de grãos por vagem tiveram incrementos significativos quando foi utilizado o Mo e P em conjunto.

A dose 150 kg ha<sup>-1</sup> de P aumentou a produção de grãos, a massa seca de vagem e a massa de 100 grãos, esses dois últimos são os responsáveis pelo aumento na produtividade.

A dose de 500 g ha<sup>-1</sup> de Mo, aplicado via foliar, parcelado em três estágios apresentaram o maior teor e o conteúdo de Mo na semente de feijão-caupi cultivar BRS Itaim, na ausência da aplicação de P. Esta técnica é uma forma eficaz de aumentar o teor de Mo na semente, o que leva a uma redução no custo de produção de sementes ricas em Mo.

Elevadas doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> combinados com alto teor de Mo na semente aumentaram em 170% e 29%, respectivamente a nodulação e o desempenho simbiótico do feijão-caupi.

As plantas cultivadas a partir de alto conteúdo de molibdênio associada à dose de 150 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> aumentaram a produtividade de feijão-caupi cultivar BRS Itaim.

Alto conteúdo de molibdênio na semente, aumenta o teor de nitrogênio nas sementes de feijão-caupi.

Assim, o uso de sementes enriquecidas com Mo por agricultores pode melhorar a nutrição nitrogenada e a produtividade de feijão-caupi. Dessa forma, essa prática agrônômica poderia impulsionar a produção no estado do Rio de Janeiro dispensando o uso da adubação nitrogenada mineral cara e poluente.

Sementes com alto conteúdo de Mo, oriundos de plantas pulverizadas com altas doses de molibdênio, não afetam a qualidade fisiológica de sementes em longos períodos de armazenamento.

As avaliações de % de germinação, % de emergência e condutividade elétrica foram eficientes em distinguir, que sementes enriquecidas com molibdênio apresentam alto poder germinativo em longos períodos de armazenamento estando dentro dos padrões para comercialização

O armazenamento de grãos em papel trifoliado em temperatura ambiente não afeta a qualidade fisiológica de sementes.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, A. L. G., Alcântara, R. M. C. M., Nóbrega, R. S. A., Nóbrega, J. C. A., Leite, L. F. C., Silva, J. A. L (2010). Produtividade do feijão-caupi cv BR 17 Gurguéia inoculado com bactérias diazotróficas simbióticas no Piauí. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias - Brazilian Journal of Agricultural Sciences*. 5(3):364–369.
- Almeida, F. F. D., Araújo, A. P. e Alves, B. J. R. (2013). 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*, 37:367-378.
- Araújo Filho, J. C. et al. (2000). Levantamento de reconhecimento de baixa e média intensidade dos solos do estado de Pernambuco. Recife: *Embrapa Solos/ UEP Recife; Rio de Janeiro: Embrapa Solos*. 252 p.
- Araújo, F. M. M. C. de. (1997). *Caracterização bioquímica de sementes de cultivares de feijão-caupi (Vigna unguiculata (L.) Walp.)* 84p. Dissertação (Mestrado em Bioquímica) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- Barbieri, A.P.P.; Martin, T.N.; Mertz, L.M.; Nunes, U.R e Conceição, G.M. (2013). Redução populacional de trigo no rendimento e na qualidade fisiológica das sementes. *Revista Ciência Agronômica*, 44(4):724-731.

