

ESTRESSE SALINO E TÉRMICO EM SEMENTES DE SOJA SUBMETIDAS AO CONDICIONAMENTO OSMÓTICO COM POLIETILENO GLICOL

Data de submissão: 26/08/2024

Data de aceite: 01/10/2024

Gislaine da Silva Pereira

Universidade Federal da Grande Dourados, Faculdade de Ciências Agrárias Dourados – Mato Grosso do Sul, Brasil
<https://orcid.org/0000-0003-1235-8061>

Tathiana Elisa Masetto

Universidade Federal da Grande Dourados, Faculdade de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia Dourados – Mato Grosso do Sul, Brasil
<https://orcid.org/0000-0003-3203-6932>

Leilaine Gomes da Rocha

Universidade Federal da Grande Dourados, Programa de Pós-Graduação em Agronomia Dourados – Mato Grosso do Sul, Brasil
<https://orcid.org/0000-0002-4824-6179>

Rafaela Martins de Araújo

Universidade Federal da Grande Dourados, Faculdade de Ciências Agrárias Dourados – Mato Grosso do Sul, Brasil
<https://orcid.org/0000-0001-6748-6162>

Daynara da Silva Martins

Universidade Federal da Grande Dourados, Faculdade de Ciências Agrárias Dourados – Mato Grosso do Sul, Brasil
<https://orcid.org/0009-0000-3568-3129>

RESUMO: A qualidade da semente de soja é fundamental para a sustentabilidade da cultura e a obtenção de elevadas produtividades. O condicionamento fisiológico é uma técnica que permite melhorar o desempenho de sementes em condições adversas, como situações de estresse salino e térmico. Objetivou-se com este trabalho avaliar o desempenho fisiológico de sementes de soja pertencentes a diferentes cultivares submetidas ao condicionamento osmótico com polietileno glicol (PEG 6000) e expostas ao estresse salino com NaCl e ao estresse térmico. O experimento foi conduzido com lotes de sementes pertencentes às cultivares BMX Potência RR, M 6210 IPRO e M 6410 IPRO. As sementes foram submetidas ao condicionamento osmótico com PEG 6000 (-1,0 MPa e -1,2 MPa) durante 12 horas. O efeito do condicionamento osmótico foi avaliado na germinação e vigor das sementes de soja e na germinação de sementes submetidas ao estresse salino com NaCl (-0,3 MPa e -0,6 MPa) e ao estresse térmico (15 °C e 35 °C). As sementes não submetidas à solução salina (0 MPa) e expostas à temperatura de 25 °C, respectivamente, foram utilizadas como controle. Os resultados, quando

significativos, foram comparados pelo teste de Tukey a 5% de significância para cada cultivar. O condicionamento osmótico com PEG influencia na condutividade elétrica de sementes de soja das cv. BMX Potência RR, M 6210 IPRO e M 6410 IPRO. O condicionamento osmótico com PEG (-1,0 MPa) tem efeito positivo na germinação de sementes cv. BMX Potência RR e M 6210 IPRO submetidas ao estresse salino com NaCl (-0,6 MPa). Entretanto, o condicionamento osmótico não influencia na germinação de sementes de soja submetidas a temperaturas sub e supra-ótimas.

PALAVRAS-CHAVE: *Glycine max* L., Osmocondicionamento, Sustentabilidade, Temperatura.

SALINE AND THERMAL STRESS IN SOYBEAN SEEDS SUBJECTED TO OSMOTIC CONDITIONING WITH POLYETHYLENE GLYCOL

ABSTRACT: Soybean seed quality is essential to the crop sustainability and to obtain high productivity. Physiological conditioning is a technique that improves seed performance under adverse conditions, such as saline and thermal stress. The objective of this study was to evaluate the physiological performance of soybean seeds belonging to different cultivars subjected to osmotic conditioning with polyethylene glycol (PEG 6000) and exposed to saline stress with NaCl and thermal stress. The experiment was conducted with seed lots belonging to the cultivars BMX Potência RR, M 6210 IPRO and M 6410 IPRO. The seeds were subjected to osmotic conditioning with PEG 6000 (-1.0 MPa and -1.2 MPa) for 12 hours. The effect of osmotic conditioning was evaluated on the germination and vigor of soybean seeds and on the germination of seeds subjected to saline stress with NaCl (-0.3 MPa and -0.6 MPa) and thermal stress (15 °C and 35 °C). Seeds not subjected to saline solution (0 MPa) and seeds placed at a temperature of 25 °C, respectively, were used as controls. The results, when significant, were compared by Tukey's test at 5% significance for each cultivar. Osmotic conditioning with PEG influences the electrical conductivity of soybean seeds of cv. BMX Potência RR, M 6210 IPRO and M 6410 IPRO. Osmotic conditioning with PEG (-1.0 MPa) has a positive effect on the germination of seeds cv. BMX Potência RR and M 6210 IPRO subjected to saline stress with NaCl (-0.6 MPa). However, osmotic conditioning does not influence the germination of soybean seeds subjected to sub and supra-optimal temperatures.

