



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA
MESTRADO EM FITOTECNIA

ANA ALESSANDRA DA COSTA

**OSMOPROTEÇÃO NA GERMINAÇÃO DA CHIA (*Salvia hispanica* L.) COM
ATENUADORES DOS ESTRESSES HÍDRICO E SALINO**

MOSSORÓ

2019

ANA ALESSANDRA DA COSTA

**OSMOPROTEÇÃO NA GERMINAÇÃO DA CHIA (*Salvia hispanica* L.) COM
ATENUADORES DOS ESTRESSES HÍDRICO E SALINO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Mestre em Fitotecnia.

Linha de Pesquisa: Tecnologia de Sementes

Orientador: Prof. Dr. Salvador Barros Torres

Coorientadora: Profa. Dra. Emanoela Pereira de Paiva

MOSSORÓ

2019

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

C837o Costa, Ana Alessandra da.
Osmoproteção na germinação da chia (*Salvia hispanica* L.) com atenuadores dos estresses hídrico e salino / Ana Alessandra da Costa. - 2019.
76 f. : il.

Orientador: Salvador Barros Torres.
Coorientadora: Emanoela Pereira de Paiva.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em Fitotecnia, 2019.

1. Lamiaceae. 2. Estresse abiótico. 3. Déficit hídrico. 4. Salinidade. I. Torres, Salvador Barros, orient. II. Paiva, Emanoela Pereira de , co-orient. III. Título. |

**OSMOPROTEÇÃO NA GERMINAÇÃO DA CHIA (*Salvia hispanica* L.) COM
ATENUADORES DOS ESTRESSES HÍDRICO E SALINO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Mestre em Fitotecnia.

Linha de Pesquisa: Tecnologia de Sementes

Defendida em: 21 / 02 / 2019.

BANCA EXAMINADORA



Salvador Barros Torres, Prof. Dr. (EMPARN/UFERSA)
Presidente



Emmanoela Pereira de Paiva, Profa. Dra. (UFERSA)
Coorientadora



Francisco Vanies da Silva Sá, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador



Haynna Fernandes Abud, Profa. Dra. (UFC)
Membro Examinador

À minha família pelo apoio, incentivo e presença constante.

Dedico!

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela força e sabedoria a mim concedida e por tornar possível a realização de mais esse sonho em minha vida.

Aos meus pais, Maria da Conceição e José Waldenor, pela presença constante e todo o apoio durante esse período.

Aos meus irmãos Marta Andriely, Alexsandro Rafael e José Walqueline, pelo incentivo e encorajamento.

À minha irmã Josefa Waldenora e ao meu cunhado, Ronaldo Adriano, por estarem sempre dispostos a colaborar, pelo carinho e cuidado comigo.

Ao meu orientador, Salvador Barros Torres, pela oportunidade de fazer parte de seu grupo de pesquisa, pelos ensinamentos recebidos, pela compreensão quando necessário e por todo o esforço empreendido na execução deste trabalho.

À minha coorientadora, Emanoela Pereira de Paiva, pelos ensinamentos e pelas contribuições em todas as etapas de execução do projeto de pesquisa que resultou nesta dissertação.

Aos bolsistas do Laboratório de Análises de Sementes (LAS/UFERSA), Moadir Leite, Kleane Targino e Maria Lília, pela disposição e colaboração com a montagem dos experimentos, coleta de dados e análises.

Aos funcionários do LAS/UFERSA, Sara Monaliza Costa Carvalho, Francisco César de Góis e Raimundo Nonato Monteiro, pela ajuda sempre que requisitada.

À Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), por me conceder a oportunidade de dar continuidade à minha formação acadêmica e profissional.

À Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) e ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia (PPGF/UFERSA) pela oportunidade de cursar o Mestrado em um programa de pós-graduação tão bem conceituado e com a qualidade do PPGF/UFERSA.

A todos, meus agradecimentos, muito obrigada!

“Aprender é a única coisa de que a mente nunca tem medo, nunca se cansa e nunca se arrepende”.

