

Potencial fisiológico sementes de feijão-mungo sob doses de boro e períodos de armazenamento

Physiological potential of mung bean seeds under boron doses and storage periods

Cecília Leão Pereira Resende^{1*}, Fabricio Rodrigues², Natália Arruda³, Luciana Maria da Silva⁴, Maryelle Barros da Silva⁵, Katiane Santiago Silva Benett²

¹Universidade Federal de Uberlândia, Campus Glória, Uberlândia, Minas Gerais, Brasil

²Universidade Estadual de Goiás, Unidade Universitária de Ipameri, Ipameri, Goiás, Brasil

³Universidade Estadual de Maringá, Campus Umuarama, Umuarama, Paraná, Brasil

⁴Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, Rio Verde, Goiás, Brasil

⁵Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Câmpus de Jaboticabal, Jaboticabal, São Paulo, Brasil

*Autor correspondente. E-mail: cecilialpr@hotmail.com

Recebido: 07/06/2023; Aceito: 13/07/2023

RESUMO

Objetivou-se avaliar o potencial fisiológico de sementes de feijão-mungo, em resposta a doses e épocas de aplicação de boro, em diferentes períodos de armazenamento. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 3x5x4, com quatro repetições, sendo três estádios fenológicos de aplicação (V_0 , V_9 e R_1), cinco doses (0; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 kg ha⁻¹) de boro e quatro períodos de armazenamento (0, 3, 6 e 9 meses), em ambiente não controlado. O potencial fisiológico das sementes foi avaliado pelos testes de germinação, primeira contagem, envelhecimento acelerado, condutividade elétrica, comprimento, massa seca e massa de mil sementes. A dose de 1,0 kg ha⁻¹ de ácido bórico, aplicada no estádio V_0 , proporciona a obtenção de sementes com alto potencial fisiológico, podendo ser armazenadas durante 6 meses. Aos 9 meses de armazenamento o potencial fisiológico das sementes de feijão-mungo é reduzido e apresenta perda de vigor.

Palavras-chave: ácido bórico, conservação, *Vigna radiata*, vigor, qualidade fisiológica.

ABSTRACT

The objective was to evaluate the physiological potential of mung bean seeds in response to doses and times of boron application, in different storage periods. The experimental design was completely randomized in a 3x5x4 factorial scheme, with four replications, with three phenological stages of application (V_0 , V_9 and R_1), five doses (0; 1.0; 1.5; 2.0; 2.5 kg ha⁻¹) of boron and four storage periods (0, 3, 6 and 9 months) in an uncontrolled environment. The physiological potential of seeds was evaluated by germination tests, first count, accelerated aging, electrical conductivity, length, dry mass and mass of a thousand seeds. The dose of 1.0 kg ha⁻¹ of boric acid, applied at the V_0 stage, provides seeds with high physiological potential, which can be stored for 6 months. At 9 months of storage, the physiological potential of mung bean seeds is reduced and shows a loss of vigor.

Keywords: Boric acid, conservation, *Vigna radiata*, vigor, physiological quality.

INTRODUÇÃO

O feijão-mungo [*Vigna radiata* (L.) Wilczek] é uma leguminosa anual, de origem asiática, cultivada, principalmente na Índia (MOVALIA JANAKI et al., 2018). No Brasil, a cultura vem crescendo em produção, principalmente para o consumo na forma de brotos, denominados de moyashi, muito apreciado em países como China, Japão e Estados Unidos (SHI et al. 2016; VIEIRA et al., 2011). A cultura tem papel importante na dieta humana pelo seu alto valor nutritivo, por conter cerca de 50 a 60% de carboidratos, excelente fonte de proteína (24 - 26%), minerais (4%), vitaminas (3%), além de bons teores de ferro, aminoácidos, fibras, antioxidantes e apresentar alta digestibilidade (NAIR et al., 2013; TANG et al., 2014). Portanto, tornou-se uma fonte substancial de alimento humano e animal devido a sua alta representação nutricional (REHMAN et al., 2022a). Além disso, tem função na Fixação Biológica de Nitrogênio, a qual aumenta o teor de nitrogênio do solo e beneficia a saúde do

solo modificando suas qualidades químicas, físicas e biológicas (DHALIWA et al., 2023) e, assim aumentam a fertilidade do solo.

O fornecimento de fertilizantes, geralmente, é de acesso imediato e rápido às plantas por conter todos os nutrientes necessários que podem estar facilmente disponíveis para absorção (TARAFDER et al., 2020). Desse modo, o manejo dos fertilizantes é um dos principais fatores que interferem no crescimento, desenvolvimento e produtividade, uma vez que da cultura de feijão-mungo é altamente responsiva a adubações (MEENA et al., 2016). Elementos essenciais, como o micronutriente boro (B), quando em níveis insuficientes ou tóxicos no solo apresentam problemas de produtividade e qualidade de muitas culturas (REHMAN et al., 2020b), o que torna sua quantidade/concentração de aplicação muito crítica (REHMAN et al., 2022a).

O elemento boro tem importante função para o crescimento das plantas, por participar de vários processos biológicos, além de contribuir no processo de germinação do grão de pólen, no crescimento do tubo polínico, e no desenvolvimento de anteras e sementes (ALMEIDA et al., 2015, KRISHNA et al., 2022). Segundo Brdar-Jokanović (2020), o micronutriente desempenha múltiplas funções na polinização e frutificação, uma vez que os tecidos reprodutivos masculinos e femininos necessitam mais que os tecidos vegetativos. Contudo, durante o desenvolvimento das plantas, o nutriente contribui não só para o rendimento dos grãos (PADBHUSHAN & KUMAR, 2015; MEENA et al., 2016), mas também para produzir sementes de alta qualidade.

Dessa forma, segundo Carvalho e Nakagawa (2012), a disponibilidade de nutrientes influencia na formação do eixo-embrionário e no desenvolvimento dos órgãos de reserva, como na composição química da semente e, conseqüentemente, influenciará no seu vigor e em sua qualidade fisiológica. Hasnain et al. (2011) estudaram níveis de tolerância e toxicidade de boro em feijão-mungo nos estádios de germinação e crescimento de plântulas, e concluíram que a germinação, crescimento e atributos fotossintéticos (área foliar e clorofila a e b) foram influenciados negativamente com o uso de altas doses de B.

Sementes originadas em condições ideais de cultivo, como disponibilidade de todos os nutrientes essenciais, principalmente, os micronutrientes, são classificadas como sementes de alta qualidade. Neste caso, as sementes de alta qualidade devem apresentar características sanitárias, físicas, genéticas e fisiológicas elevadas, uma vez que esses atributos estão correlacionados ao desempenho agrônômico e a produtividade (NOBRE et al., 2014). O potencial fisiológico está associado à capacidade da semente desempenhar suas funções vitais. Logo, os efeitos negativos no potencial, geralmente, apresentam decréscimo na porcentagem de germinação, aumento de plântulas anormais e redução no vigor (TOLEDO et al., 2009), os quais podem influenciar no desenvolvimento.

A redução no potencial fisiológico das sementes começa após atingirem o ponto de maturidade fisiológica. O processo de deterioração é inevitável e pode ser minimizado com colheitas realizadas no momento adequado, juntamente com o armazenamento em condições propícias, as quais variam de espécie para espécie. Para a determinação da qualidade, as sementes são avaliadas com precisão e por meio de diversos testes, sendo pela estimativa do vigor, capacidade germinativa, ou pelo percentual de danos mecânicos (DODE et al., 2013). Assim, conhecendo as características e o comportamento de um lote sementes é possível apontar o potencial fisiológico e o tempo de armazenamento adequado para futuras comercializações.