KEYWORDS: *Glycine max* L., Osmoconditioning, Sustainability, Temperature.

INTRODUÇÃO

A cultura da soja (*Glycine max* L.) está em constante crescimento devido aos avanços tecnológicos, ao manejo e à eficiência dos produtores. O grão de soja é a principal fonte de proteína vegetal para fabricação de ração animal e a alimentação humana, o que permite diversas aplicações comerciais e justifica o grande complexo agroindustrial para o processamento da soja (Juhász et al., 2013; Penha et al., 2014).

A semente de soja é o principal insumo para o estabelecimento da cultura no campo e a sua qualidade é de fundamental importância para o alcance da sustentabilidade e obtenção de altas produtividades. A qualidade da semente é determinada pelos atributos

físicos, genéticos, fisiológicos e sanitários, que conferem garantia de estabelecimento da cultura no campo e elevado desempenho agrônômico (Krzyzanowski et al., 2018). A população adequada e homogênea de plantas no campo é um dos principais fatores que garantem a qualidade final do produto cultivado e é influenciado pela qualidade das sementes utilizadas para o estabelecimento da lavoura (Armondes et al., 2016).

A viabilidade e o vigor são características importantes do atributo fisiológico das sementes, assim, avaliar essas informações de maneira correta possibilita identificar lotes e cultivares de sementes com potencial para alcançar o elevado desempenho em campo (Marcos Filho, 2015). No entanto, durante e após a semeadura, o desempenho das sementes pode ser influenciado pela exposição aos fatores bióticos e abióticos, que afetam a germinação, alteram a uniformidade de emergência de plântulas (Tunes et al., 2020) e influenciam no estabelecimento da cultura.

A temperatura e a salinidade são fatores ambientais que afetam a germinação de sementes. A salinidade é um importante estresse abiótico que inibe o crescimento das culturas agrícolas e é considerado um dos desafios ambientais amplamente distribuído em solos agrícolas (Safdar et al., 2019). Devido ao efeito da salinidade, espera-se uma perda de até 50% de áreas agricultáveis no mundo em meados do século XXI (Roychoudhury e Chakraborty, 2013).

Durante a germinação, a temperatura atua na regulação dos mecanismos de absorção de água pelas sementes (Bewley, 1997). Temperaturas baixas podem afetar a dinâmica de absorção de água, danificando a seletividade da membrana celular e inibindo a germinação de sementes de soja (Szczerba et al, 2021). De acordo com Barbosa et al. (2014), a exposição a situações de estresse como déficit hídrico, salinidade e temperaturas extremas provocam a formação de ROS (espécies reativas de oxigênio), subprodutos formados do metabolismo aeróbico que influenciam na expressão de vários genes envolvidos no metabolismo e vias de transdução de sinais e quando acumuladas, causam danos irreversíveis que pode levar à morte celular.

Para atenuar os efeitos de estresses abióticos, o condicionamento fisiológico é uma técnica promissora que consiste na embebição lenta das sementes e tem como objetivo ativar os processos metabólicos que ocorrem nas fases iniciais de germinação, porém, sem que ocorra a emissão da raiz primária (Afzal et al., 2006; Nunes et al., 2015; Lei et al., 2021). A hidratação lenta das sementes permite tempo hábil para a reorganização e reparação das membranas celulares, minimizando os riscos de danos ao eixo embrionário desencadeados pela rápida embebição de água pelas sementes (Khan et al., 2016; Pereira e Masetto, 2021).

O condicionamento fisiológico pode ser realizado com o polietileno glicol (PEG), um soluto utilizado no preparo de soluções com diferentes potenciais osmóticos para regular a velocidade de hidratação das sementes. Uma vez osmocondicionadas, as sementes apresentam redução do tempo de germinação e aumento na velocidade de

emergência de plântulas (Rouhi et al., 2011; Masetto et al., 2014; Paparella et al., 2015). O osmocondicionamento em sementes possibilita incrementos na germinação, principalmente em condições adversas, como níveis elevados de salinidade, baixa disponibilidade hídrica e temperaturas subótima ou supra-ótima (Jeller e Perez, 2003; Abid et al., 2018; Lei et al., 2021).

O objetivo do trabalho foi avaliar o desempenho fisiológico de sementes de soja pertencentes a diferentes cultivares osmocondicionadas com PEG (6000) e submetidas ao estresse salino com NaCl e ao estresse térmico.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Laboratório de Tecnologia de Sementes da Faculdade de Ciências Agrárias (FCA), na Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), em Dourados-MS. Os lotes de sementes de soja pertencentes as cultivares: BMX Potência RR, M 6210 IPRO e M 6410 IPRO, foram utilizados para verificar se o efeito dos tratamentos osmóticos não é restrito a um único genótipo. Os lotes de sementes foram produzidos na safra 2020/2021 e uniformes quanto ao tamanho.