Leonardo da Vinci

RESUMO

Salvia hispanica L. é uma espécie herbácea anual cujo principal meio de propagação é por sementes. No Brasil, o cultivo de *S. hispanica* é recente e as informações a respeito do manejo da cultura, principalmente no tocante à germinação das sementes em condições ambientais adversas, são escassas. Com isso, diferentes substâncias atenuadoras vêm sendo estudadas por apresentarem potencial na mitigação de efeitos dos estresses abióticos na fase de germinação, sendo essenciais para o estabelecimento e adaptação dessa cultura às condições climáticas brasileiras. Dessa forma, objetivou-se avaliar a ação de diferentes agentes como atenuadores do estresse hídrico e salino na germinação e desenvolvimento inicial da *S. hispanica*. O trabalho foi dividido em dois experimentos, sendo as sementes previamente embebidas com diferentes substâncias atenuadoras e submetidas a estresse hídrico (Experimento I) e a estresse salino (Experimento II). Em ambos os experimentos, o delineamento experimental utilizado foi inteiramente ao acaso em esquema fatorial 5 x 5 (sendo 5 atenuadores de estresse e 5 potenciais osmóticos). O trabalho foi realizado utilizando-se quatro repetições de 50 sementes para cada tratamento. Os tratamentos consistiram na pré-embebição das sementes em ácido salicílico (1 mM.L⁻¹), ácido giberélico (0,4 mM.L⁻¹), peróxido de hidrogênio (20 mM.L⁻¹), água destilada e sem embebição (controle). Após 4 horas de embebição, as sementes foram semeadas sobre duas folhas de papel mata-borrão previamente umedecidas com soluções de PEG 6000 (Experimento I) e NaCl (Experimento II) sob os potenciais osmóticos 0,0; -0,1; -0,2; -0,3 e -0,4 MPa. As variáveis analisadas foram: porcentagem de germinação, IVG, comprimento da parte aérea e da raiz primária, massa seca total, açúcares solúveis totais, aminoácidos livres totais e prolina. Os dados foram submetidos à análise de variância (p<0,05) e, em caso de significância, foi aplicado o teste de Tukey (p<0,05) para os atenuadores e regressão polinomial (p<0,05) para os níveis de potencial osmótico e para a interação. Para o experimento I, os ácidos giberélico e salicílico mitigaram o efeito do estresse hídrico na fase de germinação e desenvolvimento inicial de *S. hispanica*. No estresse salino (Experimento II), foi verificado efeito atenuador apenas do ácido salicílico. Para os dois experimentos, os ácidos giberélico e salicílico proporcionaram incrementos na germinação, no vigor e na composição bioquímica de plântulas, sendo eficientes na mitigação de efeitos do estresse hídrico e salino em sementes de *S. hispanica*.

Palavras-chave: Lamiaceae; Estresse abiótico; Déficit hídrico; Salinidade.

ABSTRACT

Salvia hispanica L. is an annual herbaceous species whose main means of propagation is by seeds. In Brazil, the cultivation of *S. hispanica* is recent and the information about crop management, especially regarding seed germination under adverse environmental conditions, is scarce. Thus, different attenuating substances have been studied because they present potential in mitigating the effects of the abiotic stresses in the germination, being essential for the establishment and adaptation of this crop to the Brazilian climatic conditions. Thus, the objective of this study was to evaluate the action of different agents as attenuators of water and saline stress on germination and initial development of *S. hispanica*. The work was divided in two experiments, the seeds being previously soaked with different attenuating substances and submitted to water stress (Experiment I) and salt stress (Experiment II). In both experiments, the experimental design was completely randomized in a 5 x 5 factorial scheme (5 stress attenuators and 5 osmotic potentials). The work was carried out using four replicates of 50 seeds for each treatment. The treatments consisted of pre-soaking the seeds in salicylic acid (1 mM.L⁻¹), gibberellic acid (0.4 mM.L⁻¹), hydrogen peroxide (20 mM.L⁻¹), distilled water and without imbibition (control). After 4 hours of imbibition, the seeds were seeded on two sheets of blotting paper previously moistened with solutions of PEG 6000 (Experiment I) and NaCl (Experiment II) under osmotic potentials 0.0; -0.1; -0.2; -0.3 and -0.4 MPa. The analyzed variables were germination percentage, IVG, shoot length and primary root length, total dry mass, total soluble sugars, total free amino acids and proline. Data were submitted to analysis of variance ($p < 0.05$) and Tukey's test ($p < 0.05$) for the attenuators and polynomial regression ($p < 0.05$) for the osmotic potential and for interaction. For the experiment I, the gibberellic and salicylic acids mitigated the effect of water stress in the germination and early development stages of *S. hispanica*. In saline stress (Experiment II), we observed attenuating effect only of salicylic acid. For the two experiments, the gibberellic and salicylic acids provided increases in germination, vigor and biochemical composition of seedlings, being efficient in mitigating the effects of saline and water stress on *S. hispanica* seeds.