- Bezerra, A. K. P.; Lacerda, C. F. de; Hernandez, F. F. F.; Silva, F. B. da; Gheyi, H. R. (2010). Rotação cultural feijão-caupi/milho utilizando-se águas de salinidades diferentes. *Ciência Rural*, Santa Maria, RS, 40(5):1075-1082.
- Bortels, H. (1930). Molybdän als Katalysator bei der biologischen Stickstoffbindung. *Archives of Microbiology*, Berlin, 1:333-342.
- Brito, M. M. P.; Muraoka, T.; Silva, E. C. (2011). Contribuição da fixação biológica de nitrogênio, fertilizante nitrogenado e nitrogênio do solo no desenvolvimento de feijão e caupi. *Bragantia*, 70(1):206-215.
- Brito, M. de M. P.; Muraoka, T.; Silva, E. C. da, (2009). Marcha de absorção do Nitrogênio do solo, do fertilizante e da fixação simbiótica em feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L) Walf) e feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) determinada com o uso de <sup>15</sup>N. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 3:895 – 905.
- Bucher, C. A.; Bucher, C. P. C.; Araujo, A. D.; Sperandio, M. V. L. Fósforo. In: Fernandes, M. S.; Souza, S. R.; Santos, L. A. (2018). *Nutrição Mineral de Plantas*. 2. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 401-428.
- Bulen, W.A.; Le Conte, J.R. (1966). The nitrogenase system from *Azotobacter*: two enzyme requirements for N<sub>2</sub> reduction, ATP-dependent H<sub>2</sub> evolution, and ATP hydrolysis. *National Academy of Sciences of the United States of America Proceedings, Washington*, 56:979- 986.
- Cardoso, M. J.; Melo, F. de B.; Andrade Júnior, A. S.; Lima, M. G. (2000). Clima e aspectos de plantio. In: Cardoso, M. J. (Org.). *A cultura do feijão-caupi no meio norte do Brasil*. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 49-88.
- Carvalho, M., Castro, I., Moutinho-Pereira, J., Correia, C., Egea-Cortines, M., Matos, M., Rosa, E., Carnide, V., Lino-Neto, T., (2019). Evaluating stress responses in cowpea under drought stress. *Journal of Plant Physiology* 241: 153001.
- Ceasa - Centrais de Abastecimento do Estado do Rio de Janeiro (2006). Disponível em: [www.ceasa.rj.gov.br/ceasa/consultas/consultas.htm](http://www.ceasa.rj.gov.br/ceasa/consultas/consultas.htm) - Acesso em: 07 jan. 2022.

- Companhia Nacional de Abastecimento (Conab) (2022). Acompanhamento da safra brasileira de grãos: safra 2020/21. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 04 jan. 2022.
- Correa, A.M.; Ceccon, G.; Correa, C.M.A.; Delben, D.S. (2012). Estimativas de parâmetros genéticos e correlações entre caracteres fenológicos e morfoagronômicos em feijão-caupi. *Revista Ceres*, 59:88-94.
- Costa Leite R. da; Costa Leite R. da; Silva Cravo, M. da. (2020). Safrinha de feijão-caupi sob doses residuais de fósforo na Amazônia brasileira. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 50:66078.
- Dechen, A.R.; Nachtigall, G.R. (2006). Micronutrientes. In: Fernandes, M.S. (Ed.). *Nutrição Mineral de Plantas*. Viçosa: SBCS, 432 p.
- Delgado, A.; Quemada, M.; Villalobos, F. J.; Mateos, L. (2016). Fertilization with phosphorus, potassium and other nutrients. In: Villalobos, F. J.; Fereres, E. *Principles of agronomy for sustainable agriculture*. Springer International Publishing AG, 381-405.
- Do Vale, J.C.; Bertini, C.; Borém, A. (2017). *Feijão-caupi: do plantio à colheita*. Editora UFV, 267p.
- Embrapa Meio-Norte. Cultivo de feijão-caupi. Jul/2003. Disponível em: <http://www.cpamn.embrapa.br/pesquisa/graos/FeijaoCaupi/referencias.ht>.
- Embrapa Meio-Norte. Teresina, PI. 2011, p. 16, 27, 43. 1ª ed. ISBN 978-85-88388-21-5. Acesso em: 10 out. 2021.
- Fageria, N. K. (1990). Calibração de análise de fósforo para arroz em casa de vegetação. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 25(4):579-586.
- Foloni, J. S. S.; Tiritan, C. S.; Calonego, J. C.; Alves Junior, J. (2008). Aplicação de fosfato natural e reciclagem de fósforo por milheto, braquiária, milho e soja. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, 32(3):1147-1155.