Caracterização inicial dos lotes de sementes

Conforme a Regras para Análise de Sementes (RAS), o teor de água das sementes foi determinado em estufa a 105 °C (± 3 °C) por 24 horas, com quatro repetições e os resultados foram expressos em base úmida (Brasil, 2009).

O teste de germinação foi realizado com quatro repetições de 50 sementes para cada cultivar, em rolos de papel Germitest®, umedecidos com a quantidade de água equivalente a 2,5 vezes o peso do papel seco, condicionados em B.O.D na temperatura de 25 °C. O teste foi avaliado aos 8 dias após a semeadura para o registro de germinação, de acordo com os critérios estabelecidos pela RAS (Brasil, 2009). Os resultados foram expressos em percentagem de plântulas normais para cada cultivar.

O índice de velocidade de germinação (IVG) foi realizado em conjunto com o teste de germinação, por meio de avaliação e registro diário de germinação, conforme descritos por Maguire (1962).

O teste de envelhecimento acelerado foi realizado com a disposição das sementes sobre tela no interior de caixas acrílicas contendo 200 sementes em camada única, com 40 ml de água destilada contidas no fundo do gerbox. As caixas com as sementes foram mantidas em estufa a 41 °C por 48 horas. Após, as sementes foram submetidas ao teste padrão de germinação e o percentual de plântulas normais foi avaliado aos cinco dias após a instalação do teste (Marcos Filho, 1999). Para cada lote, foram utilizadas quatro repetições de 50 sementes.

O teste de emergência de plântulas em campo foi realizado com quatro repetições de 50 sementes para cada cultivar, semeadas em Latossolo Vermelho Distroférico (peneirado) em bandeja rígida, disposta em bancada e irrigadas conforme a necessidade. As avaliações foram realizadas até o décimo dia após a semeadura e os resultados foram expressos em porcentagem.

O índice de velocidade de emergência (IVE) foi realizado juntamente com o teste de emergência de plântulas em campo. O número de plântulas emergidas foi registrado diariamente para o cálculo do IVE, conforme os critérios estabelecidos por Maguire (1962).

Para o teste de condutividade elétrica, utilizou-se quatro repetições de 50 sementes, previamente pesadas, e imersas em 75 ml de água deionizada, e em seguida, foram levadas a câmara B.O.D (Biochemical Oxygen Demand) por 24 horas a 25 °C. A leitura foi realizada com o auxílio de um condutímetro de bancada, cada recipiente foi agitado cuidadosamente com o intuito de uniformizar os eletrólitos lixiviados na solução e os resultados foram expressos em $\mu\text{Scm}^{-1}\text{g}^{-1}$ (Vieira e Krzyzanowski, 1999).

Condicionamento osmótico das sementes com PEG 6000

Para o condicionamento osmótico, as sementes de soja de cada cultivar foram embebidas em soluções de polietileno glicol (PEG 6000) nas concentrações de 0 MPa, -1,0 MPa e -1,2 MPa, na proporção de 2,5 vezes a massa do papel seco.

As sementes foram dispostas entre papel umedecido com as soluções osmóticas dentro de bandejas de plástico e, em sequência, foram levadas para câmara B.O.D a 25 °C por um período de 12 horas. O tratamento controle foi constituído por sementes que permaneceram em papel umedecido somente com água (0 MPa). Após o período, as sementes foram lavadas em água corrente e secas em estufa de ar forçado a temperatura de 30 °C até atingirem o teor de água inicial ($13 \pm 3\%$).

O desempenho fisiológico de sementes submetidas ao condicionamento osmótico foi avaliado por meio do teste de germinação (Brasil, 2009), índice de velocidade de germinação (Maguire, 1962), envelhecimento acelerado (Marcos FILHO, 1999), emergência à campo (Nakagawa, 1999), índice de velocidade de emergência (Maguire, 1962) e condutividade elétrica de sementes (Vieira e Krzyzanowski, 1999), como citada anteriormente.

Efeito do condicionamento osmótico (*priming*) em sementes submetidas ao estresse salino

O efeito do condicionamento osmótico foi avaliado na germinação de sementes submetidas às soluções de NaCl (-0,3 e -0,6 MPa). O controle foi constituído por sementes submetidas ao substrato umedecido apenas com água destilada (Brasil, 2009). Os testes foram conduzidos em rolo de papel Germitest® com 50 sementes, umedecido com água destilada e com as soluções salinas na proporção de 2,5 vezes a massa do papel seco. Os rolos de papel foram acondicionados em germinador com luz branca e temperatura constante de 25 °C. A avaliação foi realizada aos oito dias após a instalação do teste, registrando-se o percentual de plântulas normais (Brasil, 2009).

Efeito do condicionamento osmótico (*priming*) em sementes submetidas ao estresse térmico

O efeito do *priming* foi avaliado na germinação de sementes de soja em duas temperaturas. O controle foi constituído por sementes submetidas à temperatura de 25 °C (Brasil, 2009). Os testes foram conduzidos em rolo de papel com 50 sementes, umedecidos com água destilada na proporção de 2,5 vezes a massa do papel seco. Os rolos de papel foram acondicionados em B.O.D. com luz branca constante e regulados à temperatura baixa (15 °C) e temperatura alta (35 °C) durante oito dias.