Keywords: Lamiaceae; Abiotic stress; Water deficit; Salinity.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 2

- Figura 1-** Germinação (A) e índice de velocidade de germinação- IVG (B) de sementes de *Salvia hispanica* L. submetidas a diferentes atenuadores e potenciais hídricos. 30
- Figura 2-** Comprimento da parte aérea- CPA (A), comprimento da raiz- CR (B) e massa seca total de plântulas (C) de *Salvia hispanica* L. submetidas a diferentes atenuadores e potenciais hídricos. 33
- Figura 3-** Teores de aminoácidos livres totais (A), prolina (B) e açúcares solúveis totais (C) de plântulas de *Salvia hispanica* L. submetidas a diferentes atenuadores e potenciais hídricos. 37

CAPÍTULO 3

- Figura 1-** Germinação (A) e índice de velocidade de germinação- IVG (B) de sementes de *Salvia hispanica* L. submetidas a diferentes atenuadores e potenciais osmóticos.....52
- Figura 2-** Comprimento da parte aérea- CPA (A), comprimento da raiz- CR (B) e massa seca total de plântulas (C e D) de *Salvia hispanica* L. submetidas a diferentes atenuadores e potenciais osmóticos. 55
- Figura 3-** Teores de açúcares solúveis totais (A), prolina (B) e aminoácidos livres totais(C) de plântulas de *Salvia hispanica* L. submetidas a diferentes atenuadores e potenciais osmóticos. 57

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2

Tabela 1- Resumo da análise de variância das variáveis porcentagem de germinação (PG), índice de velocidade de germinação (IVG), comprimento da parte aérea (CPA), comprimento da raiz (CR), massa seca total (MST), aminoácidos, prolina e açúcares de plântulas de *Salvia hispanica* L. germinadas sob diferentes atenuadores e potenciais hídricos..... 29

CAPÍTULO 3

Tabela 1- Resumo da análise de variância das variáveis porcentagem de germinação (PG), índice de velocidade de germinação (IVG), comprimento da parte aérea (CPA), comprimento da raiz (CR), massa seca total (MST), aminoácidos, prolina e açúcares de plântulas de *Salvia hispanica* L. germinadas sob diferentes atenuadores e potenciais osmóticos..... 51

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1- INTRODUÇÃO GERAL E REFERENCIAL TEÓRICO	1
1 INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO	3
2.1 CHIA: ORIGEM E IMPORTÂNCIA	3
2.2 ESTRESSES ABIÓTICOS	4
2.2.1 ESTRESSE HÍDRICO NA GERMINAÇÃO	5
2.2.2 ESTRESSE SALINO NA GERMINAÇÃO	7
2.3 ATENUADORES DE ESTRESSE ABIÓTICO	9
REFERÊNCIAS	13
CAPÍTULO 2- OSMOPROTEÇÃO EM SEMENTES DE CHIA (<i>Salvia hispanica</i> L.) SOB ATENUADORES DO ESTRESSE HÍDRICO	23
RESUMO	23
1 INTRODUÇÃO	24
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	26
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
4 CONCLUSÕES	40
REFERÊNCIAS	40
CAPÍTULO 3- GERMINAÇÃO E ACÚMULO DE SOLUTOS EM <i>Salvia hispanica</i> L. SUBMETIDA A ATENUADORES DO ESTRESSE SALINO	45
RESUMO	45
1 INTRODUÇÃO	46
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	48
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
4 CONCLUSÕES	60
REFERÊNCIAS	60
CONSIDERAÇÕES FINAIS	65