Contudo, o armazenamento correto é fundamental para a manutenção do potencial fisiológico, uma vez que as sementes podem ser preservadas em condições ambientais controladas ou não, para manter a viabilidade e o vigor. No entanto, ressalta-se a que há escassez de informações disponíveis sobre a nutrição e o potencial fisiológico de sementes de feijão-mungo, para obtenção de uma lavoura com estande adequado e plântulas vigorosas, possibilitando níveis satisfatórios de produtividade e de qualidade final do produto.

Objetivou-se avaliar o potencial fisiológico de sementes de feijão-mungo (*Vigna radiata* L.), em resposta a doses e épocas de aplicação de boro, em diferentes períodos de armazenamento.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento de campo foi instalado na fazenda experimental da Universidade Estadual de Goiás – Unidade Ipameri. A região apresenta clima tropical úmido, com duas estações bem definidas: seca e chuvosa (CARDOSO et al., 2014).

Foram utilizadas sementes de feijão-mungo, cultivar MGS Esmeralda, desenvolvida pelo Centro Asiático de Pesquisa e Desenvolvimento Vegetal (AVRDC), Shanhua, Taiwan, e produzida pela Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG).

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, com textura argilosa (SANTOS et al., 2018). Antes da semeadura do feijão-mungo, amostras de solo foram coletadas na camada de 0-20 cm profundidade e os resultados obtidos foram: 19 mg dm⁻³ de P-Mehlich-1; 3,3 mg dm⁻³ de S; 27,4 g dm⁻³ de M.O.; 4,8 de pH (CaCl₂); K, Ca, Mg, H+Al = 5,1; 0,45; 2,2 e 0,6 cmol_c dm⁻³, respectivamente, 8,4 de CTC, 38,9% de saturação por bases (V%) e 0,19 mg dm⁻³ de B. A adubação foi realizada conforme resultados da análise química do solo.

O delineamento experimental foi de blocos casualizados, em esquema fatorial 3 x 5, com três repetições. Foram avaliados três estádios fenológicos de aplicação: V₀ (semeadura), V₉ (terceira folha do ramo secundário

encontra-se completamente aberta, aproximadamente 47 dias após a semeadura) e R_1 (quando surgem os primórdios do primeiro botão floral, no ramo principal, aproximadamente 58 dias após a semeadura), determinados pela escala fenológica de Moura et al. (2012), e cinco doses (0; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 kg ha⁻¹) de boro, na forma de ácido bórico - 17%, aplicados manualmente na linha de semeadura. Cada parcela foi representada por seis linhas de 3,30 metros de comprimento, espaçadas a 0,40 m, totalizando uma área total de 7,92 m², com área útil de 5,28 m² (quatro linhas centrais).

O preparo do solo foi realizado de maneira convencional, com uma aração e duas gradagens. A semeadura foi feita manualmente, no dia 5 de julho de 2018. Para a adubação mineral de semeadura, foram empregados 300 kg ha⁻¹ do formulado 8-20-15 (N, P₂O₅ e K₂O). Realizou-se o manejo de plantas daninhas por meio de capinas manuais desde a emergência dos cotilédones até a floração, estádios V_E e R_2 , respectivamente. O controle de pragas e doenças foi feito com o uso defensivos registrados para a cultura do feijão-mungo, por meio de pulverizadores costais do estádio V_5 ao R_2 , quando necessário. O fornecimento de água foi realizado por sistema de aspersão convencional, a cada dois dias, não ocorrendo déficit hídrico.

As sementes produzidas foram colhidas no dia 29 de setembro de 2018. Em seguida, de forma manual, realizou-se a debulha das vagens e o beneficiamento das sementes, retirando as impurezas existentes. Por fim, as sementes foram armazenadas em embalagens impermeáveis (garrafas plásticas) e em condições ambientais não controladas por nove meses.

As avaliações laboratoriais foram realizadas no laboratório da Universidade Estadual de Goiás – Unidade Ipameri. Para avaliar o potencial fisiológico das sementes, o delineamento experimental foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 3 x 5 x 4, sendo três estádios fenológicos de aplicação (V_0 , V_9 e R_1), cinco doses (0; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 kg ha⁻¹) de boro e quatro períodos de armazenamento (0, 3, 6 e 9 meses), com quatro repetições. O potencial fisiológico das sementes foi avaliado pelos seguintes testes: germinação, primeira contagem de germinação, envelhecimento acelerado, condutividade elétrica, comprimento, massa seca e massa de mil sementes. As avaliações foram feitas antes do armazenamento (mês 0) e repetidas aos três, seis e nove meses de armazenamento, conforme procedimento abaixo:

O teor de água das sementes (TA) foi determinado, com duas subamostras para cada tratamento, utilizando estufa de circulação de ar forçado, com temperatura de 105°C, por 24 horas, conforme as Regras para Análise de Sementes - RAS (BRASIL, 2009), sendo expressos em porcentagem de umidade em base úmida (%b.u.).

No teste de germinação (GERM) foram utilizadas quatro subamostras de 50 sementes para cada tratamento, em folhas de papel “germitest”, umedecidas com água deionizada equivalente a 2,5 vezes o seu peso original. Posteriormente, os rolos de papel foram colocados em sacos plásticos e acondicionados em Estufa BOD (Biochemical Oxygen Demand) sob temperatura de 25°C, sendo a avaliação efetuada de acordo com os critérios estabelecidos pelas Regras Análise de Sementes - RAS (BRASIL, 2009). O teste de primeira contagem (PC) foi realizado concomitantemente com o de GERM e a avaliação de plântulas normais foi aos cinco dias, e o GERM aos sete dias após a instalação do teste, com os resultados expressos em porcentagem de plântulas normais (BRASIL, 2009).

O teste de envelhecimento acelerado (EA) foi realizado pelo método descrito por Marcos-Filho et al. (1999). Colocaram-se 250 sementes sobre uma tela de aço inox em uma caixa plástica “gerbox”, contendo 40 mL de água destilada. As caixas foram tampadas e levadas a Estufa Incubadora BOD sob temperatura de 41°C, por 72 horas. Após esse período, duas subamostras de 25 sementes para cada tratamento foram submetidas à determinação do teor água (BRASIL, 2009), com os resultados expressos em porcentagem. No mesmo período, quatro subamostras de 50 sementes de cada tratamento foram semeadas seguindo o mesmo procedimento descrito para o teste de germinação e as plântulas normais avaliadas após cinco dias, sendo os resultados expressos em porcentagem de plântulas normais.

O teste de condutividade elétrica (CE) foi realizado conforme a metodologia descrita por Araujo et al. (2011), sendo determinada a massa de quatro subamostras de 25 sementes, de cada tratamento. Posteriormente, as amostras foram colocadas em copos plásticos com 75 mL de água destilada e levadas para Estufa Incubadora BOD por 3 horas, à temperatura de 25°C. Ao final deste período foi determinada a condutividade elétrica na solução de embebição com o uso do condutivímetro digital - Tds-Ec meter (hold), sendo os resultados expressos em $\mu S\ cm^{-1}\ g^{-1}$ de sementes.

O teste de comprimento de plântulas (COMP) utilizou quatro subamostras de 25 sementes para cada tratamento, distribuídas em papel “germitest”, umedecido com água destilada equivalente a 2,5 vezes a massa seca do papel. Posteriormente, os rolos de papel foram colocados em sacos plásticos e levados para Estufa Incubadora BOD, à temperatura de 25°C, durante cinco dias. Após este período, foi efetuada a medida das partes das plântulas normais emergidas (raiz primária e hipocótilo) com uma régua graduada e os resultados médios por plântulas expressos em centímetros (NAKAGAWA, 1999).