- Fonseca, M. R.; Fernandes, A. R.; Silva, G. R.; Brasil, E. C. (2010). Teor e acúmulo de nutrientes por plantas de feijão-caupi em função do fósforo e da saturação por bases. *Revista de Ciências Agrárias*, 53(2):195-205
- FAOSTAT. (2020) Food and agriculture organization of the United nations. Statistic database. Disponível em <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC> E. Acessado em out. de 2021.
- Freire Filho, F. R.; Lima, J. A. A.; Ribeiro, V. Q. (2005). Feijão-caupi: avanços tecnológicos. *Brasília: Embrapa Informação Tecnológica*, 519 p.
- Freire Filho, F. R.; Ribeiro, V. Q.; Rocha, M de M.; Silva, K. J. D. e; Nogueira, M. do S. da R.; Rodrigues, E. V. (2011) Feijão-caupi no Brasil: produção, melhoramento genético, avanços e desafios. Teresina: *Embrapa Meio-Norte*, 84 p.
- Guedes, R. E. (2008) *Bases para o Cultivo Orgânico de Feijão-Caupi [Vigna unguiculata L. (Walp.)] no Estado do Rio de Janeiro*. Tese (Doutorado em Fitotecnia) Seropédica-RJ, Universidade Federal do Rio de Janeiro- UFRRJ, 93p.
- Havemeyer, A., Lang, J., Clement, B., (2011). The fourth mammalian molybdenum enzyme mARC: current state of research. *Drug Metabolism Reviews*. Rev., 43(4): 524-539.
- Hille, R., Nishino, T., Bittner, F., (2011). Molybdenum enzymes in higher organisms. *Coordination Chemistry Reviews*. Rev., 255(9-10):1179-1205
- IBGE (2020). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA. 2020. Disponível em: Acesso em: 22/10/2021.
- Jaiswal, S. K., e Dakora, F. D. (2019). Widespread distribution of highly adapted *Bradyrhizobium* species nodulating diverse legumes in Africa. *Frontiers in Microbiology*, 10:310.
- Kerbaui, G. B. (2012). *Fisiologia Vegetal*. 2 ed. Rio de Janeiro- RJ: Guanabara Koogan, 431 p.

- Kigel, J., Rosental, L., e Fait, A. (2015). Seed Physiology and Germination of Grain Legume. In: De Ron A. (eds) Grain Legume. *Handbook of Plant Breeding*. New York: Springer, 327-363.
- Kovács, B., Puskás-Preszner, A., Huzsvai, L., Lévai, L., Bódi, E. (2015). Effect of molybdenum treatment on molybdenum concentration and nitrate reduction in maize seedlings. *Plant Physiology and Biochemistry*, 96(6):38-44.
- Lana, R. M. Q.; Zanão Júnior, L. A.; Luz, J. M. Q.; Silva, J. C. (2004). Produção da alface em função do uso de diferentes fontes de fósforo em solo de Cerrado. *Horticultura Brasileira*, 22:525-528.
- Leal, Renata M.; M. Prado, Renato de (2008). Desordens nutricionais no feijoeiro por deficiência de macronutrientes, boro e zinco. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, vol. 3(4):301-306.
- Leite L. F. C, Araújo A. S. F, Costa C. N, Ribeiro A. M. B. (2009). Nodulação e produtividade de grãos do feijão-caupi em resposta ao molibdênio. *Revista Ciência Agronômica*, 40:492-497.
- Leite UT, Araújo GA de A, Miranda GV, Vieira RF, Carneiro JE de S, Pires AA. (2007). Rendimento de grãos e componentes de rendimento do feijoeiro em função da aplicação foliar de doses crescentes de molibdênio. *Acta Scientiarum Agronomy*, 29:113-120.
- Liu, C.; Wang, Y.; Pan, K.; Jin, Y.; Li, W.; Zhang, L. (2015). Effects of phosphorus application on photosynthetic carbon and nitrogen metabolism, water use efficiency and growth of dwarf bamboo (*Fargesia rufa*) subjected to water deficit. *Plant Physiology and Biochemistry*, 96:20-28.
- Machado, C. D. F.; Freire Filho, F. R.; Ribeiro, V. Q.; Costa, D. S. S.; Amorim, A. F. D. (2007). Herança da inflorescência composta da cultivar de 201 feijão-caupi cacheado. *Ciência e Agrotecnologia*, 31(5):1347-1350.
- Malavolta, Euripedes. (2006). *Manual de nutrição de plantas*. São Paulo: Ceres, 631 p.