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO GERAL E REFERENCIAL TEÓRICO

1 INTRODUÇÃO GERAL

Salvia hispanica L. é uma planta herbácea anual da família Lamiaceae, nativa do sul do México e do norte da Guatemala (BUENO et al., 2010). Esta espécie é também conhecida como “sálvia espanhola”, “artemisa espanhola”, “chia mexicana”, “chia negra” ou simplesmente “chia”(CHÁVEZ et al., 2008).

O consumo de sementes de *S. hispanica* vem aumentando desde o início do século XXI, principalmente devido às suas qualidades nutricionais (JEONG et al., 2010). Elas possuem níveis elevados de proteínas, carboidratos, vitaminas, minerais e antioxidantes (IXTAINA et al., 2008), além de serem uma fonte natural de ácido linoleico (ω -6) e α -linolênico (ω -3) (AYERZA; COATES, 2006). Estes atributos tornam a *S. hispanica* um importante aliado da saúde, apresentando propriedades anti-inflamatórias, antitrombóticas, anti-tumorais, cardioprotetora e, na medida em que possuem alto teor de fibras, auxiliam no funcionamento normal do intestino (JEONG et al., 2010; ALI et al., 2012).

No Brasil, ainda é recente o cultivo de *S. hispanica*, razão pela qual são poucas as informações relacionadas às práticas culturais, exigências nutricionais e manejo da cultura nos climas e solos brasileiros, principalmente no tocante à tecnologia de sementes e seu cultivo em regiões semiáridas (MIGLIAVACCA et al., 2014).

Dentre os fatores abióticos, o déficit hídrico e a salinidade estão entre os mais relevantes para a germinação das sementes. Estes, normalmente, provocam efeitos negativos sobre a germinação (MARCOS-FILHO, 2015) e, conseqüentemente, afetam as demais etapas do crescimento pós-germinativo (TAIZ et al., 2017). Esses estresses são ainda mais severos quando se trata de sementes pequenas como as de *S. hispanica*, pois a quantidade de reserva presente é um dos entraves que essa espécie enfrenta quando cultivada em ambientes desfavoráveis (MIGLIAVACCA et al., 2014).

A capacidade das plantas de tolerar condições de estresse é determinada por mecanismos complexos envolvendo múltiplas vias bioquímicas e fisiológicas. Essas vias levam à síntese de metabólitos ativos capazes de controlar o fluxo de íons e água (ESTEVEZ; SUZUKI, 2008). A fim de lidar com a desidratação e estresse osmótico, as plantas sintetizam e acumulam metabólitos, “osmoprotetores”, que ajudam a suportar a

pressão osmótica e manter o turgor e o gradiente de condução para absorção de água. Osmoprotetores incluem compostos de baixo peso molecular, como aminoácidos, polióis, açúcares e metilaminas. Estes metabólitos compatíveis estabilizam a estrutura das enzimas, membranas celulares e outros componentes celulares durante a exposição ao estresse (GOLEC, 2011).

Vários trabalhos têm relatado o resultado benéfico do uso de atenuadores em sementes sob condições abióticas (HE et al., 2009; DE LA ROSA et al., 2012; TURKYILMAZ, 2012; ANSARI et al., 2013; TIAN et al., 2014; KILIC; KAHRAMAN, 2016; JINI; JOSEPH, 2017; ANAYA et al., 2018; TSEGAY; ANDARGIE, 2018). Diferentes substâncias químicas, incluindo hormônios vegetais sintéticos, têm sido utilizados no pré-tratamento de sementes. No entanto, a eficácia destes diferentes agentes primários varia sob diferentes tensões, bem como entre espécies de culturas. Os atenuadores normalmente são membros ativos da cascata de sinais envolvidos na indução de respostas ao estresse das plantas, tendo ganhado muita atenção em todo o mundo devido à sua capacidade de mitigar os efeitos adversos do estresse abiótico (TSEGAY; ANDARGIE, 2018).