Para massa seca de plântulas (MS) foram avaliadas todas as plântulas normais, obtidas a partir do teste de comprimento, excluindo destas os cotilédones. Cada subamostra foi acondicionada em sacos de papel e levados à estufa com circulação de ar forçada, mantida à temperatura de 65°C, durante 72 h. Posteriormente, a massa foi

determinada em balança de acurácia de 0,001 g e os resultados médios expressos em mg por plântula (NAKAGAWA, 1999).

A Massa de mil sementes (M1000) foi determinada conforme recomendações de Brasil (2009). Utilizaram-se oito subamostras de 100 sementes de cada tratamento, as quais foram determinadas as massas individualmente em balança de precisão (0,001 g) e os resultados médios expressos em gramas.

Com exceção do teor de água das sementes os dados obtidos foram submetidos aos testes de normalidade (Shapiro-Wilk) e homogeneidade de variância (Bartlett). Os dados de condutividade elétrica tiveram suas médias transformadas por $\sqrt{(x+0.5)}$. Posteriormente, foi realizada a análise de variância (ANOVA) utilizando o teste F, seguida pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0.05$) para comparação de médias. Quando houve significância para o efeito residual das doses de B aplicou-se à análise de regressão. As análises estatísticas foram realizadas com o Software R (R Core Team, 2018).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As sementes de feijão-mungo armazenadas apresentaram teor de água uniforme, com diferença de 1,6% entre o maior (12,7%) e o menor percentual (11,1) (Tabela 1). De acordo com Marcos-Filho (2015), a uniformidade do teor de água das sementes é essencial para a padronização das avaliações e obtenção de resultados consistentes.

Tabela 1. Médias do teor de água (%b.u.) de sementes de feijão-mungo, avaliadas em resposta a aplicação de boro (0, 1,0; 1,5; 2,0 e 2,5 kg ha⁻¹), em diferentes estádios fenológicos (V₀, V₉ e R₁) e armazenamentos (0, 3, 6 e 9 meses). Ipameri-GO, 2018.

Armazenamento (meses)	Estádios fenológicos				
	V ₀				
	0 kg ha ⁻¹	1,0	1,5	2,0	2,5
	----- % -----				
0	11,65	11,84	12,05	12,06	12,57
3	11,89	11,81	11,83	12,17	12,29
6	12,22	11,66	11,78	11,62	12,18
9	11,65	11,82	12,11	11,38	11,74
Armazenamento (meses)	V ₉				
	0 kg ha ⁻¹	1,0	1,5	2,0	2,5
	----- % -----				
0	11,65	12,48	11,62	11,70	11,85
3	11,89	12,10	11,95	11,90	12,22
6	12,22	12,43	11,42	11,99	12,15
9	11,65	11,72	11,13	11,99	12,04
Armazenamento (meses)	R ₁				
	0 kg ha ⁻¹	1,0	1,5	2,0	2,5
	----- % -----				
0	11,65	11,83	11,73	11,43	11,79
3	11,89	11,80	12,74	12,04	11,80
6	12,22	11,99	11,92	12,04	12,02
9	11,65	11,90	12,12	11,56	12,11

Houve interação tripla significativa entre os fatores estádios, doses e armazenamentos para as variáveis envelhecimento acelerado (EA), condutividade elétrica (CE), comprimento de plântulas (COMP), massa seca de plântulas (MS) e para as demais variáveis as interações foram duplas.

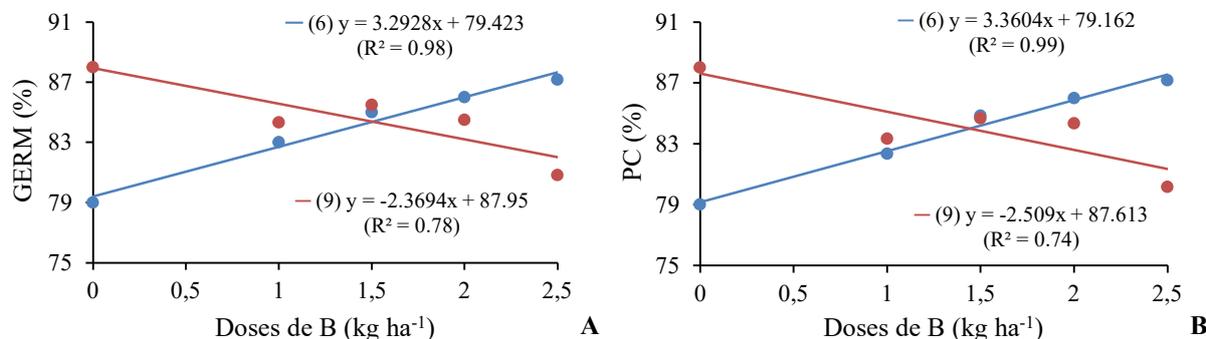
Em relação as variáveis de germinação (GERM) e primeira contagem (PC), nota-se as sementes quando armazenadas por 6 e 9 meses apresentaram redução na porcentagem de plântulas normais, assim ocorrendo perda de vigor (Tabela 2). Entretanto, mesmo com as reduções na porcentagem de sementes germinadas ao longo dos meses, os valores médios permaneceram acima de 80%, padrão mínimo exigido pelo Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento para comercialização do feijão-comum (MAPA, 2013). Esses resultados apresentam similaridade aos obtidos por Santos et al. (2005) que, avaliaram as alterações fisiológicas em sementes de feijoeiro durante períodos de armazenamento (0, 2, 4, 6, e 8 meses), em condições ambientais não controladas, e verificaram redução na porcentagem de germinação e no vigor das sementes ao longo tempo, contudo a germinação manteve-se acima de 80%.

Tabela 2. Valores médios de germinação (GERM) e primeira contagem (PC) em sementes de feijão-mungo, avaliadas em resposta a aplicação de B em diferentes estádios fenológicos (V_0 , V_9 e R_1) e armazenamentos (0, 3, 6 e 9 meses). Ipameri-GO, 2018.

Variáveis	Armazenamento (meses)	Estádios fenológicos		
		V_0	V_9	R_1
GERM (%)	0	93aA	95aA	95aA
	3	96aA	94aA	96aA
	6	83cB	89bA	81bB
	9	88bA	86bA	80bB
PC (%)	0	93aA	95aA	94aA
	3	93aA	91bA	94aA
	6	82cB	89cA	80bB
	9	87bA	86cA	80bB

Médias seguidas pela mesma letra minúscula, na coluna, e maiúsculas, na linha, não diferem entre si pelo teste de Scott-knott a 5% de significância.

No sexto mês de armazenamento, observa-se aumento de 10% na porcentagem de germinação das sementes, e conseqüentemente, maior vigor em relação ao controle (Figura 1A e 1B). Contrários a esses resultados, Reis et al. (2008) estudaram o efeito da adubação de doses de B (0; 0,5; 1,0 e 2,0 kg ha⁻¹), em solo de cerrado, com aplicação em cobertura e via foliar, na cultura do feijão, e concluíram que as aplicações não afetaram a germinação e o vigor avaliados na primeira contagem das sementes após seis meses, porém, obtiveram porcentagem de plântulas normais entre 87,3 e 99,5%. É importante ressaltar que a adubação de B no presente trabalho foi em semeadura e nos estádios V_9 e R_1 , diferentemente do trabalho citado, o que possivelmente justifica a contradição dos resultados. Por outro lado, Lima et al. (2013) avaliaram diferentes doses de ácido bórico (0,0; 0,5; 1,0; 2,0 e 4,0 kg ha⁻¹) aplicadas em feijão-comum consorciado com mamona, em sulco de semeadura, e constaram que ácido bórico interferiu positivamente na taxa de germinação das sementes de feijão, atingindo percentual máximo de 93%.

