

Tratamento de sementes com cobalto e molibdênio na germinação e crescimento inicial da soja

Seed treatment with cobalt and molybdenum on soybean germination and early growth

Paulo Fernandes Boldrin¹, Lenise Selayssim Salles², Augusto Matias de Oliveira³, Givanildo Zildo Silva⁴, Alan Mario Zuffo⁵, Cleyton da Silva Nascimento⁶

RESUMO: O cobalto (Co) e o molibdênio (Mo) são utilizados no tratamento de sementes visando melhorar a fisiologia das sementes e desenvolvimento inicial das plantas, mas é necessário identificar a melhor dose para cada cultivar, pois esses micronutrientes em excesso são prejudiciais as sementes e plantas. Assim, objetivou-se avaliar o efeito de doses de Co e Mo na qualidade fisiológica de sementes e no desenvolvimento inicial de plantas de soja. O teste de qualidade fisiológica foi desenvolvido em rolos de papel germitest e areia, utilizando-se cinco doses (0; 0,625; 1,25; 2,5 e 5 ml kg⁻¹) de um produto contendo Co a 0,5% e Mo a 6% aplicadas em sementes de soja cultivares SYN1163 e M7739. O desenvolvimento inicial das plantas foi avaliado em vasos em casa de vegetação, utilizando-se os mesmos tratamentos do teste de qualidade fisiológica. O aumento das doses de Co e Mo aumentou o número de plântulas anormais e diminuiu a porcentagem de germinação de ambas as cultivares, sendo a cultivar SYN1163 a mais sensível ao Co e Mo. O aumento das doses beneficiou a altura de plantas, índice SPAD e número de trifólios das plantas. Embora a dose 5 ml kg⁻¹ tenha proporcionado melhor desenvolvimento das plantas não se recomenda essa dosagem, pois prejudica a germinação das sementes, recomendando-se a dose de 0,625 ml kg⁻¹ do produto para ambas as cultivares, o que corresponde a 0,25 g ha⁻¹ de Co e 3,0 g ha⁻¹ de Mo.

Palavras-chave: Qualidade fisiológica de sementes; Micronutrientes; Fixação biológica de nitrogênio.

ABSTRACT: Cobalt (Co) and molybdenum (Mo) are used in seed treatment to improve seed physiology and initial plant development, but it is necessary to identify the best dose for each cultivar, as these micronutrients in excess are harmful to seeds and plants. Thus, the objective was to evaluate the effect of Co and Mo doses on the physiological quality of seeds and on the initial development of soybean plants. The physiological quality test was carried out on germitest paper rolls and beds of sand, using five doses (0; 0.625; 1.25; 2.5; and 5 ml kg⁻¹) of a product containing Co at 0.5% and Mo at 6% applied to soybean seeds cultivars SYN1163 and M7739. The initial development of the plants was evaluated in pots in a greenhouse, using the same treatments as the physiological quality test. Increasing doses of Co and Mo increased the number of abnormal seedlings and decreased the germination percentage of both cultivars, with cultivar SYN1163 being the most sensitive to Co and Mo. Increasing doses benefited plant height, SPAD index and number of trefoils in plants. Although the 5 ml kg⁻¹ dose provided better plant development, this dosage is not recommended, as it impairs seed germination, recommending a dose of 0.625 ml kg⁻¹ of the product for both cultivars, which corresponds to 0.25 g ha⁻¹ of Co and 3.0 g ha⁻¹ of Mo.

Keywords: Physiological quality of seeds; Micronutrients; Biological nitrogen fixation.

Autor correspondente: Givanildo Zildo Silvan
E-mail: givanildo@unirv.edu.br

Recebido em: 2023-06-27
Aceito em: 2024-04-29

¹ Docente permanente do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal (PPGPV) da Universidade de Rio Verde - UniRV, Rio Verde (GO), Brasil.

² Mestre, Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal (PPGPV) da Universidade de Rio Verde - UniRV, Rio Verde (GO), Brasil.

³ Pós-doutorando do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal (PPGPV) da Universidade de Rio Verde - UniRV, Rio Verde (GO), Brasil.

⁴ Docente permanente do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal (PPGPV) da Universidade de Rio Verde - UniRV, Rio Verde (GO), Brasil.

⁵ Doutor em Agronomia Fitotecnica, docente permanente do curso de Agronomia do Campus de Balsas da Universidade Estadual do Maranhão - UEMA, Balsas (MA), Brasil.

⁶ Mestre, Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal (PPGPV) da Universidade de Rio Verde - UniRV, Rio Verde (GO), Brasil.

INTRODUÇÃO

O aumento da produção agrícola de soja, entre outros fatores, deve-se aos avanços científicos e tecnológicos. Um dos pontos principais para a obtenção de produtividades altas é o uso de sementes de qualidade e boas práticas agrícolas. As boas práticas agrícolas são buscadas pela maioria dos produtores rurais e consistem em técnicas de prevenção aos problemas iniciais na lavoura. Nesse sentido, busca-se aprimorar cada vez mais as tecnologias de sementes, sendo o tratamento de sementes uma delas, afim de prevenir os problemas advindos do solo e também problemas ao solo, pois o tratamento é feito nas sementes e não no solo (Pereira *et al.*, 2021).