A avaliação foi realizada ao final do teste, registrando-se o percentual de plântulas normais (Brasil, 2009).

Análise estatística

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com quatro repetições. Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), utilizando-se o Software Sisvar® (Ferreira, 2019) e os resultados, quando significativos, foram comparados pelo teste de Tukey a 5% de significância, para cada cultivar.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a germinação (G), índice de velocidade de germinação (IVG), emergência a campo (EC), índice de velocidade de emergência (IVE), envelhecimento acelerado (EA) e condutividade elétrica (CE) houve diferença significativa ($p < 0,01$) para as cultivares BMX Potência RR, M 6210 IPRO e M 6410 IPRO (Tabela 1).

Quadrados Médios							
FV	GL	G	IVG	EC	IVE	EA	CE
Cultivar	2	242,33**	69,33**	256,33**	262,06**	481,00**	3420,14**
Resíduo	9	25,11	7,8	14,88	8,44	11,77	120,79
Média Geral		86,33	42,08	90,33	26,08	85	100,29
CV (%)		5,8	6,64	4,27	11,14	4,04	10,96

** significativo a 1% de probabilidade.

Tabela 1. Resumo da análise de variância para germinação (G), índice de velocidade de germinação (IVG), emergência a campo (EC), índice de velocidade de emergência (IVE), envelhecimento acelerado (EA) e condutividade elétrica (CE) de sementes de soja das cultivares BMX Potência RR, M 6210 IPRO e M 6410 IPRO.

As sementes dos três genótipos apresentaram, em média, 12,1% de teor de água (Tabela 2). As sementes da cv. M 6210 IPRO apresentaram resultados de germinação, índice de velocidade de germinação, emergência a campo e índice de velocidade de emergência superior as demais cultivares. No entanto, as sementes da cv. BMX Potência RR apresentaram resultado de envelhecimento acelerado de 95%. As sementes da cv. M 6210 IPRO apresentaram elevado desempenho pelo teste de condutividade elétrica (Tabela 2).

Cultivar	TA	G	IVG	EC	IVE	EA	CE
BMX Potência RR	11,9	90 ab	40,75 b	90 b	23,26 b	95 a	106,97 a
M 6210 IPRO	12,8	95 a	46,75 a	99 a	45,21 a	88 b	68,29 b
M 6410 IPRO	11,6	79 b	38,75 b	83 b	19,78 b	73 c	125,62 a

Letras iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Tabela 2. Caracterização inicial de sementes de soja pertencentes às cultivares BMX Potência RR, M 6210 IPRO e M 6410 IPRO, quanto ao teor de água (TA, %), germinação (G, %), índice de velocidade de germinação (IVG), emergência a campo (EC, %), índice de velocidade de emergência (IVE), envelhecimento acelerado (EA, %) e condutividade elétrica (CE, $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$).

O condicionamento osmótico das sementes cv. BMX Potência (Tabela 3) e M 6410 IPRO (Tabela 4) não influenciou significativamente a germinação, IVG, envelhecimento acelerado, emergência a campo e IVE. As sementes da cv. M 6210 IPRO submetidas ao condicionamento osmótico também não apresentaram diferenças na germinação e vigor, exceto pelo IVE; as sementes condicionadas com PEG (-1,2 MPa) apresentaram desempenho inferior em relação ao controle (Tabela 5).

A condutividade elétrica das sementes dos genótipos avaliados foi influenciada pelo condicionamento osmótico com PEG (6000). As sementes da cv. BMX Potência RR submetidas ao condicionamento osmótico na concentração de -1,2 MPa apresentaram baixo desempenho fisiológico, não diferindo do controle (Tabela 3). Por outro lado, as sementes da cv. 6410 IPRO osmocondicionadas a -1,2 MPa apresentaram desempenho fisiológico superior em relação

ao controle (Tabela 4); e as sementes da cv. M 6210 IPRO submetidas ao condicionamento com soluções de PEG (6000) também apresentaram desempenho fisiológico mais elevado em relação ao controle (Tabela 5). A condutividade elétrica é um teste bioquímico indireto sobre a integridade das membranas celulares (Marcos Filho, 2015). Os baixos resultados de condutividade elétrica de sementes dos genótipos submetidas ao condicionamento osmótico indicam o efeito positivo no restabelecimento da integridade das membranas celulares.

	BMX Potência RR					
	G	IVG	EA	EC	IVE	CE
Controle	92 a	9,18 a	88 a	90 a	7,26 a	80,63 ab
-1,0 MPa	91 a	9,02 a	85 a	88 a	7,27 a	75,35 b
-1,2 MPa	86 a	8,58 a	84 a	87 a	6,67 a	92,60 a
CV (%)	6,5	6,4	6,0	6,3	7,1	8,8

Letras iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Tabela 3. Germinação (G, %), índice de velocidade de germinação (IVG), envelhecimento acelerado (EA, %), emergência a campo (EC, %), índice de velocidade de emergência (IVE) e condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}\text{g}^{-1}$) de sementes de soja cv. BMX Potência RR submetidas ao condicionamento osmótico com PEG 6000.