**Figura 1.** Germinação (GERM - A) e primeira contagem (PC - B) de sementes de feijão-mungo, em função de doses de boro e armazenamentos (6 — e 9 — meses). Ipameri-GO, 2018.

Ainda na Figura 1A e 1B, aos 9 meses de armazenamento, houve decréscimo nos valores das porcentagens de germinação e no vigor das sementes com o aumento das doses de B. De acordo com Marcos-Filho (2015), o envelhecimento inicial das sementes é manifestado pela diminuição na velocidade de germinação de sementes viáveis, no tamanho das plântulas e no aumento de plântulas anormais. Vários autores como Toledo et al., 2009, Zucareli et al., 2015 ao estudarem a qualidade fisiológica de sementes de feijão-comum e Smaniotto et al., 2014 na cultura da soja, enfatizam que fatores como temperatura e o teor de umidade também são responsáveis pela conservação das sementes durante o armazenamento, o que no presente estudo não ocorreu.

No teste de envelhecimento acelerado (Figura 2A), nas sementes recém-colhidas (0 meses), nota-se que o aumento das doses de B, quando aplicadas no estágio V_9 , causa diminuição linear de 8,6% da germinação de plântulas normais. Embora tenha ocorrido efeito negativo quando as sementes foram submetidas à alta temperatura e umidade relativa elevada, observa-se que essas ainda expressaram alto vigor, visto que não houve redução acentuada em sua viabilidade, mantendo a porcentagem acima de 80%. Por outro lado, verifica-se que à adubação de B quando aplicada em semeadura (V_0) teve efeito quadrático, a qual a porcentagem máxima de germinação

(83,5%) obtida foi com a dose de 1,0 kg ha⁻¹, para sementes armazenadas por 6 meses, conforme apresentado na Figura 2B.

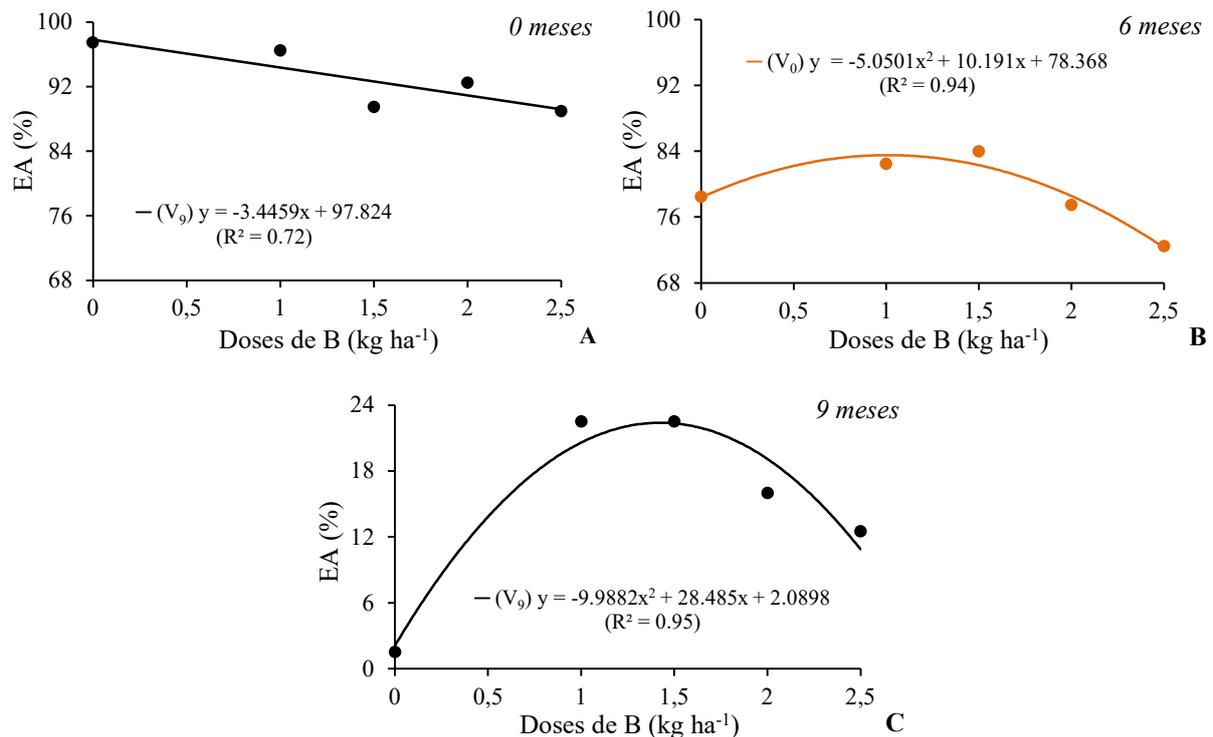


Figura 2. Envelhecimento acelerado (EA) de sementes de feijão-mungo, avaliadas em resposta a aplicação de boro, em diferentes estádios fenológicos (V_0 — e V_9 —), armazenadas nos períodos 0 (A), 6 (B) e 9 (C) meses. Ipameri-GO, 2018.

Em relação as sementes armazenadas por 9 meses, é válido destacar que independente das doses de B aplicadas no estágio V_9 , houve redução no vigor ($< 24\%$) e consequentemente apresentaram baixo potencial fisiológico (Figura 2C). Esses resultados concordam com Zucareli et al. (2015), que avaliaram a qualidade fisiológica de lotes de sementes de cultivares de feijão do tipo carioca, em diferentes épocas de armazenamento (0, 6, 12 e 18 meses), sob diferentes ambientes e observaram redução no vigor pelo teste de envelhecimento acelerado com período de armazenamento maiores.

O teste de vigor de condutividade elétrica (CE), que é aplicado para estimar a integridade da membrana celular, mostrou que o tratamento controle e o tratamento com adubação de 2,5 kg ha⁻¹ de B, expressaram os menores valores no estágio V_9 , aos 3 meses de armazenamento, sendo de 24,45 e 21,16 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$, respectivamente, e aos 6 meses, de 20,25 e 24,83 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$, respectivamente, fato que ocorreu também em R_1 (19,08 e 21,82 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$) (Figura 3A e 3B). Quanto menor o valor da CE, maior é o vigor das sementes, nesse caso, determinado pela não aplicação de B (0 kg ha⁻¹) e pelas maiores doses, que, possivelmente, proporcionaram maior capacidade para reorganizar e reparar danos nas membranas.

O menor valor da CE (16,45 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$), aos 6 meses, foi encontrado na dose estimada de 1,0 kg ha⁻¹ de B, associada com a adubação em V_0 , logo as sementes apresentaram menores quantidades de íons lixiviados na solução, consequentemente, sementes com alto vigor (Figura 3B). No entanto, esses resultados divergem dos obtidos por Lima et al. (2013) que verificaram, em experimento com feijão-comum, consorciado com mamona, que a dose de 2,3 kg ha⁻¹ de ácido bórico resultou na menor leitura (64,8 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$).