Entre as técnicas de tratamentos de sementes tem-se a aplicação de defensivos químicos e biológicos, além da suplementação com micronutrientes, sendo o uso de Cobalto (Co) e Molibdênio (Mo) alguns deles (Abreu-Júnior *et al.*, 2023; Banerjee; Nath, 2021; Barbosa *et al.*, 2023; Lavres; Franco; Câmara, 2016). Uma das vantagens do uso do Co e do Mo no tratamento de sementes de soja é o benefício a fixação biológica de nitrogênio (FBN), visto ser uma cultura que apresenta simbiose com bactérias do gênero *Bradyrhizobium*, pois a FBN está diretamente relacionada a esses micronutrientes que geralmente estão em déficit, principalmente, nos solos do Cerrado brasileiro (Abreu-Júnior *et al.*, 2023; Barbosa *et al.*, 2023; Embrapa, 2001). O Co e o Mo auxiliam na FBN devido a capacidade de atuarem na redução do nitrato e, consequentemente, na translocação do nitrogênio para os drenos da planta.

É sabido a importância dos micronutrientes em leguminosas, como a soja, porém tem-se um limite tênue entre a necessidade e a fitotoxicidade, em que no caso de Co um suprimento excessivo pode resultar em estresse oxidativo nas plantas (Lwalaba *et al.*, 2017; Roychoudhury; Chakraborty, 2022; Sinha; Khurana; Nautiyal, 2012). Já a toxicidade por Mo é mais difícil de ocorrer, e as vezes pode acontecer diagnósticos incorretos, devido a sintomas associados às atividades de enzimas redox (Roychoudhury; Chakraborty, 2022).

O Co e o Mo são aplicados nas sementes antes da semeadura, junto ao inoculante e ao fungicida. As doses a serem utilizadas na cultura da soja na área do Cerrado brasileiro varia de 2 a 3 g ha⁻¹ de Co e 12 a 30 g ha⁻¹ de Mo (Embrapa, 2001). No entanto, antes a aplicação em massa de uma tecnologia é preciso verificar os seus efeitos na germinação das sementes, afim de verificar se prejudica ou não a fisiologia das mesmas. E como a faixa de Co e Mo aceita é relativamente ampla, faz-se necessário determinar qual a melhor dosagem para cada espécie, cultivar, pois como são materiais genéticos diferentes e as respostas podem variarem, sendo preciso evitar generalizações.

Diante do exposto, objetivou-se avaliar o efeito de doses de Co e Mo na qualidade fisiológica de sementes e no desenvolvimento inicial de plantas de soja cultivares SYN1163 e M7739.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 TESTES DE QUALIDADE FISIOLÓGICA

O experimento foi conduzido no laboratório de sementes e organizado em delineamento inteiramente casualizado (DIC), esquema fatorial 5 x 2, em que foram aplicadas cinco doses de um produto comercial contendo Co a 0,5% e Mo a 6% em sua composição (Tabela 1) nas cultivares de soja SYN1163 e M7739. O teste foi realizado com 400 sementes por tratamento, subdivididas em quatro repetições de 100 sementes. De acordo com Brasil (2009), a dose recomendada é de 2,5 ml kg⁻¹ a qual apresenta a concentração de 1,0 g ha⁻¹ de Co e 12 g ha⁻¹ de Mo (Tabela 1).

Tabela 1. Porcentagem de cobalto (Co) e molibdênio (Mo) nas doses utilizadas no experimento

Doses (mL kg ⁻¹)	0,5% Co (g ha ⁻¹)	6,0% Mo (g ha ⁻¹)
0	0	0
0,625	0,25	3,0
1,25	0,5	6,0
2,5	1,0	12
5,0	2,0	24

As sementes foram pesadas e acondicionadas em sacos plásticos de polietileno transparente, nas dimensões de 40 cm x 60 cm com espessura de 0,033 mm (plástico fino). As doses recomendadas tiveram seu volume completado para 5 ml de água, afim de cobrir a semente e homogeneizar o tratamento. Logo após o tratamento, as sementes foram transferidas para sacos de papel para assegurar uma secagem e uniformidade dos tratamentos. Três dias após as sementes serem tratadas foram transferidas para rolos de papel germitest (50 sementes rolo⁻¹) umedecido com água destilada e deionizada na proporção de 2,5 vezes o peso do papel seco (Brasil, 2009). Os rolos de papel germitest foram acondicionados em uma câmara de germinação a 25 °C. Oito dias após instalação foi avaliada a germinação, contabilizando as plântulas normais. Concomitantemente foi avaliado as plântulas anormais e sementes mortas, como prescrito nas Regras de Análises de Sementes – RAS (Brasil, 2009).

Na avaliação do vigor foi realizada a emergência de plântulas em canteiros de areia, semeando as sementes a 2 cm de profundidade. Utilizou-se quatro repetições de 100 sementes. Aos nove dias após a semeadura foi contabilizado as emergências de plântulas normais, além das porcentagens de plântulas anormais e sementes mortas.