Apesar do aumento considerável de conhecimentos relativos à utilização de sementes de *S. hispanica* para fins medicinais e condimentares, as informações sobre o processo germinativo de sementes desta espécie ainda são escassas e insuficientes se comparadas com as espécies ornamentais e hortaliças. Estudos sobre esta espécie são importantes não apenas quanto à qualidade nutricional, como também sobre a qualidade fisiológica de suas sementes, a fim de fornecer conhecimento que permita a elucidação do seu processo germinativo, sobretudo quando relacionado ao uso de atenuadores que minimizem os danos causados por estresses abióticos durante a germinação (STEFANELLO et al., 2015a).

Desse modo, objetivou-se avaliar a ação de diferentes agentes como atenuadores de estresse hídrico e salino sob a germinação e composição bioquímica de plântulas de *S. hispanica*.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 CHIA: ORIGEM E IMPORTÂNCIA

Chia (*Salvia hispanica* L.) é uma planta herbácea anual pertencente à família Lamiaceae (ALI et al., 2012), que apresenta cerca de 170 gêneros e 3.000 espécies, com ampla distribuição em regiões tropicais e temperadas. O gênero *Salvia* é considerado o mais numeroso dessa família, incluindo 900 espécies que se distribuem extensamente por várias regiões do mundo, incluindo o Sul da África, América Central, América do Norte, América do Sul e Ásia Sul-Oriental (BUENO et al., 2010).

Nativa do sul do México e do norte da Guatemala, a *S. hispanica* foi uma cultura bastante importante na Mesoamérica no período pré-colombiano junto com o milho, o feijão e o amaranto (CHÁVEZ et al., 2008). Suas sementes foram utilizadas durante séculos como alimento pelos índios do oeste e do sul do México. No entanto, há cerca de 500 anos, os colonizadores espanhóis proibiram seu cultivo e o substituíram por culturas exóticas (trigo e cevada) trazidas da Europa (CAHILL, 2003; AYERZA; COATES, 2005). Desde então, o cultivo da *S. hispanica* sobreviveu apenas em áreas montanhosas e isoladas do México e da Guatemala, permanecendo até os dias de hoje (JIMÉNEZ, 2010).

A semente de *S. hispanica* é composta basicamente por proteínas (15-25%), lipídeos (30-33%), fibras altamente dietéticas (18-30%), carboidratos (26-41%), cinzas (4-5%), minerais, vitaminas e matéria seca (90-93%). Também apresenta quantidade elevada de componentes antioxidantes (IXTAINA et al., 2008) e é rica em ácido linoleico e α -linolênico, que representam a maior fonte natural de ácidos graxos ômega 6 e 3 (AYERZA et al., 2006).

Atualmente, a *S. hispanica* é cultivada comercialmente na Austrália, Bolívia, Colômbia, Guatemala, México, Peru e Argentina (BUSILACCHI et al., 2013). O maior produtor é o México, de onde se exportam quantidades crescentes de sementes para o Japão, Estados Unidos e Europa (JIMÉNEZ, 2010).

Em virtude de suas qualidades, a semente de *S. hispanica* é tradicionalmente consumida no México, no sudoeste dos EUA e na América do Sul, mas não é amplamente conhecida na Europa. No entanto, em 2009 a União Européia aprovou as sementes desta espécie como um alimento novo, permitindo o percentual de até 5% na composição do pão (COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES, 2009). As sementes de *S. hispanica* têm sabor leve, podendo ser consumidas inteiras ou

moídas, “*in natura*” ou após terem sido maceradas, adicionadas diretamente a frutas, iogurtes e saladas ou em preparações como bolos, biscoitos, barras alimentícias e sopas (PECININ, 2014). Desse modo, ela vem sendo reintroduzida na dieta, principalmente durante o processo de reeducação alimentar, visando à melhoria da saúde humana (CAHILL, 2003).