- Marschner, P. (2011). *Mineral nutrition of higher plants*. 3. ed. London: Academic Press, 672 p.
- Martins, L.M.V.; Xavier, G.R.; Rangel, F.W.; Ribeiro, J.R.A.; Neves, M.C.P.; Morgado, L.B.; Rumjanek, N.G. (2003). 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*, 38:333-339.
- Mendel, R.R. (2011). Cell biology of molybdenum in plants. *Plant Cell Report*, vol. 30:1787-1797.
- Moreira, W. K. O., Oliveira, S, S., Alves, J, D, N., Ribeiro, R, A, R., Souza, L, A, S. et al. (2017). Evolution of Cowpea Productivity for the Main Producers of Northeast Paraense From 2000 To 2014. *Nucleus*, 14(1):341–350.
- Fageria, N. K e Baligar, V. C. (2016). Growth, yield and yield components of dry bean as influenced by phosphorus in a tropical acid soil. *Journal of Plant Nutrition*, 39(4):562-568.
- Nascente, A. S.; Cobucci, T.; Sousa, D. M. G.; Lima, D. P. (2014). Produtividade do feijoeiro comum afetada por fontes de fósforo com ou sem cálcio. *Revista de Ciências Agrárias*, 57(2):180-185.
- Nascimento, S. P. do; Bastos, E. A.; Araújo, E. C.; Freire Filho, F. R.; SILVA, E. M. D. (2011). Tolerância ao déficit hídrico em genótipos de feijão-caupi. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 15(8):853-860.
- Ndungu, S. M., Messmer, M. M., Ziegler, D., Gamper, H. A., Mészáros, E., Thuita, M., Thonar, C. (2018). Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) hosts several widespread bradyrhizobial root nodule symbionts across contrasting agro-ecological production areas in Kenya. *Agriculture, Ecosystems, & Environment*, 261:161-171.
- Ng, Q.; Padulosi, S. (1988). Cowpea genepool distribution and crop improvement. In: NG, Q.; Perrino P.; Attere, F.; Zedan, H (Eds) *Crop Genetic Resources of Africa*, V.II. IBPGR, Rome.161–174.

- Nunes, R. T. C.; Souza, U. O.; Araújo Neto, A. C.; Morais, O. M.; Fogaça, J. J. N. L.; Santos, J. L.; Cardoso, A. D.; Jose, A. R. S. (2017). Produção e qualidade de sementes de feijão-caupi em função de doses de molibdênio e da população de plantas. *Revista de Ciências Agrárias* (Lisboa), 40:533-542.
- Okeleye, K. A.; Okelan, M. A. (1997). Effect of phosphorus fertilizer on nodulation, growth and yield of cowpea (*Vigna unguiculata*) varieties. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, New Dehli, 67:10-12.
- Oliveira, E.; Mattar, E.P.L.; Araújo, M.L. A.; Jesus, J.C.S.; Nagy, A.C.G.; Santos, V.B.S. (2015). Descrição de cultivares locais de feijão-caupi coletados na microrregião Cruzeiro do Sul, Acre, Brasil. *Acta Amazônica* 45(3):243-254
- Oliveira, I. J.; Fontes, J. R. A.; Barreto, J. F.; Pinheiro, J. O. C. (2018). Recomendações técnicas para o cultivo de milho no Amazonas. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 28 p. (*Embrapa Amazônia Ocidental*. Circular Técnica, 68).
- Omari, H.; Dehbi, A.; Lammini, A.; Abdallaoui, A. (2019). Study of the Phosphorus Adsorption on the Sediments, *Journal of Chemistry*, 1:1-10.
- Pacheco, R. S.; Brito, L. F.; Staliotto, R.; Pérez, D. V.; Araújo, A. P. (2012). Seeds enriched with phosphorus and molybdenum as a strategy for improving grain yield of common bean crop. *Field Crops Research*, 136:97-106.
- Pang, J.; Ryan, M. H.; Lambers, H.; Siddique, K. H. M. (2018). Phosphorus acquisition and utilization in crop legumes under global change. *Current Opinion in Plant Biology*, 45:1- 7.
- Polanco, L.R; Rodrigues, F.A.; Moreira, E. N. (2014). Management of anthracnose in common bean by foliar sprays of potassium silicate, sodium molybdate, and fungicide. *Plant Disease*, St. Paul, 98:84-89.
- Públio Júnior, E. (2014). *Qualidade de sementes e características agronômicas de genótipos de feijão-caupi cultivados em Vitória da Conquista – BA*. 82 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Área de concentração em Fitotecnia, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista.