	M 6410 IPRO					
	G	IVG	EA	EC	IVE	CE
Controle	86 a	8,50 a	75 a	84 a	6,66 a	116,4 a
-1,0 MPa	83 a	8,22 a	68 a	79 a	6,53 a	114,9 ab
-1,2 MPa	85 a	8,28 a	76 a	83 a	6,62 a	101,5 b
CV (%)	5,0	5,3	8,3	9,2	11,3	6,5

Letras iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Tabela 4. Germinação (G, %), índice de velocidade de germinação (IVG), envelhecimento acelerado (EA, %), emergência a campo (EC, %), índice de velocidade de emergência (IVE) e condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}\text{g}^{-1}$) de sementes de soja cv. M 6410 IPRO submetidas ao condicionamento osmótico com PEG 6000.

	M 6210 IPRO					
	G	IVG	EA	EC	IVE	CE
Controle	92 a	9,06 a	88 a	99 a	8,82 a	62,56 a
-1,0 MPa	87 a	8,20 a	91 a	95 a	8,25 ab	58,08 b
-1,2 MPa	93 a	9,15 a	87 a	95 a	7,62 b	55,82 b
CV (%)	6,2	6,3	3,0	3,3	16,4	3,4

Letras iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Tabela 5. Germinação (G, %), índice de velocidade de germinação (IVG), envelhecimento acelerado (EA, %), emergência a campo (EC, %), índice de velocidade de emergência (IVE) e condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}\text{g}^{-1}$) de sementes de soja cv. M 6210 IPRO submetidas ao condicionamento osmótico com PEG 6000.

O condicionamento fisiológico de sementes auxilia na reorganização dos constituintes celulares e minimiza as perdas do controle da permeabilidade pela membrana plasmática (Oliveira et al., 2013; Paparella et al., 2015). Sementes de baixo vigor ou em estágio mais avançado de deterioração apresentam baixa capacidade de reparo da membrana celular durante o processo de absorção de água e liberam grandes quantidades de íons, aumentando a condutividade elétrica da solução (Marcos Filho, 2015).

A redução da condutividade elétrica, indica que houve aumento da resistência à corrente elétrica na solução de imersão, decorrente da menor concentração de íons na solução (Sediyama et al., 2012). O osmocondicionamento provoca a lenta absorção de água pela semente, o que previne os possíveis danos causados pela rápida absorção de água, preserva os solutos disponíveis para as membranas dos tecidos embrionários e deixa os metabólitos disponíveis para uso durante o processo de germinação e emergência de plântulas.

A germinação das sementes de soja cv. BMX Potência RR osmocondicionadas com PEG não diferiram do controle na ausência de condições estressantes (0,0 MPa), entretanto, na concentração de -0,3 MPa as sementes osmocondicionadas a -1,0 MPa apresentaram germinação superior as sementes osmocondicionadas a -1,2 MPa (Tabela 6). Resultados semelhantes foram observados por Silva et al. (2016), que observaram efeito significativo do condicionamento osmótico na emergência de plântulas de soja (60%), oriundas de sementes condicionadas a -1,0 MPa. Entretanto, sob condição de estresse salino acentuado (-0,6 MPa) observou-se melhor desempenho das sementes osmocondicionadas a -1,0 MPa. O efeito do estresse salino foi prejudicial na germinação de sementes do controle e tratadas com PEG a -1,2 MPa.

	BMX Potência RR		
	0 MPa	-0,3 MPa	-0,6 MPa
Controle	92 Aa	87 ABa	38 Bb
-1,0 MPa	91 Aa	92 Aa	68 Aa
-1,2 MPa	86 Aa	81 Ba	32 Bb
CV (%)	6,5	6,0	30,7

Letras maiúsculas iguais nas colunas e letras minúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Tabela 6. Germinação (%) de sementes de soja cv. BMX Potência RR submetidas ao condicionamento osmótico com PEG 6000 e ao estresse salino com NaCl.

Resultados semelhantes foram observados para as sementes dos demais genótipos submetidos às soluções de NaCl. As sementes da cv. M 6210 IPRO não apresentaram diferenças significativas na germinação sem ou com NaCl (-0,3 MPa). Com o estresse por NaCl mais acentuado (-0,6 MPa), o osmocondicionamento a -1,0 MPa foi superior aos demais tratamentos (Tabela 7).

M 6210 IPRO			
	0 MPa	-0,3 MPa	-0,6 MPa
Controle	92 Aa	88 Aa	71 Bb
-1,0 MPa	87 Aa	93 Aa	91 Aa
-1,2 MPa	93 Aa	93 Aa	75 ABb
CV(%)	6,2	3,3	11,2

Letras maiúsculas iguais nas colunas e letras minúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Tabela 7. Germinação (%) de sementes de soja cv. M 6210 IPRO submetidas ao condicionamento osmótico com PEG 6000 e ao estresse salino com NaCl.