2.2 EXPERIMENTO EM CASA DE VEGETAÇÃO

O experimento foi desenvolvido em casa de vegetação semiclimatizada com resfriamento acionado em 30 °C, utilizando vasos contendo 2 dm³ de um Latossolo Vermelho distrófico (Tabela 2) (Embrapa, 2014). O experimento foi conduzido em DIC, esquema fatorial 5 x 2, sendo cinco doses de um produto comercial contendo 0,5% Co e 6,0% Mo (0; 0,625; 1,25; 2,5 e 5 mL kg⁻¹) e duas cultivares de soja (Syngenta 1163 e Monsoy 7739), com quatro repetições, totalizando 40 vasos.

Tabela 2. Atributos do solo utilizado antes da instalação do experimento

pH (CaCl ₂)	P*	S	K	Ca	Mg	Al	H+Al	M.O.	Arcia	Silte	Argila
	mg dm ⁻³				cmol _c dm ⁻³			g dm ⁻³		%	
4,00	0,30	3,60	0,11	0,57	0,34	0,75	3,75	32,60	42,00	8,00	50,00

pH: potencial hidrogeniônico; P: fósforo; S: enxofre; K: potássio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; Al: alumínio; H+Al: acidez potencial; M.O: matéria orgânica; *Mehlich-1

Dez sementes foram semeadas em cada vaso conforme seus respectivos tratamentos, e nove dias após o plantio realizou-se o desbaste, deixando somente as duas plântulas por vaso. Aos 20 dias após a montagem do experimento foram avaliadas a altura de plantas, com o auxílio de uma régua graduada, considerando a altura das plantas do solo até a ponta da última folha trifoliolada, e altura do cotilédone. Aos 40 dias de cultivo avaliou-se a altura de plantas; número total de trifólios completamente abertos nas

plantas; índice SPAD, considerando a folha central do último trifólio completamente aberto, utilizando o clorofilômetro SPAD 520 da Minolta. Em seguida, foi separado a parte aérea das raízes, e colocados para secar em estufa de circulação forçada de ar a 60 °C para determinação da massa seca de raízes, parte aérea e total.

2.3 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os dados de percentual de germinação, sementes mortas e plântulas anormais em papel germitest e caixa de areia foram submetidos a análise de variância multivariada, e devido a multicolinearidade dos dados, foi excluída a variável percentual de sementes mortas em canteiro de areia, para prosseguir com testes de Lambda de Wilks, Traço de Pillai, Traço de Hotelling-Lawley e Raíz máxima de Roy aos níveis de 5% de significância entre as demais variáveis.

A análise de agrupamento dos tratamentos pelo método de Ward (formação de grupos homogêneos pela menor variância interna mínima), sendo usado como referência a distância euclidiana e o coeficiente de Pearson, foi feito em função das variáveis supracitadas, com exceção do percentual de sementes mortas em canteiro de areia. Os grupos de tratamentos foram discriminados em função das variáveis de germinação utilizando-se a análise discriminante canônica, a qual foi representada em um gráfico biplot construído para as duas primeiras variáveis canônicas. Elipses de 95% de confiança foram construídas a fim de detectar diferenças estatísticas ($p < 0,05$) entre grupos de tratamentos.

Os dados de altura de plantas aos 20 e 40 dias após a semeadura, número de trifólios, índice SPAD, altura do cotilédone e massa seca de raízes, parte aérea e total também foram submetidos os testes multivariados, de agrupamento e correlação canônica como descrito anteriormente. A análise discriminante canônica foi feita com auxílio do pacote candisc (Friendly; Fox, 2015). As análises foram realizadas com o software R versão 4.2.3 (R Core Team, 2023).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES

As variáveis correlacionaram-se fortemente, o que resulta em multicolinearidade entre os dados (Figura 1). Por essa razão, para a análise multivariada foi eliminado o percentual de sementes mortas em caixa de areia, para eliminar a multicolinearidade dos dados, e prosseguir com a análise de variância multivariada. O percentual de germinação em papel germitest correlacionou-se forte e positivamente com o percentual de emergência de plântulas em areia. Os percentuais de germinação em papel germitest e em areia correlacionaram-se forte e negativamente com o percentual de plântulas anormais em papel germitest e em areia.