No Brasil, a *S. hispanica* encontra condições favoráveis para o cultivo, chegando a atingir produtividade de 800 kg.ha⁻¹. As regiões do oeste paranaense, noroeste do Rio Grande do Sul e Mato Grosso do Sul começaram a investir no seu cultivo, obtendo resultados bastante promissores, apesar da falta de cultivares adaptadas a estas regiões, além da inexistência de informações sobre o manejo da cultura (MIGLIAVACCA et al., 2014). Além dessas regiões que já praticam o cultivo da chia, outras de diferentes condições ambientais devem ser testadas, sendo necessárias pesquisas para averiguar o comportamento dessa espécie frente aos ambientes de estresses abióticos.

2.2 ESTRESSES ABIÓTICOS

As plantas são constantemente submetidas a vários estresses abióticos que afetam negativamente o crescimento e a produtividade (HOUSSAIN et al., 2015). Na natureza, condições ambientais adversas, como temperatura, seca, salinidade, etc., estão entre as principais causas do declínio na produtividade das culturas em todo o mundo e provocam a perda de bilhões de dólares anualmente (DHANKHER; FOYER, 2018).

Os estresses ambientais aos quais as plantas estão expostas exercem influência desvantajosa sobre estas, principalmente durante a germinação. A indução de tolerância em sementes em condições abióticas é imprescindível à adaptação de uma espécie a um ambiente desfavorável e constitui forte requisito para sua sobrevivência, tornando-se importante compreender os processos fisiológicos subjacentes aos danos provocados por esses estresses, bem como os mecanismos de adaptação das plantas aos danos de ordem ambiental (TAIZ et al., 2017).

Durante o curso de sua evolução, as plantas desenvolveram mecanismos sofisticados para reconhecer sinais externos, permitindo-lhes responder adequadamente às condições ambientais, embora o grau de ajustabilidade ou tolerância a estresses específicos se diferencie de uma espécie para outra (HOUSSAIN et al., 2015). Os efeitos do estresse diferem durante o ciclo de vida do vegetal de modo que aqueles verificados em sementes nem sempre são os mesmos observados em plantas. Em outras

palavras, sob qualquer estresse ambiental exercido, o efeito vai depender de cada organismo, da sua adaptação, dose e duração da exposição do indivíduo a este fator (KRANNER et al., 2010).

Entre os estresses abióticos, o déficit hídrico e a salinidade são os principais fatores que reduzem a produtividade das culturas no mundo (FAGIERA et al., 2011). O estresse hídrico, segundo estimativas, poderá limitar a produtividade de mais da metade das terras agricultáveis no mundo nos próximos 50 anos (DHANKHER; FOYER, 2018). Já o estresse salino é um dos agentes abióticos estressores mais estudados pela comunidade científica, o que se comprova pela grande produção literária em torno desta temática (REIS, 2012).

A disponibilidade hídrica, a salinidade e as condições adversas do solo são drasticamente influenciadas pelas mudanças climáticas, que, por sua vez, impactam severamente sobre os organismos vegetais (AKULA; RAVISHANKAR, 2011). Uma melhor compreensão dos mecanismos por meio dos quais as plantas são capazes de lidar e aliviar as tensões ambientais é essencial para os produtores rurais desenvolverem estratégias eficientes para manter a produtividade agrícola atual e para assegurar uma agricultura sustentável (LU et al., 2018).

2.2.1 ESTRESSE HÍDRICO NA GERMINAÇÃO

A disponibilidade de água é um dos fatores essenciais para desencadear a germinação, uma vez que está envolvida direta e indiretamente em todas as etapas do metabolismo germinativo. A água atua como agente estimulador e controlador, pois, além de promover o amolecimento do tegumento, favorece a penetração do oxigênio, proporciona aumento no volume do embrião e dos tecidos de reserva, estimula as atividades metabólicas básicas, favorecendo o crescimento do eixo embrionário (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012; MARCOS-FILHO, 2015).