Sementes armazenadas até 9 meses a leitura da CE diminuiu de forma linear, assim ocorrendo efeito negativo conforme as doses B foram aumentando quando aplicadas em estágio R_1 , com variação de 8,22 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ (Figura 3C). Este fato pode estar relacionado com participação do micronutriente na constituição da parede celular, o que pode causar maior resistência do tegumento, ou seja, menor liberação de lixiviados no meio, neste caso, aos 9 meses de armazenamento. O resultado corrobora aos obtidos por Farinelli et al. (2006), que estudaram a influência da aplicação de cálcio e boro por via foliar, de forma combinada, em cultivares de feijão, e concluíram redução acentuada na condutividade elétrica com o aumento das doses para a cultivar Campeão 2.

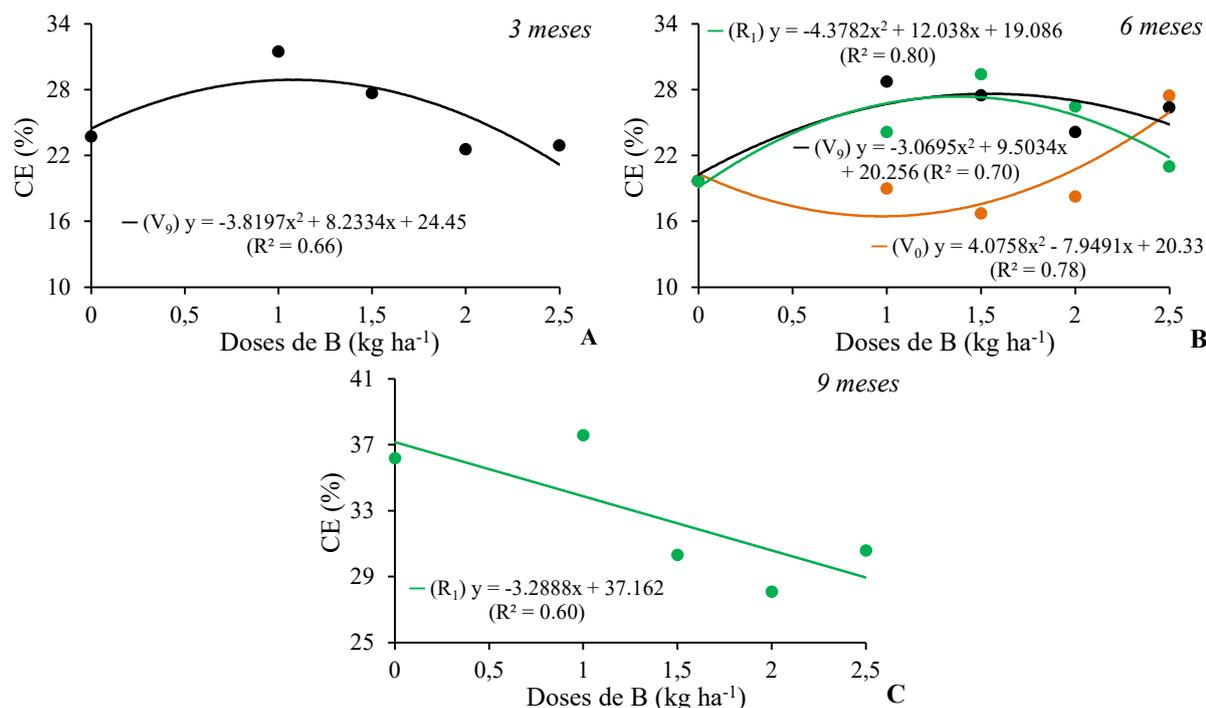


Figura 3. Condutividade elétrica (CE) de sementes de feijão-mungo, avaliadas em resposta a aplicação de boro, em diferentes estádios fenológicos (V_0 —, V_9 — e R_1 —), armazenadas nos períodos 3 (A), 6 (B) e 9 (C) meses. Ipameri-GO, 2018.

Na avaliação do vigor pelo comprimento de plântulas (COMP) após a colheita, a aplicação de B no feijão-mungo no estágio V_0 , teve efeito quadrático atingindo o potencial máximo (26,1 cm) na dose de 0,83 kg ha⁻¹ (Figura 4A). O mesmo ocorreu para aplicações de B feitas no estágio R_1 , com sementes armazenadas por 3 meses, o qual o maior comprimento de plântulas (22,8 cm) foi obtido na dose de 1,6 kg ha⁻¹ (Figura 4B). Já o comprimento de plantas avaliadas com doses de B no estágio V_9 , aos 6 meses, expressou comportamento linear crescente, com variação de 6,5 cm (Figura 4B). É interessante observar, que tanto para o estágio V_9 quanto para o R_1 , o controle apresentou o menor valor de comprimento, de 16,2 e 15,8 cm, respectivamente, sendo verificada a influência das doses de B testadas no armazenamento aos 3 meses (Figura 4B). Resultados semelhantes foram constatados por El-Dahshouri et al. (2017), ao estudaram a aplicação foliar de 250 ppm de B (0,5 kg ha⁻¹), antes do florescimento em plantas de feijão-comum e determinaram que o comprimento das plântulas aumentou quando comparado com o controle.

Observa-se que sementes armazenadas por 6 meses, o controle apresentou menor valor de comprimento quando doses de B foram aplicadas no estágio V_0 e R_1 , sendo de 21,8 e 21,0, respectivamente (Figura 4C). Dessa forma, nota-se que doses de B adequadas, juntamente com estádios de aplicação apropriado e tempo de armazenamento, podem originar plântulas normais com maiores valores de taxa de crescimento até os 6 meses de armazenamento, consequentemente, apresentarão alto potencial fisiológico. Por outro lado, doses de B aplicadas em V_9 apresentou efeito negativo, uma vez que o controle (0 kg ha⁻¹ de B) obteve o maior comprimento (20,8 cm) (Figura 4C). Similarmente, no nono mês de armazenamento, adubações de feitas nos estádios V_9 e R_1 apresentaram desempenho negativo, pois com aumento das doses de B e com o maior período de armazenamento, as plântulas normais diminuíram causando redução no vigor das sementes (Figura 4D). Segundo Peske et al. (2006), à medida que o tempo de armazenamento avança, os sinais da deterioração das sementes são cada vez maiores, confirmados pela redução da taxa de crescimento, observados pelo tamanho das plântulas, sendo mais evidente a redução no vigor.

Na Figura 5 são ilustrados os resultados das avaliações de massa seca de plântulas (MS) para os períodos de armazenamento. Constata-se que na dose de aproximadamente de 1,2 kg ha⁻¹ de B, combinada com a aplicação em V_0 , as plântulas normais obtiveram maior MS, com média de 4,54 mg plântula⁻¹, porém nas demais doses não houve reduções drásticas nas massas (Figura 5A e 5B). Resultado semelhante foi observado nos estudos de Reis et al. (2008), na qual a adubação de 1,2 kg ha⁻¹ B em cobertura no solo proporcionou maior massa seca de plântulas de feijão-comum. Aplicações em V_9 observa-se efeito quadrático negativo aos 0 e 9 meses de armazenamento, nas quais a dose de 0,4 e 1,0 kg ha⁻¹ foram obtidos os menores valores de massa seca, de 3,99 e 4,12 mg, respectivamente (Figura 5A e 5C). De acordo com Nakagawa (1999), plântulas com maior peso de matéria seca

são consideradas mais vigorosas, estas proporcionam maior transferência de massa seca de seus tecidos de reserva para o eixo-embrionário, na fase de germinação, originando plântulas com maior massa, em função do maior acúmulo de matéria seca.