- Públio Júnior, E.; Guimarães, D. G.; Públio, A. P. P.; Souza, U. O.; Amaral, C. L. F. (2018). Estimativas de parâmetros genéticos em genótipos de feijão-frade. *Revista de Ciências Agrárias*, 41(3):231-240.
- Raboy, Victor (2009). Approaches and challenges to engineering seed phytate and total phosphorus. *Plant Science*, Davis, 177:281-296.
- Ramos, S. J.; Faquin, V.; Rodrigues, C. R.; Silva, C. A.; Ávila, F. W.; Sampaio, R. A. (2010). Utilização de fósforo e produção de feijoeiro: influência de gramíneas forrageiras e fontes de fósforo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, 34(1):89-96.
- Rana, M.S., Bhandana, P., Sun, X.C., Imran, M., Shaaban, M., Moussa, M.G., Saleem, M.H., Elyamine, A.M., Binyamin, R., Alam, M., Afzal, J., Khan, I., Din, I.U., Ahmad, I., Younas, M., Kamran, M., Hu, C.X. (2020). Molybdenum as an essential element for crops: an overview. *Biomedical Journal of Scientific & Technical Research*, 24:18535-18547.
- Rocha, E.; Silva, D.E.; Menezes.; Jose, A. de. (2017) Cultivo de feijão-caupi: importância econômica. *Embrapa: Sistema de produção*. Piauí, p. 1-6.
- Rubio, L.M.; Ludden, P.W. (2008). Biosynthesis of the iron-molybdenum cofactor of nitrogenase. *Annual Review Microbiology*, 62:93-111.
- Santos, José Zilton Lopes; Furtini Neto, A. E.; Resende, A. V. de; Curi, N.; Carneiro, L. F.; Costa, S. E. V. F. de A. (2008). Frações de fósforo em solo adubado com fosfatos em diferentes modos de aplicação e cultivado com milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32(2):705-714, 2008.
- Sapucay, M. J. C.; Vieira, R. F.; Carneiro, J. E. S.; Junior, T. J. P.; Lima, M. S.; Vidigal, S. M. (2016). Is it possible to attain high-yielding common bean using molybdenum fertilizer instead of side-dressed nitrogen. *Journal Plant of Nutrition*.;39:1644–1653.
- Shen, J.; Yuan, L.; Zhang, J.; Li, H.; Bai, Z.; Chen, X.; Zhang, W.; Zhang, F. Phosphorus dynamics: from soil to plant. (2011). *Plant Physiology*, 156:997-1005.