O condicionamento osmótico com PEG (6000) não influenciou a germinação das sementes cv. M 6410 IPRO submetidas às soluções salinas. No entanto, os resultados numéricos da germinação de sementes submetidas ao estresse salino (-0,6 MPa) indicam o efeito prejudicial dessa concentração na germinação de sementes (Tabela 8). Em situações de maior salinidade ocorre a redução do poder germinativo das sementes em função da restrição hídrica que ocorre devido ao acúmulo de íons de sais de sódio e cloro na região da rizosfera (Carvalho et al., 2012).

M 6410 IPRO			
	0 MPa	-0,3 MPa	-0,6 MPa
Controle	86 Aa	79 Aa	70 Aa
-1,0 MPa	83 Aa	83 Aa	74 Aa
-1,2 MPa	85 Aa	85 Aa	75 Aa
CV(%)	5,0	12,5	15,2

Letras maiúsculas iguais nas colunas e letras minúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Tabela 8. Germinação (%) de sementes de soja cv. M 6410 IPRO submetidas ao condicionamento osmótico com PEG 6000 e ao estresse salino com NaCl.

O efeito do condicionamento osmótico de sementes submetidas aos estresses abióticos foi observado em sementes de diversas espécies agrícolas. Em lotes de sementes de pepino osmocondicionadas com PEG (-0,1 MPa) o índice de velocidade de germinação foi superior (32,2) ao da testemunha (22,4) na temperatura de 20°C (subótima) (Lima e Marcos Filho, 2010). Sementes de sesbânia (*Sesbania virgata* (CAV.) PERS) condicionadas em solução osmótica de -0,2 MPa e submetidas ao envelhecimento apresentaram maior resultado de germinação e primeira contagem, em relação as sementes não envelhecidas (Masetto et al., 2013).

O efeito do condicionamento osmótico de sementes de soja em temperaturas sub e supra-ótimas foi significativo na germinação das sementes da cv. BMX Potência RR na

temperatura de 15°C (Tabela 9). As sementes osmocondicionadas a -1,0 MPa e o controle apresentaram, numericamente, o menor resultado de germinação na temperatura de 35°C. As sementes tratadas com PEG (-1,2 MPa) não apresentaram diferença significativa quanto à germinação nas temperaturas avaliadas.

BMX Potência RR			
	15°C	25°C	35°C
Controle	92 Aa	92 Aa	66 Ab
-1,0 MPa	88 ABa	91 Aa	60 Ab
-1,2 MPa	85 Ba	86 Aa	77 Aa
CV (%)	3,9	6,5	18,3

Letras maiúsculas iguais nas colunas e letras minúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Tabela 9. Germinação (%) de sementes de soja cv. BMX Potência RR submetidas ao condicionamento osmótico com PEG 6000 e ao estresse térmico.

Para as sementes da cv. M 6210 IPRO, a temperatura não influenciou a germinação das sementes (Tabela 10). O resultado médio de germinação nas temperaturas de 15°C e 25°C foi de 91% e, na temperatura de 35°C foi de 92%. As sementes tratadas com PEG (-1,0 MPa) apresentaram o menor resultado de germinação (87%) na temperatura de 25°C (controle), em relação às demais temperaturas. Entretanto, Rouhi et al. (2011) observaram elevados resultados de germinação de sementes de soja osmocondicionadas com PEG (-1,0 MPa) durante 12 horas na temperatura de 25 °C.

M 6210 IPRO			
	15 °C	25 °C	35 °C
Controle	87 Aa	92 Aa	93 Aa
-1,0 MPa	94 Aa	87 Ab	94 Aa
-1,2 MPa	91 Aa	93 Aa	90 Aa
CV(%)	4,8	6,2	3,7

Letras maiúsculas iguais nas colunas e letras minúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Tabela 10. Germinação (%) de sementes de soja cv. M 6210 IPRO submetidas ao condicionamento osmótico com PEG 6000 e ao estresse térmico.

A temperatura não influenciou a germinação das sementes pertencentes à cv. M 6410 IPRO (Tabela 11). Os resultados médios de germinação de sementes nas temperaturas de 15 °C, 25 °C e 35°C foram de, respectivamente, 82%, 85% e 62%. Sementes osmocondicionadas com PEG não apresentaram diferença significativa na germinação sob temperaturas avaliadas; no entanto, as sementes não tratadas apresentaram germinação superior nas temperaturas de 15°C e 25°C e sensibilidade à temperatura de 35°C (Tabela 11).

M 6410 IPRO			
	15 °C	25 °C	35 °C
Controle	84 Aab	86 Aa	61 Ab
-1,0 MPa	82 Aa	83 Aa	63 Aa
-1,2 MPa	81 Aa	85 Aa	63 Aa
CV(%)	6,0	5,0	22,8

Letras maiúsculas iguais nas colunas e letras minúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Tabela 11. Germinação (%) de sementes de soja cv. M 6410 IPRO submetidas ao condicionamento osmótico com PEG 6000 e ao estresse térmico.