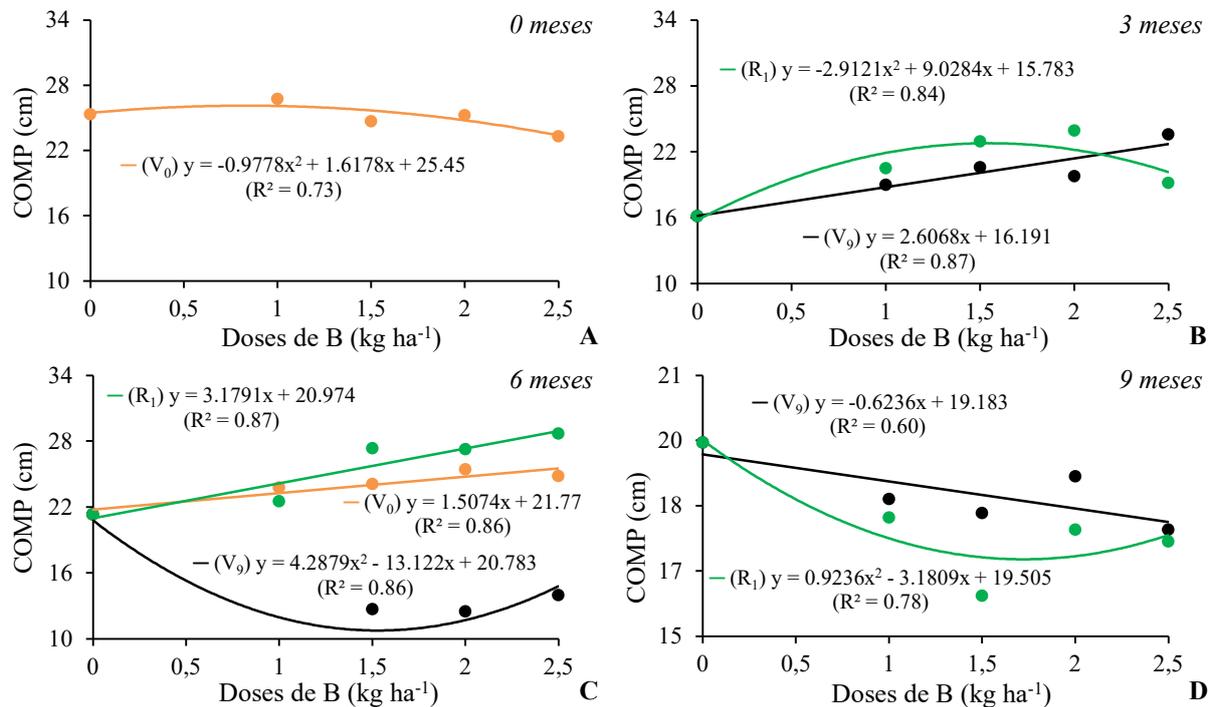


Figura 4. Comprimento de plântulas (COMP) de sementes de feijão-mungo, avaliadas em resposta a aplicação de boro, em diferentes estádios fenológicos (V₀ —, V₉ — e R₁ —), armazenadas nos períodos 0 (A), 3 (B), 6 (C) e 9 (D) meses. Ipameri-GO, 2018.

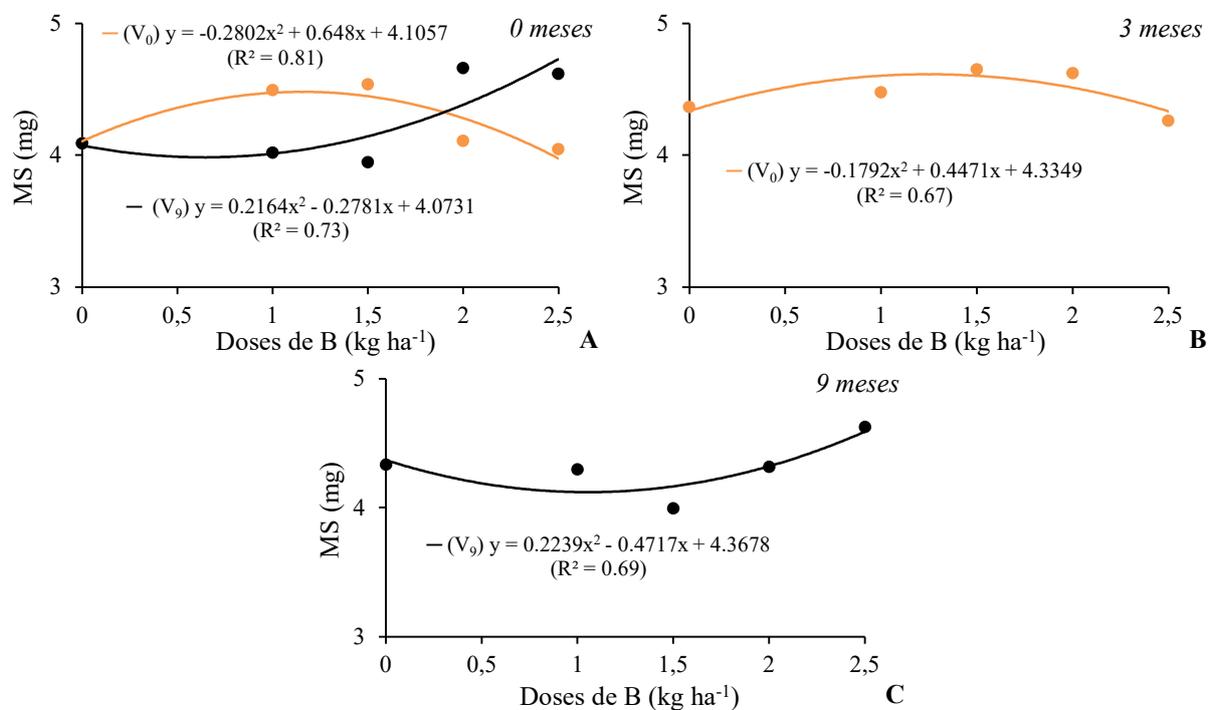


Figura 5. Massa seca de plântulas (MS) de sementes de feijão-mungo, avaliadas em resposta a aplicação de boro, em diferentes estádios fenológicos (V₀ — e V₉ —), armazenadas nos períodos 0 (A), 3 (B) e 9 (C) meses. Ipameri-GO, 2018.

Verifica-se na Figura 6A os resultados da interação entre doses de B e meses de armazenamento para a variável massa de mil sementes (M1000). Após a colheita das sementes, nota-se que a M1000 aumentou de forma linear positiva com as doses crescentes de B, sendo encontrada menor massa no controle (64,8 g). Já aos 6 meses de armazenamento, na dose 2,2 foi observado a maior M1000 (65,3 g) e o controle apresentando menor valor (63,1 g). Carvalho e Nakagawa (2012) relatam que as sementes de maior tamanho, ou as que apresentam maior densidade, são as que foram mais bem nutridas durante seu desenvolvimento.

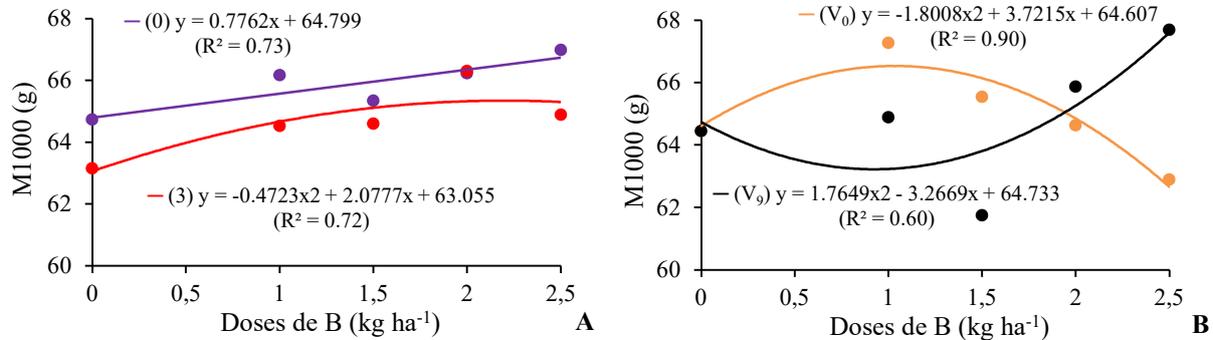


Figura 6. Massa de mil sementes (M1000) de feijão-mungo, avaliadas em resposta a aplicação de boro, em diferentes armazenamentos (0 — e 3 — meses) (A) e estádios fenológicos (V₀ — e V₉ —) (B). Ipameri-GO, 2018.