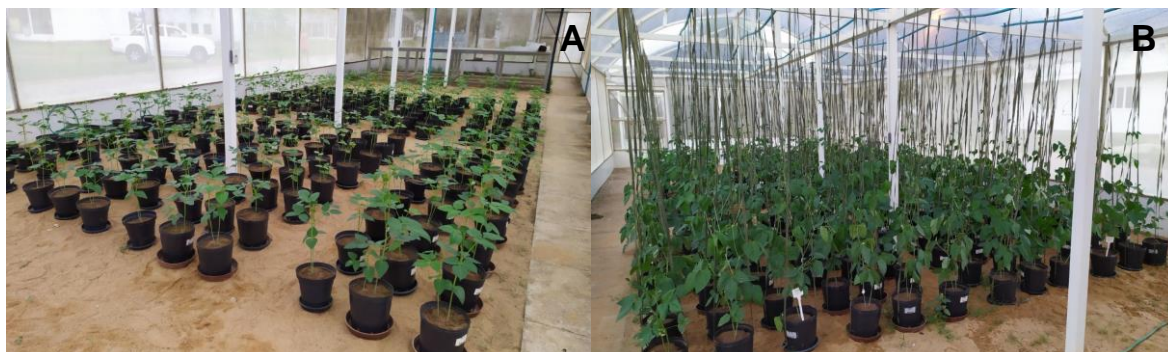
- Silva, E. M.; Santos, M. M.; Lopes, M. B. S.; Fidelis, R. R.; Rocha, W. S.; Chagas Júnior, A. F. (2019a). Eficiência de rizóbios sob doses de fósforo na cultura do feijão-caupi. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*, 9(2):67-77.
- Silva, K.J.D.; Rocha, M.M.; Menezes Júnior, J.A.N. (2016). Capítulo 3. Principais doenças do feijão-caupi no Brasil. In: BASTOS, E.A. (Ed). *A cultura do feijão-caupi no Brasil*. Teresina: *Embrapa Meio Norte*. p. 44-67.
- Silva, M. A.; Nóbrega, J. C. A.; Curi, N.; Siqueira, J. O.; Marques, J. J. G. S. M.; MOTTA, P. E. F. (2003). Frações de fósforo em Latossolos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 38(10):1197-1207.
- Soares, A.L.L.; Ferreira, P.A.A.; Pereira, J.A.R.; Vale, H.M.M.; Lima, A.S.; Andrade, M.J.B.; Moreira, F.M.S. (2006). Eficiência agrônômica de rizóbios selecionados e diversidade de populações nativas nodulíferas em Perdões (MG): II - feijoeiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 30:803-811.
- Taiz, L.; Zeiger, E.; Møller, I. M.; Murphy, A. (2017). *Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal*, 6ª Edição, Porto Alegre: Artmet. 888 p.
- Teixeira, I.R.; Borém, A.; Araújo, G.A.A. & Andrade, M.J.B. (2005) – Teores de nutrientes e qualidade fisiológica de sementes de feijão em resposta à adubação foliar com manganês e zinco. *Bragantia*, 64(1):83-88.
- Teixeira, J. B. S.; Sousa, R. O.; Vale, M. L. C. (2018). Phosphorus adsorption after drainage in two soil classes. *Revista Ceres*, 65:196-203.
- Tiecher, T.; Calegari, A.; Caner, L.; Rheinheimer, D.S. (2017). Soil fertility and nutrient budget after 23-years of different soil tillage systems and winter cover crops in a subtropical Oxisol. *Geoderma*, 308:78–85.
- Tiecher, T.; Santos, D. R.; Kaminski, J.; Calegari, A. (2012). Forms of inorganic phosphorus in soil under different long term soil tillage systems and winter crops. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 36:271-281.
- Timko, M.P.; Singh, B.B. (2008). Cowpea, a multifunctional legume. In: Moore, P.H.; MING, R. (Eds.), *Genomics of Tropical Crop Plants*. Springer Nature, Londres 227- 258.

- Tisdale SL, Havlin JL, Nelson WL, Beaton, JD. (1993). *Soil fertility and fertilizers*. 5. ed. New York: *MacMillan*.
- Valderrama, M.; Buzetti, S.; Benett, C. G. S. Andreotti, M.; Arf, O.; Sa M. E. (2009). Fontes e doses de nitrogênio e fósforo em feijoeiro no sistema plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 39(03):191-196.
- Vieira, R. F., Ferreira, A. C. B.; Prado, A. L. (2011). Aplicação foliar de molibdênio em feijoeiro: conteúdo do nutriente na semente e desempenho das plantas originadas. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 41:163-169.
- Vieira, R. F.; Paula Júnior, T. J.; Carneiro, J. E. S e Queiroz, M. V. (2014). Genotypic variability in seed accumulation of foliar-applied molybdenum to common bean. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 38:205-213.
- Vieira, R.F.; Paula Júnior, T.J. de; Prado, A.L. do; Araújo, R.F.; Lehner, M. DA S.; Silva, R.A. (2015). A aplicação foliar de molibdênio na fase de enchimento de vagens do feijão-comum pode reduzir a qualidade da semente. *Revista Ceres*, 62(4):415-419.
- Vieira, R.F.; Paula Júnior, T.J.; Pires, A, A.; Carneiro, J.E.S.; Rocha, G.S. (2011). Common beans seed complements molybdenum uptake by plants from soil. *Agronomy Journal*, 103(6):1843-1848.
- Vieira, R.F.; Salgado, L.T.; Ferreira, A.C.C. (2005). Performance of common bean using seeds harvested from plants fertilized with high rates of molybdenum. *Journal of Plant Nutrition*, 28:393-377.
- Vilarinho, A. A.; Rocha, M. de M.; Freire Filho, F. R.; Coelho, G. (2010). BRS ITAIM: Cultivar de Feijão-caupi com Grãos Tipo Fradinho. *Boa Vista: Embrapa Roraima*, 4p.
- Vilarinho, A.A. BRS Guariba – cultivar de feijão-caupi de alto desempenho em Roraima. (2007). Disponível em: <[http://www.infobibos.com/Artigos/2007\\_4/Guariba/index.htm](http://www.infobibos.com/Artigos/2007_4/Guariba/index.htm)>. Acesso em: 16/1/2022