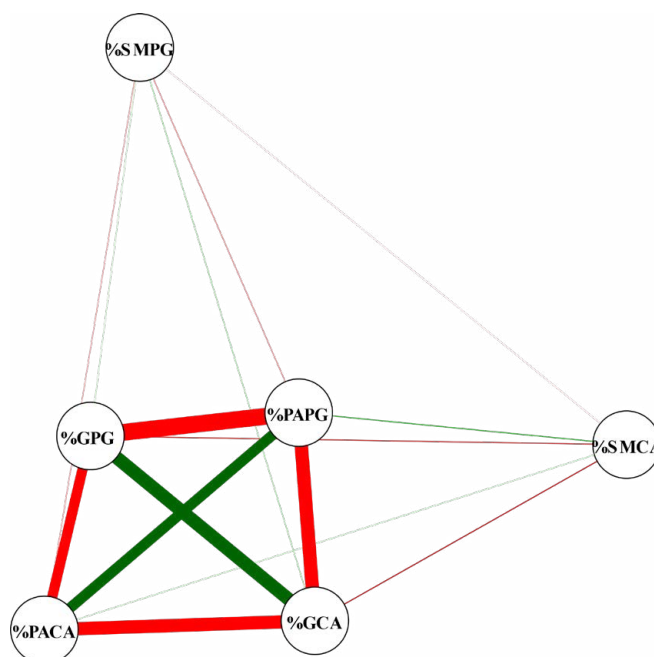


Figura 1. Rede de correlação entre percentual de germinação (%GPG), sementes mortas (%SMPG) e plântulas anormais (%PAPG) em papel germitest e percentual de emergência de plântulas (%GCA), sementes mortas (%SMCA) e plântulas anormais (%PACA) em caixa de areia de sementes de soja cultivares M7739 e SYN1163 tratadas com 0; 0,625; 1,25; 2,5 e 5 ml kg⁻¹ de um produto contendo Co a 0,5% e Mo a 6% em sua composição.

Os tratamentos diferiram-se para o percentual de germinação e plântulas anormais em papel germitest e da emergência de plântulas em areia, e no percentual de sementes mortas em papel germitest pelos testes multivariados de Lambda de Wilks, Traço de Pillai, Traço de Hotelling-Lawley e Raíz máxima de Roy.

As cultivares tenderam a agrupar-se em função das doses, principalmente nas de 2,5 e 5 ml kg⁻¹ (Figura 2), o que mostra que o Co e Mo em doses relativamente altas são prejudiciais a qualidade fisiológica das sementes (Figura 3), independente da cultivar, pois como supracitado, as cultivares ficaram agrupadas no mesmo grupo em função dessas doses. O agrupamento dos tratamentos em função do percentual de germinação e plântulas anormais em papel germitest e emergência de plântulas em areia, e percentual de sementes mortas em papel germitest formou quatro grupos distintos, sendo, GI: cultivares M7739 (C1) e SYN1163 (C2) tratadas com 2,5 ml kg⁻¹ (D4); GII: cultivares M7739 e SYN1163 tratadas com 5 ml kg⁻¹ (D5); GIII: cv. SYN1163 tratada com 1,25 ml kg⁻¹; e GIV: cv. M7739 tratada com 0 (D1); 0,625 (D2); 1,25 (D3) ml kg⁻¹ e cv. SYN1163 tratada com 0 e 0,625 ml kg⁻¹ do produto contendo 0,5 e 6% de Co e Mo, respectivamente (Figura 2).

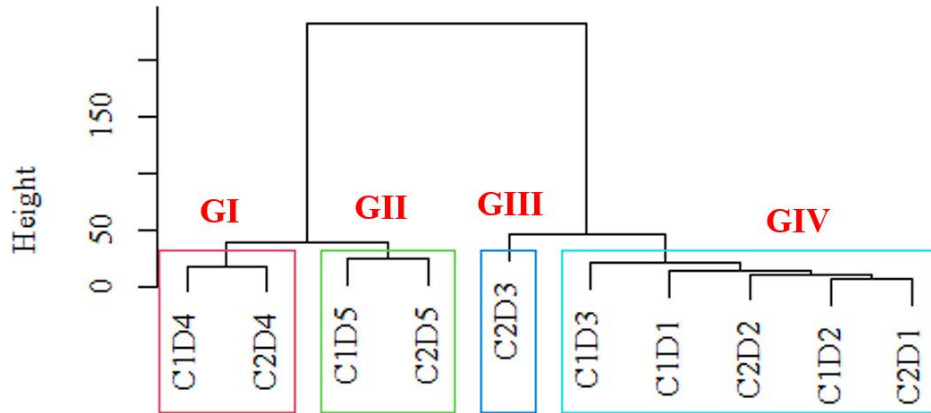


Figura 2. Agrupamento dos tratamentos em dendrograma com a distância euclidiana considerando as variáveis percentual de germinação e plântulas anormais em papel germitest, emergência de plântulas em areia, e percentual de sementes mortas em papel germitest das cultivares M7739 (C1) e SYN1163 (C2) tratadas com 0 (D1); 0,625 (D2); 1,25 (D3); 2,5 (D4) e 5 (D5) ml kg⁻¹ de um produto contendo Co a 0,5% e Mo a 6% em sua composição.

O GI de tratamentos, que abrange as duas cultivares tratadas com 2,5 ml kg⁻¹ do produto, foi o que teve maior percentual de plântulas anormais e sementes mortas, independente do teste utilizado (germinação ou emergência), seguido do GII (Figura 3). Assim, observa-se que as doses mais altas de Co (1 e 2 g ha⁻¹) e Mo (12 e 24 g ha⁻¹), obtidas, respectivamente, nas doses de 2,5 e 5 mL kg⁻¹ do produto, foram prejudiciais a germinação e emergência das plântulas de soja. Embora o percentual de sementes mortas na emergência em areia tenha sido tirado por causa da multicolinearidade dos dados, as doses mais altas do produto também resultaram em maior percentual de sementes mortas. E os grupos de tratamentos três e quatro foram os que proporcionaram maior percentual de germinação (Figura 3).