O efeito do condicionamento osmótico de sementes de soja com PEG (6000), nas concentrações testadas, foi influenciado pelo genótipo. Ainda que as sementes de soja não diferissem nos resultados de germinação de estresse térmico, verificou-se resultados positivos com o osmocondicionamento na germinação de sementes submetidas ao estresse salino, sobretudo na concentração de -0,6 MPa.

CONCLUSÕES

O condicionamento osmótico com PEG (6000) influencia na condutividade elétrica de sementes de soja das cv. BMX Potência RR, M 6210 IPRO e M 6410 IPRO.

O condicionamento osmótico com PEG (-1,0 MPa) tem efeito benéfico na germinação de sementes cv. BMX Potência RR e M 6210 IPRO submetidas ao estresse salino com NaCl.

A germinação das sementes de soja submetidas às temperaturas sub e supra-ótimas não é influenciada pelo tratamento osmótico.

AGRADECIMENTOS

À UFGD e ao PPGAGRO. A terceira e quarta autoras agradecem ao CNPq pela bolsa de estudos. À Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul (Termo de Outorga: 133/2023 /SIAFEM: 33108).

REFERÊNCIAS

- ABID, ALI, S.; QI, L. K.; ZAHOOR, R.; TIAN, Z.; JIANG, D.; DALI, T. Physiological and biochemical changes during drought and recovery periods at tillering and jointing stages in wheat (*Triticum aestivum* L.). **Scientific Reports**, v. 8, n. 1, p. 1-15, 2018.
- AFZAL, I.; BASRA, S. M. A.; HAMEED, A.; FAROOQ, M. Physiological enhancements for alleviation of salt stress in wheat. **Pakistan Journal of Botany**, v. 38, n. 5, p. 1649-1659, 2006.
- ARMONDES, K, A, P; DIAS, D, C, F, S.; MARTINEZ, P, A, H.; SILVA, L, J.; HILST, P, C. Condicionamento osmótico e desempenho de sementes de repolho com diferentes níveis de vigor. **Horticultura Brasileira. Comunicação Científica**, v. 34, n. 3, p. 428-434, 2016.
- BARBOSA, M, R.; SILVA, M, M, A.; WILLADINO, L.; ULISSES, C.; CAMARA, T, R. Geração e desintoxicação enzimática de espécies reativas de oxigênio em plantas. **Ciência Rural**, v. 44, p. 453-460, 2014.
- BEWLEY, J. Derek. Seed germination and dormancy. **The Plant Cell**, v. 9, n. 7, p. 1055, 1997.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: Mapa/ACS, p. 395, 2009.
- CARVALHO, T. C.; SILVA, S. S.; SILVA, R. C.; PANOBIANCO, M. Germinação e desenvolvimento inicial de plântulas de soja convencional e sua derivada transgênica RR em condições de estresse salino. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.42, n.8, p.1366-1371, 2012.
- FERREIRA, D. F. SISVAR: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019.
- JELLER, H.; PEREZ, S. C. J. G. A. Condicionamento osmótico na germinação de sementes de cássia-do-nordeste sob estresse hídrico, térmico e salino. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 9, p. 1025-1034, 2003.
- JUHÁSZ, A. C. P.; PÁDUA, G. P.; WRUCK, D. S. M.; FAVORETO, L.; RIBEIRO, N. R. Desafios fitossanitários para a produção de soja. **Informe Agropecuário**, v. 34, n. 276, p. 66-75, 2013.
- KHAN, F. A.; MAQBOOL, R.; NARAYAN, S.; BHAT, S. A.; NARAYAN, R.; KHAN, F. U. Reversal of age-induced seed deterioration through priming in vegetable crops—a review. **Advances in Plants and Agriculture Research**, v. 4, n. 6, p. 1-9, 2016.
- KRZYZANOWSKI, F. C.; FRANÇA-NETO, J. de B.; HENNING, A. A. **A alta qualidade da semente de soja: fator importante para a produção da cultura**. Londrina: Embrapa Soja, 2018. 24 p. (Embrapa Soja. Circular Técnica, 136). Disponível em: < <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1091765>>. Acesso em: 19 ago. 2024.
- LEI, C.; BAGAYATHIANNAN, M.; WANG, H.; SHARPE, S. M.; MENG, W.; YU, J. (2021). Osmopriming with Polyethylene Glycol (PEG) for Abiotic Stress Tolerance in Germinating Crop Seeds: A Review. **Agronomy**, v. 11, n. 11, p. 2194, 2021.
- LIMA, L. B.; MARCOS FILHO, J. Condicionamento fisiológico de sementes de pepino e germinação sob diferentes temperaturas. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 32, p. 138-147, 2010.