- Wang, G.; Mcgiffen, M.E.; Ehlers, J.D.; Marchi, E.C.S. (2017). Competitive ability of cowpea genotypes with different growth habit. *Weed Science* 54(4):775-778.
- White, Philip. J.; Veneklaas, E. J. (2012). Nature and nurture: the importance of seed phosphorus content. *Plant and Soil*, 357(1-2):1-8.
- Wurzburger N, Bellenger JP, Kraepiel AML, Hedin LO. (2012). Molybdenum and phosphorus interact to constrain asymbiotic nitrogen fixation in tropical forests. *Plos One*. 7:1-7.
- Zilli, J. E., Valicheski, R. R.; Rumjanek, N. G; Araújo, J. L. S.; Freire Filho, F. R; Neves, M. C. P. (2006). Eficiência de Simbiótica de Estirpes de *Bradyrhizobium* isoladas de solo do Cerrado em Caupi. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 41(5):201-210.

## APÊNDICE

1. Imagens do experimento enriquecimento de sementes com molibdênio e adubação fosfatada em feijão-caupi, Campos dos Goytacazes – RJ.



**Figura 1.** Montagem do experimento (A) e tutoramento do feijão-caupi (B) para aplicação foliar de molibdênio, avaliou-se a adubação fosfatada e enriquecimento de sementes.



**Figura 2.** Aplicação foliar de molibdênio nas fases vegetativa e reprodutiva do feijão-caupi aos 30 (A), 45 (B) e 60 (C) dias após a emergência.



**Figura 3.** Sementes de feijão-caupi cultivar BRS Itaim enriquecidas com molibdênio.



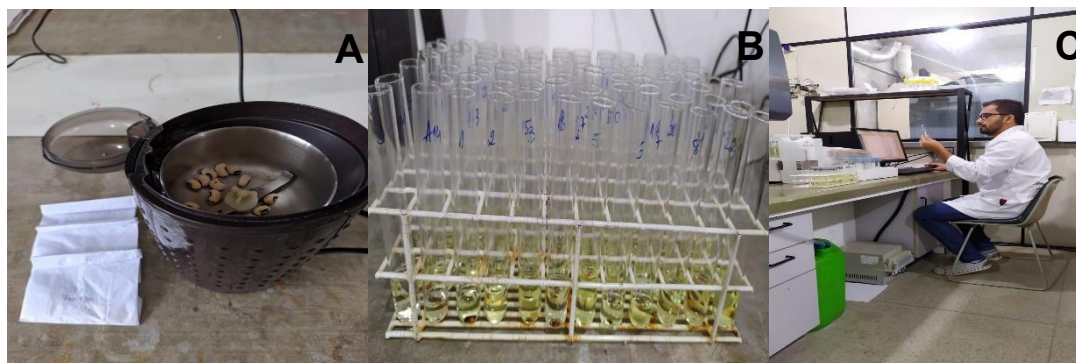
2. Imagens do experimento das sementes enriquecidas com molibdênio e doses de fósforo em feijão-caupi, cultivar BRS Itaim, Campos dos Goytacazes – RJ.