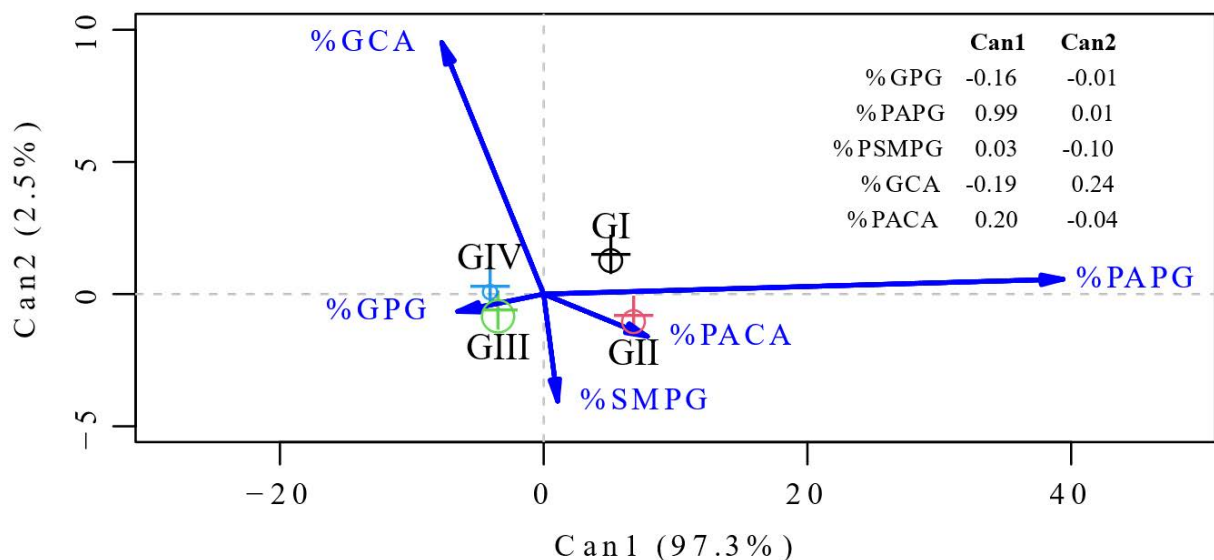


Figura 3. Análise discriminante canônica do percentual de germinação (%GPG), sementes mortas (%SMPG) e plântulas anormais (%PAPG) em papel germitest e percentual de emergência de plântulas (%GCA), sementes mortas (%SMCA) e plântulas anormais (%PACA) em areia de sementes de soja cultivares M7739 (C1) e SYN1163 (C2) tratadas com 0 (D1); 0,625 (D2); 1,25 (D3); 2,5 (D4) e 5 (D5) ml kg⁻¹ de um produto contendo Co a 0,5% e Mo a 6% em sua composição. GI: C1D4 e C2D4; GII: C1D5 e C2D5; GIII: C2D3; GIV: C1D1, C1D2, C1D3, C2D1 e C2D2.

Em estudo desenvolvido por Guerra *et al.* (2006), foi observado que a aplicação de 1,0 g ha⁻¹ Co refletiu no aumento da germinação de sementes de soja cultivar BRS 133. Abreu-Júnior *et al.* (2023) observaram que 20 g ha⁻¹ de Co aumentou o índice de vigor das sementes e o índice de crescimento das plântulas de soja cultivar FTS1154RR. No presente estudo, para a qualidade fisiológica das sementes, as

melhores doses foram as mais baixas (Figura 3), principalmente a de $0,625 \text{ ml kg}^{-1}$, o que corresponde a $0,25 \text{ g ha}^{-1}$ de Co e $3,0 \text{ g ha}^{-1}$ de Mo.

Diante dos resultados, justifica-se o desenvolvimento de estudos que verifiquem a melhor dosagem para cada cultivar, pois dentro da faixa aceita, como é o caso das doses de 2 a 3 g ha^{-1} de Co e 12 a 30 g ha^{-1} de Mo para a cultura da soja na área do Cerrado brasileiro (Embrapa, 2001), podem existir diferentes efeitos. De acordo com Ferreira *et al.* (2001), a aplicação de doses superiores a $36,8 \text{ mg kg}^{-1}$ de Co em sementes de soja na forma de sulfato de Co resulta em problemas fisiológicos nas sementes, afetando a germinação, além de atrofiamento de plântulas e clorose nas folhas.

3.2. CRESCIMENTO DE PLANTAS

Os tratamentos diferenciaram-se para número de trifólios, índice SPAD, altura de plantas aos 20 e 40 dias após a semeadura, altura do cotilédono e massa seca de raízes, parte aérea e total.

No desenvolvimento inicial das plantas houve a tendência de os tratamentos serem agrupados em função das cultivares (Figura 4), o que mostra que as cultivares respondem de maneiras diferentes ao Co e ao Mo. Os tratamentos foram agrupados em cinco grupos, sendo: GI: cv. M7739 tratada com 0 ml kg^{-1} e cv. SYN1163 tratada com $1,25 \text{ ml kg}^{-1}$; GII: cv. SYN1163 tratada com todas as doses, exceto a de $1,25 \text{ ml kg}^{-1}$; GIII: cv. M7739 tratada com 5 ml kg^{-1} ; GIV: cv. M7739 tratada com $0,625 \text{ ml kg}^{-1}$; e GV: cv. M7739 tratada com $1,25$ e $2,25 \text{ ml kg}^{-1}$ (Figura 4).