Alam e Islam (2016) estudaram o efeito de doses de B (0; 0,75; 1,5 e 3,0 kg ha⁻¹), no distrito de Akbarpur, Moulvibazar, Bangladesh, e como fonte o ácido bórico, na variedade BARI Mung-6 de feijão-mungo e obtiveram a maior massa de 1000 sementes no tratamento de 1,5 kg ha⁻¹ de B (53,38g) e a menor massa encontrada no controle. Já Quddus et al. (2011) também conduziram um experimento em Madaripur, Bangladesh, os quais avaliaram o efeito das doses de B (0; 0,5, 1,0 e 2,0 kg ha⁻¹), sendo a fonte o ácido bórico, na variedade BARI Mung-6 de feijão-mungo e não encontraram diferença significativa entre as doses de B para a massa de 100 sementes. As diferenças encontradas entre os resultados podem estar relacionadas aos genótipos cultivados, ao tempo que as sementes foram armazenadas, o solo onde foram instalados os experimentos, bem como nas diferentes condições de clima de local e entre os anos de avaliação.

Na Figura 6B são ilustrados o desdobramento da interação entre doses de B e estádios fenológicos para M1000. Destaca-se, os estádios V₀ e V₉, com ajustes quadráticos dos dados, obtendo maior massa de 66,6 g na dose máxima estimada de 1,0 kg ha⁻¹ de B e menor massa de 63,2 g na dose mínima de 0,9 kg ha⁻¹ de B, respectivamente. Laxmi et al. (2020) destacam que o B teve papel fundamental na adubação, uma vez que aumentou a taxa de enchimento dos grãos de feijão-mungo, o que estimulou o aumento do peso dos grãos.

O resultado para M1000 foi compatível com os testes de COMP e MS (após colheita), EA e CE (sexto mês de armazenamento), uma vez que a dose de aproximadamente 1,0 kg ha⁻¹ de B aplicada em V₀, continham as sementes com maiores massas e com melhor potencial fisiológico (Figuras 4A, 5A, 2B e 3B). Logo, é possível constatar a possibilidade de armazenamento de sementes de feijão-mungo por 6 meses sem que percam sua viabilidade, mantendo a porcentagem de plântulas normais dentro dos padrões de comercialização de sementes. Observou-se também que o potencial fisiológico das sementes é reduzido no maior período de armazenamento, neste caso nove meses, em condições ambientais não controladas (Figuras 1A, 1B, 2C e 4D).

Ressalta-se que as doses de B vinculadas com os estádios fenológicos testados, neste caso, foram as que influenciaram na obtenção de sementes de alta qualidade fisiológica, principalmente no potencial germinativo e vigor, durante os diferentes períodos de armazenamento. Contudo, é importante destacar que a cultura do feijão-mungo possui um baixo número de trabalhos correlacionados à produção de sementes, de forma a vislumbrar todos os efeitos de forma simultânea sobre o potencial fisiológico das sementes, como doses e armazenamento. Portanto, o estágio de aplicação também é mais um fator a ser estudado e não deve ser descartado, para a utilização de forma viável, na produção de sementes e ser capaz de atender as exigências do mercado.

CONCLUSÃO

As doses de boro aplicadas nos diferentes estádios fenológicos e os períodos de armazenamento, influenciam no potencial fisiológico das sementes de feijão-mungo.

A dose de 1,0 kg ha⁻¹ de ácido bórico, aplicada no estágio V₀, proporciona a obtenção de sementes com alto potencial fisiológico, podendo ser armazenadas em ambiente não controlado durante 6 meses.

Aos 9 meses de armazenamento o potencial fisiológico das sementes de feijão-mungo é reduzido e apresenta perda de vigor.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES/FAPEG pela concessão da bolsa de mestrado.

REFERÊNCIAS

- ALAM, M.S.; ISLAM, M.F. Effect of zinc and boron on seed yield and yield contributing traits of mungbean in acidic soil. **Journal of Bioscience and Agriculture Research**, v.11, n.2, p.941-946, 2016.
- ALMEIDA, G.M.; CANTO, M.W.; BARTH NETO, A.; COSTA, A. C. S. Resposta da cultura de sementes de capim-mombaça a épocas e doses de adubação de boro. **Semina: Ciências Agrárias**, v.36, n.3, p.1545-1557, 2015.
- ARAUJO, R.F.; ZONTA, J.B.; ARAUJO, E.F.; HEBERLE E.; ZONTA, F.M.G. Teste de condutividade elétrica para sementes de feijão-mungo-verde. **Revista Brasileira de Sementes**, v.33, n.1, p.123-130, 2011.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: MAPA/ACS, 2009. 395p.
- BRDAR-JOKANOVIĆ, M. Boron toxicity and deficiency in agricultural plants. **International Journal of Molecular Sciences**, v.21, n.4, p.1-20, 2020.
- CARDOSO, M.R.D.; MARCUZZO, F.F.N.; BARROS, J.R. Classificação climática de Köppen Geiger para o Estado de Goiás e o Distrito Federal. **ACTA Geográfica**, v.8, n.16, p.40-55, 2014.
- CARVALHO, N.M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 5. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2012. 590p.
- DHALIWAL, S.S.; SHARMA, V.; SHUKLA, A.K.; KAUR, M.; KAUR, J.; VERMA, V.; HOSSAIN, A. Biofortification of mungbean (*Vigna radiata* L. (Wilczek)) with boron, zinc and iron alters its grain yield and nutrition. **Scientific Reports**, v.13, n.1, 2023.
- DODE, J.S.; MENEGHELLO, G.E.; TIMM, F.C.; MORAES, D.M.; PESKE, S.T. Teste de respiração em sementes de soja para avaliação da qualidade fisiológica. **Ciência Rural**, v.43, n.2, p.193-198, 2013.
- EL-DAHSHOURI, M.F.; HAMOUDA, H.A.; ANANY, T.G. Improving seed production of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants as a response for calcium and boron. **Agricultural Engineering International: CIGR Journal**, p.211-219, 2017.
- FARINELLI, R.; PENARIOL, F.G.; SOUZA, F.S.; PIEDADE, A.R.; LEMOS, L.B. Características agronômicas e qualidade fisiológica de sementes de cultivares de feijão adubados via foliar com cálcio e boro. **Científica**, v.34, n.1, p.59-65, 2006.
- HASNAIN, A.; MAHMOOD, S.; AKHTAR, S.; MALIK, S.A.; BASHIR, N. Tolerance and toxicity levels of boron in mung bean (*Vigna radiata* (L.) Wilczek) cultivars at early growth stages. **Pakistan Journal of Botany**, v.43, n.2, p.1119-1125, 2011.
- KRISHNA, B.M.; KUMAR, H.S.; PRIYANKA, G.; NAIK, M.V.; UMESHA, C. Influence of boron and zinc on growth and yield of green gram (*Vigna radiata* L.). **The Pharma Innovation Journal**, v.11, n.3, p. 1674-1678, 2022.
- LAXMI, S.; PATEL, R.; SINGH, S.; CHOUDHARY, B.; GADHWAL, R.; MEENA, R.; SINGH, Y.V. Growth and yield response of mungbean as influenced by sulphur and boron application. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v.9, n.3, p.2788-2794, 2020.
- LIMA, M.L.; CARDOSO, F.R.; GALANTE, A.H.A.; TEIXEIRA, G.C.S.; TEIXIERA, I.R.; ALVES, S.M.F. Fontes e doses de boro na qualidade de sementes de feijão-comum e mamona sob consórcio. **Revista Caatinga**, v.26, n.4, p.31-38, 2013.
- MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 45, de 21 de setembro de 2013. Anexo XI - **Padrões para produção e comercialização de sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.)**.

Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/sementes-e-mudas/publicacoes-sementes-e-mudas/copy_of_INN45de17desetembrede2013.pdf>.

MARCOS-FILHO, J. Teste de envelhecimento acelerado. In: KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J. B. **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999. cap.3, p.1-24.

MARCOS-FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. 2. ed. Londrina-PR: ABRATES, 2015. 660p.

MEENA, S.; SWAROOP, N.; DAWSON, J. Effect of integrated nutrient management on growth and yield of green gram (*Vigna radiata* L.). **Agricultural Science Digest**, v.36, n.1, p.63-65, 2016.

MOVALIA JANAKI, A.; PARMAR, K.B.; VEKARIA, L.C. Effect of boron and molybdenum on yield and yield attributes of summer green gram (*Vigna radiata* L.) under medium black calcareous soils. **International Journal of Chemical Studies**, v.6, n.1, p. 321-323, 2018.

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

NAIR, R.M.; YANG, R.Y.; EASDOWN, W.J.; THAVARAJAH, D.; THAVARAJAH, P.; HUGHES, J.D.A.; KEATINGE, J.D.H. Biofortification of mungbean (*Vigna radiata*) as a whole food to enhance human health. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.93, n.8, p.1805-1813. 2013.

NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados no desempenho das plântulas. In: KRZYZANOSWKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999. p.21-24.

NOBRE, D.A.C.; SILVA NETA, I.C.; DAVID, A.M.S.S.; GONÇALVES, N.P.; AMARO, H.T.R. Desempenho físico e fisiológico de sementes de mamona produzidas no norte de Minas Gerais. **Revista Agrarian**, v.7, n.24, p.218-225, 2014.

PADBHUSHAN, R.; KUMAR, D. Yield and nutrient uptake of green gram (*Vigna radiata* L.) as influenced by boron application in boron-deficient calcareous soils of Punjab. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.46, n.7, p.908-923, 2015.

PESKE, S.T.; LUCCA FILHO, O.A.; BARROS, A.C.S.A. **Sementes: fundamentos científicos e tecnológicos**. Pelotas: Ed. Universitária/UFPel, 2006. cap.2, p.100-158.

QUDDUS, M.A.; NASER, H.M.; HOSSAIN, M.A.; HOSSAIN, M. A. Effect of zinc and boron on yield and yield contributing characters of lentil in low Ganges river floodplain soil at Madaripur, Bangladesh. **Bangladesh Journal of Agricultural Research**, v.39, n.4, p.591-603, 2014.

QUDDUS, M.A.; RASHID, M.H., HOSSAIN, M.A.; NASER, H.M. Effect of zinc and boron on yield and yield contributing characters of mungbean in low ganges river floodplain soil at Madaripur, Bangladesh. **Bangladesh Journal of Agricultural Research**, v.36, n.1, p.75-85, 2011.

R CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**, 2018. Disponível em: <<https://www.r-project.org/>>.

REHMAN, AU.; FATIMA, Z.; QAMAR, R.; FARUKH, F.; ALWAHIBI M.S.; HUSSAIN, M. The impact of boron seed priming on seedling establishment, growth, and grain biofortification of mungbean (*Vigna radiata* L.) in yermosols. **PLOS ONE**, v.17, n.3, p.1-15, 2022a.

REHMAN, A.U.; QMAMAR, R.; HUSSAIN, A.; SARDAR, H.; SARWAR, N.; JAVEED, H.M.R., MAQBOOL, A.; HUSSAIN, M. Soil applied boron (B) improves growth, yield and fiber quality traits of cotton grown on calcareous saline soil. **PLOS ONE**, v.15, n.8, p.1-13, 2020.

REHMAN, A.U.; WANG, X.; HUSSAIN, A.; QAMAR, R.; KHALOFAH, A.; HUSSAIN, M. Boron Application in Yermosols Improves Grain Yield and Quality of Chickpea (*Cicer arietinum* L.). **Journal of King Saud University**, v.34, n.2, p.1-9, 2022b.

REIS, C.J.; SORATTO, R.P.; BISCARO, G.A.; KULCZYNSKI, S.M. FENANDES, D.S. Doses e modos de aplicação de boro na produção e qualidade fisiológica de sementes de feijão em solo de cerrado. **Revista Ceres**, v.55, n.4, p.258-264, 2008.

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A.; ARAUJO FILHO, J.C.; OLIVEIRA, J.B., CUNHA, T.J.F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília: Embrapa. 2018. 356p.

SANTOS, C. M.R.; MENEZES, N.L.; VILLELA, F.A. Modificações fisiológicas e bioquímicas em sementes de feijão no armazenamento. **Revista Brasileira de Sementes**, v.27, n.1, p.104-114, 2005.

SHI, Z.; YAO, Y.; ZHU, Y.; REN, G. Nutritional composition and antioxidant activity of twenty mung bean cultivars in China. **The Crop Journal**, v.4, n.5, p.398-406, 2016.

SMANIOTTO, T.A.S.; RESENDE, O.; MARÇAL, K.A.F; OLIVEIRA, D.E.C; SIMON, G.A. Qualidade fisiológica das sementes de soja armazenadas em diferentes condições. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.4, p. 446-453, 2014.

TANG, D.; DONG, Y.; REN, H.; LI, L.; HE, C. A review of phytochemistry, metabolite changes, and medicinal uses of the common food mung bean and its sprouts (*Vigna radiata*). **Chemistry Central Journal**, v.8, n.4, p.1-9, 2014.

TARAFDER, S.; RAHMAN, M.A.; HOSSAIN, M.A.; CHOWDHURY, M.A.H. Yield of *Vigna radiata* L. and post-harvest soil fertility in response to integrated nutrient management. **Agricultural and Biological Sciences Journal**, v.6, n.1, p.32-43, 2020

TOLEDO, M.Z.; FONSECA, N.R.; CÉSAR, M.L.; SORATTO, R.P.; CAVARIANI, C.; CRUSCIOL, C.A.C. Qualidade fisiológica e armazenamento de sementes de feijão em função da aplicação tardia de nitrogênio em cobertura. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.39, n.2, p.124-133, 2009.

VIEIRA, R.F.; PAULA JÚNIOR, T.J.; JACOB, L.L.; LEHNER, M.S.; SANTOS, J. Desempenho de genótipos de feijão-mungo-verde semeados no inverno na Zona da Mata de Minas Gerais. **Revista Ceres**, v.58, n.3, p.402-405, 2011.

ZUCARELI, C.; BRZEZINSKI, C.R.; ABATI, J.; WERNER, F.; RAMOS JÚNIOR, E.U.; NAKAGAWA, J. Qualidade fisiológica de sementes de feijão carioca armazenadas em diferentes ambientes. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n.8, p.803-809, 2015.