**Figura 1.** Montagem do experimento (A) e maturação do feijão-caupi (B) para avaliação dos componentes de produção.

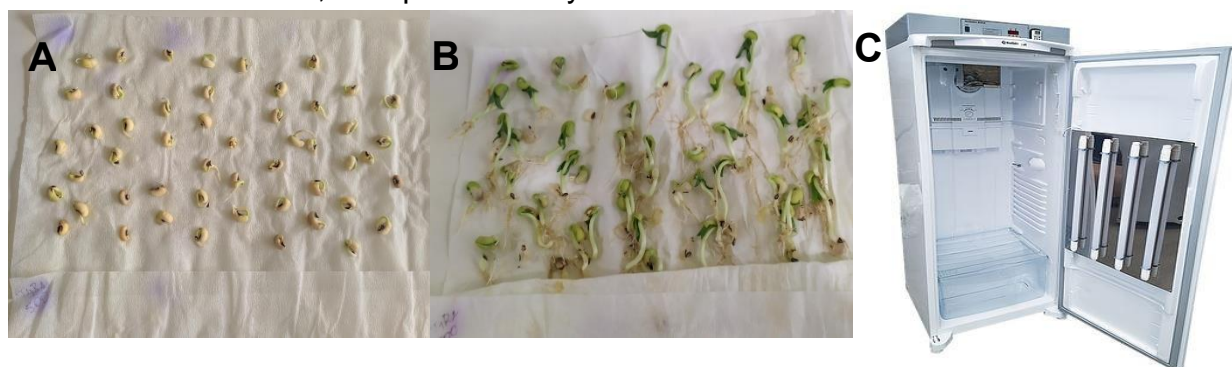


**Figura 2.** Avaliação da nodulação (A) e comprimento de vagem (B e C) do feijão-caupi submetido a adubação fosfatada e sementes enriquecidas com molibdênio.



**Figura 3.** Moagem das sementes (A), extrato da digestão (B) e leitura em espectrômetro de emissão atômica ICPE-9000 (C) para quantificação dos teores nutricionais da semente de feijão-caupi.

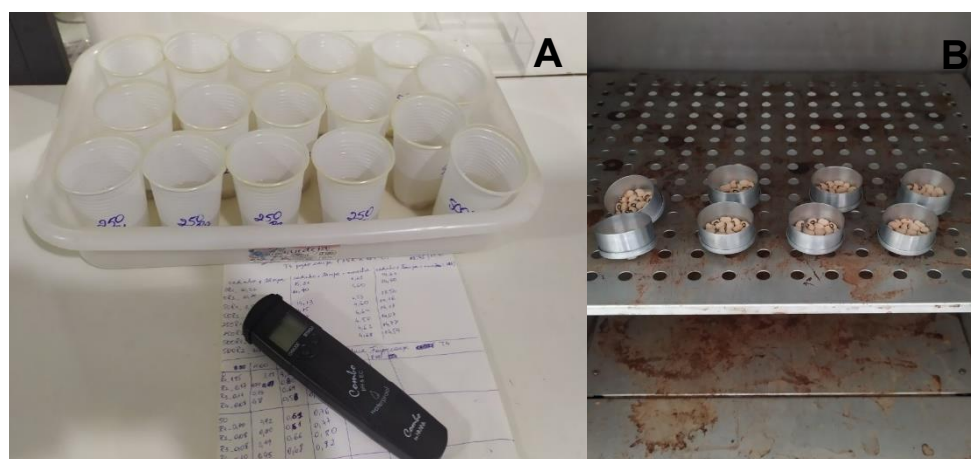
3. Imagens do experimento armazenamento de sementes feijão-caupi cultivar BRS Guariba, Campos dos Goytacazes – RJ.



**Figura 1.** Teste de germinação do feijão-caupi cultivar BRS Guariba (A), emissão de parte aérea e radícula (B) e câmara fria BOD (C) a  $25\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ .



**Figura 2.** Teste de emergência do feijão-caupi cultivar BRS Guariba (A), plântulas com 8 dias de emergência (B) em casa de vegetação (C) Campos dos Goytacazes.



**Figura 3.** Teste de condutividade elétrica do feijão-caupi cultivar BRS Guariba (A), grau de umidade (%) em estufa (B), Campos dos Goytacazes – RJ.