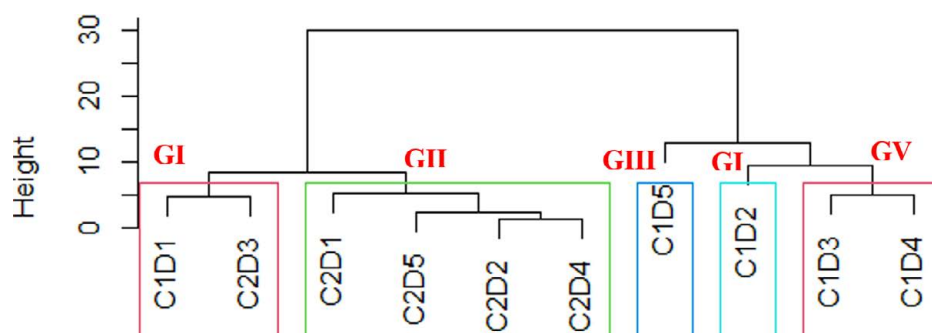


Figura 4. Agrupamento dos tratamentos em dendrograma com a distância euclidiana considerando as variáveis número de trifólios, índice SPAD, altura de plantas aos 20 e 40 dias após a semeadura, altura do cotilédono e massa seca de raízes, parte aérea e total das cultivares M7739 (C1) e SYN1163 (C2) tratadas com 0 (D1); $0,625$ (D2); $1,25$ (D3); $2,5$ (D4) e 5 (D5) ml kg^{-1} de um produto contendo Co a $0,5\%$ e Mo a 6% em sua composição.

As sementes da cv. M7739 tratadas com 5 ml kg^{-1} (GIII) foram as resultaram em plantas mais altas, com maior número de trifólios, índice SPAD e altura de cotilédones (Figura 5). Os maiores teores de massa seca de raízes, parte aérea e total foram obtidos na cv. M7739 sem tratamento de sementes e na cv. SYN1163 cujas as sementes foram tratadas com $1,25 \text{ ml kg}^{-1}$ (GI), seguido dos tratamentos do GIV.

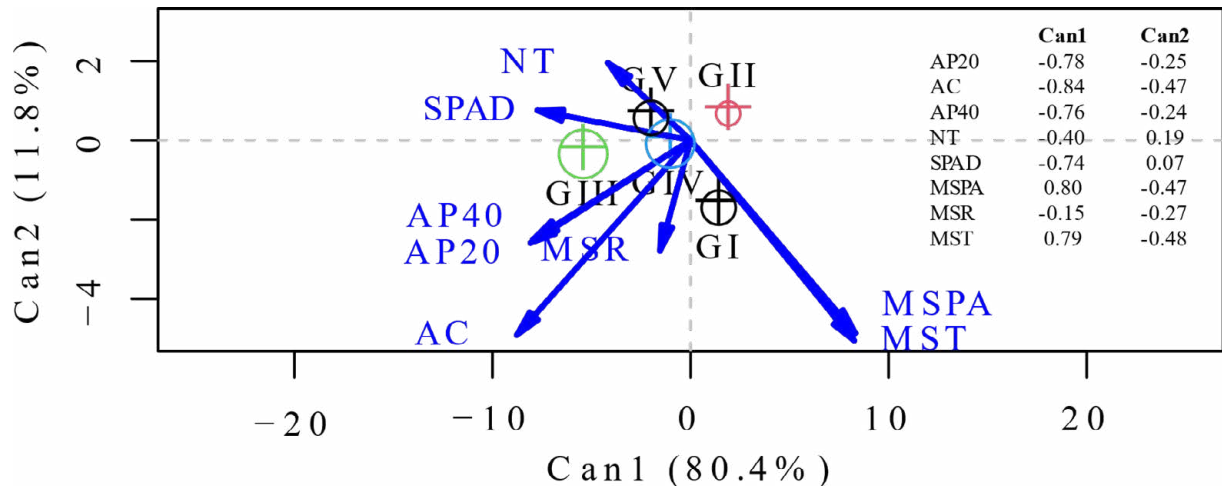


Figura 5. Análise discriminante canônica do número de trifolios (NT), índice SPAD (SPAD), altura de plantas aos 20 (AP20) e 40 dias (AP40) após a semeadura, altura do cotilédono (AC) e massa seca de raízes (MSR), parte aérea (MSPA) e total (MST) de plantas de soja cultivares M7739 (C1) e SYN1163 (C2) tratadas com 0 (D1); 0,625 (D2); 1,25 (D3); 2,5 (D4) e 5 (D5) ml kg⁻¹ de um produto contendo Co a 0,5% e Mo a 6% em sua composição. GI: C1D1 e C2D3; GII: C2D1, C2D5, C2D2 e C2D4; GIII: C1D5; GIV: C1D2; GV: C1D2 e C1D4.