- MAGUIRE, J. D. Seed of germination, aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, v.2, p.176-177, 1962.
- MARCOS FILHO, J. Teste de envelhecimento acelerado. In: KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. (Eds.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina-PR: ABRATES, 1999. p.3-1 a 3-24.
- MARCOS FILHO, J. Seed vigor testing: an overview of the past, present and future perspective. **Scientia agricola**, v. 72, p. 363-374, 2015.
- MASETTO, T. E.; FARIA, J. M. R.; FRAIZ, A. C. R.; REZENDE, R. K. S. Condicionamento osmótico de sementes de *Sesbania virgata* (CAV.) PERS (*Fabaceae*). **Cerne**, v.19, n.4, p.629-636, 2013.
- MASETTO, T. E.; SCALON, S. D. P. Q.; REZENDE, R. K. S.; OBA, G. C.; GAMBATTI, M.; PATRÍCIO, V. S. Germinação de sementes de *Dimorphandra mollis* Benth.: efeito de salinidade e condicionamento osmótico. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 12, n. 3, 2014.
- NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados no desempenho das plântulas. In: KRZYZANOSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999. p. 224.
- NUNES, U. R.; REIS, M. S.; DEL GIÚDICE, M. P.; SEDYIAMA, C. S.; SEDYIAMA, T. Embebição e qualidade fisiológica de sementes de soja submetidas ao condicionamento osmótico e condicionamento seguido de secagem. **Ceres**, v. 51, n. 293, 2015.
- OLIVEIRA, F. D. A. D.; MEDEIROS, J. F. D.; DE OLIVEIRA, M. K.; SOUZA, A. A.; FERREIRA, J. A.; SOUZA, M. S. Francisco de A. de et al. Interação entre salinidade e bioestimulante na cultura do feijão caupi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 465-471, 2013.
- PAPARELLA, S.; ARAÚJO, S. S.; ROSSI, G.; WIJAYASINGHE, M.; CARBONERA, D.; BALESTRAZZI, A. Seed priming: state of the art and new perspectives. **Plant Cell Reports**, v. 34, n. 8, p. 1281-1293, 2015.
- PENHA, L. A.; FONSECA, I. D. B.; MANDARINO, J. M.; BENASSI, V. D. T. **A soja como alimento: valor nutricional, benefícios para a saúde e cultivo orgânico**. Embrapa Soja-Artigo de divulgação na mídia (INFOTECA-E), 2014.
- PEREIRA, L. S.; MASETTO, T. E. Water uptake dynamics in soybean seeds: influence in seeds performance and DNA integrity. **Ciência Rural**, v. 51, n. 3, e20200212, 2021.
- ROUHI, H. R.; SURKI, A. A.; SHARIF-ZADEH, F.; AFSHARI, R. T.; ABOUTALEBIAN, M. A.; AHMADYAND, G. Study of different priming treatments on germination traits of soybean seed lots. **Notulae Scientia Biologicae**, v. 3, n. 1, p. 101-108, 2011.
- ROYCHOUDHURY, A.; CHAKRABORTY, M. Base bioquímica e molecular da diferença varietal na tolerância ao sal vegetal. **Pesquisa Anual & Revisão em Biologia**, p. 422-454, 2013.
- SAFDAR, H.; AMIN, A.; SHAFIQ, Y.; ALI, A.; YASIN, R.; SHOUKAT, A.; SARWAR, M. I. A review: Impact of salinity on plant growth. **Nature and Science**, v. 17, n. 1, p. 34-40, 2019.

SILVA, T. A. D.; SILVA, P. B. D.; SILVA, E. A. A. D.; NAKAGAWA, J.; CAVARIANI, C. Condicionamento fisiológico de sementes de soja, componentes de produção e produtividade. **Ciência Rural**, v. 46, p. 227-232, 2016.

SEDIYAMA, C. A. Z.; REIS, M. S.; SEDIYAMA, C. S.; DIAS, M. A.; SEDIYAMA, T.; SANTOS DIAS, D. C. F. Qualidade fisiológica de sementes de cultivares de soja por meio do condicionamento osmótico. **Comunicata Scientiae**, v. 3, n. 2, p. 90-97, 2012.

SZCZERBA, A.; PLAZEK, A.; PASTUSZAK, J.; KOPEÉ, P.; HORNÝÁK, M.; DUBERT, F. Effect of low temperature on germination, growth, and seed yield of four soybean (*Glycine max* L.) cultivars. **Agronomy**, v. 11, n. 4, p. 800, 2021.

TUNES, L. V. M.; ALMEIDA, A. S.; CAMARGO, T. O.; SUÑE, A. S.; RODRIGUES, D. B.; MARTINS, A. B. N.; SILVA, A. F. Metodologia alternativa para o teste de germinação em sementes de soja tratada. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 6, p. 41223-41240, 2020.

VIEIRA, R. D.; KRZYZANOWSKI, F. C. Teste de condutividade elétrica. In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. (Eds.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina-PR: ABRATES, 1999. p. 4-1 a 4-26.