Embora a dose de 5,0 ml kg⁻¹ do produto (2,0 g ha⁻¹ de Co e 24 g ha⁻¹ de Mo, Tabela 1) tenha sido a melhor para a maioria das características agrônômicas da cv. M7739, não se recomenda essa dosagem, pois a mesma foi altamente prejudicial à qualidade fisiológica das sementes. O benefício da dose mais alta na altura das plantas pode estar associado aos efeitos do Co e do Mo na FBN, pois no processo de simbiose dos rizóbios com leguminosas ocorre o aumento da demanda desses micronutrientes, além de outros como Zn, Cu, Fe, Ni, entre outros, que desempenham funções específicas no metabolismo da planta (González-Guerrero *et al.*, 2014; Lavres; Franco; Câmara, 2016). Com o aumento da FBN aumenta, consequentemente, a captação de N, que é essencial a vários processos na planta.

O índice SPAD é uma variável fortemente correlacionada ao teor de clorofila, utilizado para estimar a quantidade de N assimilada pelas plantas (Debaeke; Rouet; Justes, 2006; Buchailot *et al.*, 2019). O aumento dos teores de Co e Mo na dose máxima utilizada (5 ml kg⁻¹), pode ter resultado na melhora da FBN, consequentemente, do teor de N absorvido pelas plantas, como supracitado, pois o Co atua na formação dos nódulos e é componente da vitamina B12, precursora da perna-hemoglobina, cuja função é impedir a inativação da nitrogenase (MA *et al.*, 2021). Já o Mo faz parte da redutase do nitrato, enzima assimiladora do N na planta, da nitrogenase, que auxilia as bactérias nos nódulos das leguminosas a fixar o N atmosférico, e também compões a sulfito oxidase, enzima associada ao transporte de elétrons nas reações bioquímicas (Sfredio; Oliveira, 2010; Gopal; Sharma, Shukla, 2016).

A cv. SYN1163 respondeu as doses de maneira semelhante, em que somente o tratamento com a dose de 1,25 ml kg⁻¹ ficou fora do GII (Figura 4). Isso mostra que essa cultivar é mais sensível ao aumento das doses de Co e Mo que a M7739 que apresentou diferentes respostas em função das doses, agrupando-se em diferentes grupos. O tratamento das sementes com 1,25 ml kg⁻¹ foi o que proporcionou maior massa seca da parte aérea e total para a cv. SYN1163, sendo está melhor dose para o desenvolvimento das plantas dessa cultivar.

A massa seca das raízes tendeu a reduzir com o aumento das doses de Co e Mo (Figura 5). Como dito anteriormente, para o Co o limite entre a necessidade da planta e a toxicidade é estreito, e o excesso pode resultar em estresse oxidativo nas plantas (Lwalaba *et al.*, 2017; Roychoudhury; Chakraborty, 2022; Sinha; Khurana; Nautiyal, 2012), prejudicando seu desenvolvimento.

No desenvolvimento das plantas, as cultivares responderam aos tratamentos com Co e Mo de formas diferentes. Isso é explicado pela variabilidade genética existente entre as cultivares, fazendo com

que as respostas variem (Razgour *et al.*, 2019; Silva *et al.*, 2020). O tratamento de sementes de soja com Co e Mo é essencial para o bom desenvolvimento vegetal e aumentar a eficiência da FBN, principalmente quando essas sementes são semeadas em solos distróficos (Abreu-Júnior *et al.*, 2023; Banerjee; Nath, 2021). Mas é necessário ter cuidado com a dose utilizada, pois o Co em excesso prejudica a qualidade fisiológica das sementes e o desenvolvimento das plantas.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A cultivar M7739 é mais tolerante ao aumento das doses de Co e Mo que a SYN1163. Embora o Co e o Mo em sua dosagem mais alta (2,0 e 24 g ha⁻¹, respectivamente) tenham proporcionado melhor desenvolvimento das plantas não se recomenda essa dosagem, pois prejudica a qualidade fisiológica das sementes, sendo recomendado a dose de 0,625 ml kg⁻¹ do produto para ambas as cultivares, o que corresponde a 0,25 g ha⁻¹ de Co e 3,0 g ha⁻¹ de Mo, pois melhora a qualidade das plantas em relação as sementes não tratadas e não prejudica a germinação das sementes.

REFERÊNCIAS

- ABREU-JÚNIOR, C. H.; GRUBERGER, G. A. C.; CARDOSO, P. H. S.; GONÇALVES, P. W. B.; NOGUEIRA, T. A. R.; CAPRA, G. F.; JANI, A. D. Soybean seed enrichment with cobalt and molybdenum as an alternative to conventional seed treatment. **Plants**, v. 12, n. 5, p. 1164, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants12051164>.
- BANERJEE, P.; NATH, R. Prospects of molybdenum fertilization in grain legumes-A review. **Journal of Plant Nutrition**, v. 45, n. 9, p. 1425-1440, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1080/01904167.2021.2020831>.
- BARBOSA, H. M.; ALVAREZ, R. D. C. F.; LIMA, S. F. D.; CORDEIRO, M. A. S.; ZANELLA, M. S.; BERNARDO, V. F. *Bradyrhizobium* and *Azospirillum* co-inoculation associated with cobalt and molybdenum application in the soybean crop. **Ciência Rural**, v. 53, n. 7, p. e20210871, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20210871>.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. 1ª ed. Brasília: Mapa/ACS, 2009. 399 p.
- BUCHAILLOT, M. L.; GRACIA-ROMERO, A.; VERGARA-DIAZ, O.; ZAMAN-ALLAH, M. A.; TAREKEGNE, A.; CAIRNS, J. E.; PRASANNA, B. M.; ARAÚS, J. L.; KEFAUVER, S. C. Evaluating maize genotype performance under low nitrogen conditions using RGB UAV phenotyping techniques. **Sensors**, v. 19, n. 8, p. 1815, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/s19081815>.
- DEBAEKE, P.; ROUET, P.; JUSTES, E. Relationship between the normalized SPAD index and the nitrogen nutrition index: application to durum wheat. **Journal of plant nutrition**, v. 29, n. 1, p. 75-92, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1080/01904160500416471>.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Embrapa Soja Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Soja Molibdênio e Cobalto**. Documento 322. Londrina, PR, 2010.
- FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. D.; RAY, B. V.; ABREU, C. A. D. **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: Potafos, 2001.

FRIENDLY, M.; FOX, J. **Candisc: Visualizing generalized canonical discriminant and canonical correlation analysis**. R package version 0.8-0.2017. <https://CRAN.R-project.org/package=candisc>.

GONZÁLEZ-GUERRERO, M.; MATTHIADIS, A.; SÁEZ, Á. N.; LONG, T. A. Fixating on metals: new insights into the role of metals in nodulation and symbiotic nitrogen fixation. **Frontiers in Plant Science**, v. 5, p. 45, 2014. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00045>.

GOPAL, R.; SHARMA, Y. K.; SHUKLA, A. K. Effect of molybdenum stress on growth, yield and seed quality in black gram. **Journal of Plant Nutrition**, v. 39, n. 4, p. 463-469, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1080/01904167.2015.1016176>.

GUERRA, C. A.; MARCHETTI, M. E.; ROBAINA, A. D.; SOUZA, L. C. F.; GONÇALVES, M. C.; NOVELINO, J. O. Qualidade fisiológica de sementes de soja em função da adubação com fósforo, molibdênio e cobalto. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 28, n. 1, p. 9197, 2006.

LAVRES, J.; FRANCO, G. C.; CÂMARA, G. M. S. Soybean seed treatment with nickel improves biological nitrogen fixation and urease activity. **Frontiers in Environmental Science**, v. 4, p. 37, 2016. DOI: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2016.00037>.

IWALABA, J. L. W.; ZVOGBO, G.; MULEMBO, M.; MUNDENDE, M.; ZHANG, G. The effect of cobalt stress on growth and physiological traits and its association with cobalt accumulation in barley genotypes differing in cobalt tolerance. **Journal of Plant Nutrition**, v. 40, n. 15, p. 2192-2199, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1080/01904167.2017.1346676>.

MA, J.; SONG, Z.; YANG, J.; WANG, Y.; HAN, H. Cobalt ferrite nanozyme for efficient symbiotic nitrogen fixation via regulating reactive oxygen metabolism. **Environmental Science: Nano**, v. 8, n. 1, p. 188-203, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1039/D0EN00935K>.

PEREIRA, A. E. S.; OLIVEIRA, H. C.; FRACETO, L. F.; SANTAELLA, C. Nanotechnology potential in seed priming for sustainable agriculture. **Nanomaterials**, v. 11, n. 2, p. 267, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/nano11020267>.

R core team. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2022. <https://www.R-project.org/>.

RAZGOUR, O.; FORESTER, B.; TAGGART, J. B.; BEKAERT, M.; JUSTE, J.; IBÁÑEZ, C.; PUECHMAILLE, S. J.; NOVELLA-FERNANDEZ, R.; ALBERI, A.; MANEL, S. Considering adaptive genetic variation in climate change vulnerability assessment reduces species range loss projections. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 116, n. 21, p. 10418-10423, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1820663116>.

ROYCHOUDHURY, A.; CHAKRABORTY, S. Cobalt and molybdenum: deficiency, toxicity, and nutritional role in plant growth and development. **Plant nutrition and food security in the era of climate change**, p. 255-270, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822916-3.00021-4>.

SFREDO, J. G. E.; OLIVEIRA, N. C. M. **Soja molibdênio e cobalto**. Londrina: Embrapa Soja. (Embrapa Soja. Circular técnica, documentos 322), 2010.

SILVA, L. L.; MORENO, H. L. A.; CORREIA, H. L. N.; SANTANA, M. F.; QUEIROZ, M. V. *Colletotrichum*: species complexes, lifestyle, and peculiarities of some sources of genetic variability. **Applied microbiology and biotechnology**, v. 104, n. 5, p. 1891-1904, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00253-020-10363-y>.

SINHA, P.; KHURANA, N.; NAUTYAL, N. Induction of oxidative stress and antioxidant enzymes by excess cobalt in mustard. **Journal of plant nutrition**, v. 35, n. 6, p. 952-960, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1080/01904167.2012.663636>.