Para germinar, as sementes devem atingir um teor mínimo de umidade, que é muito variável entre as espécies e demora mais para ser atingido quando o potencial hídrico do substrato é mais baixo (BRADFORD, 1995). Potenciais hídricos mais negativos no meio reduzem o fluxo de água para a célula, até o ponto extremo no qual a difusão de água através do simplasto cessa e o processo de germinação é diretamente afetado (SOUZA; CARDOSO, 2000). Dessa forma, no processo germinativo, ficou estabelecido que potenciais hídricos muito negativos, especialmente no início da

embebição, influenciam a absorção de água pelas sementes, podendo, assim, inviabilizar a sequência de eventos que culminam com a emergência das plântulas (BANSAL et al., 1980).

A germinação das sementes sob deficiência hídrica tem se mostrado dependente da espécie ou do cultivar, da qualidade fisiológica e do tamanho das sementes (MARTINELLI et al., 2000). Para cada espécie, existe um valor de potencial hídrico minimamente necessário no solo, abaixo do qual a germinação não ocorre (LOPES; MACEDO 2008). Assim, a deficiência hídrica geralmente é considerada o fator limitante da germinação de sementes não dormentes, afetando a porcentagem, a velocidade e a uniformidade de germinação (MARCOS-FILHO, 2015). A redução do processo germinativo das sementes submetidas ao estresse hídrico é comumente atribuída à diminuição das atividades enzimáticas e, conseqüentemente, à redução do desenvolvimento meristemático (TEIXEIRA et al., 2011).

Estudos com sementes têm sido conduzidos sob condições de deficiência hídrica, utilizando-se soluções osmóticas para simular um ambiente com pouca umidade. O efeito dessas soluções depende tanto do soluto utilizado, em um mesmo potencial osmótico, quanto da espécie (CUSTÓDIO et al., 2009). Diversos compostos químicos têm sido utilizados na simulação de estresse hídrico, destacando-se o polietilenoglicol (PEG) 6000. Trata-se de um agente osmótico sem efeitos adversos para as sementes, por ser quimicamente inerte, atóxico, de elevado peso molecular e, portanto, de difícil absorção, proporcionando a embebição lenta e controlada das sementes (VILLELA et al., 1991; MORAES; MENEZES, 2003).

O PEG 6000 foi utilizado por Simon et al. (2017) para avaliar o efeito do estresse hídrico na germinação e vigor de sementes de *S. hispanica* sob os seguintes potenciais osmóticos: 0,0; -0,2; -0,4; -0,8 e -1,0 MPa. Em todos os potenciais utilizados, a porcentagem de germinação de plântulas normais foi inferior a testemunha (0,0 MPa). Os parâmetros de vigor avaliados também foram reduzidos com o decréscimo do potencial osmótico das soluções, sendo -0,2 MPa o limite de tolerância encontrado nesse trabalho, valor abaixo do qual a germinação das sementes não ocorreu. Do mesmo modo, Stefanello et al. (2017), avaliando a resposta fisiológica de sementes de *S. hispanica* e de linhaça ao estresse hídrico, concluíram que as sementes de *S. hispanica* não toleram potenciais osmóticos iguais ou inferiores a -0,15 MPa. Os autores verificaram que a partir desse potencial houve redução acentuada na germinação das sementes, alcançando valores inferiores a 50%. Verificou-se também redução da

percentagem de plântulas normais e da velocidade de germinação com o decréscimo do potencial hídrico da solução.

O estresse hídrico é um fator limitante à iniciação da germinação de sementes e estabelecimento de plântulas no campo porque afeta diretamente as relações hídricas em sementes e subsequente desenvolvimento de plântulas, implicando direta ou indiretamente em todas as demais etapas do metabolismo, incluindo reativação do ciclo celular e crescimento (CASTRO et al., 2000). Portanto, a capacidade das sementes de algumas espécies germinarem sob condições de estresse hídrico confere vantagens ecológicas em relação a outras que são sensíveis à seca (ROSA et al., 2005).

2.2.2 ESTRESSE SALINO NA GERMINAÇÃO

O termo salinidade é usado para descrever a acumulação excessiva de sais na solução do solo. O estresse por salinidade tem dois componentes: estresse osmótico (que causa déficits hídricos) e efeitos iônicos resultantes da acumulação de íons tóxicos, que perturba a aquisição de nutrientes e resulta em citotoxicidade (MUNNS; TESTER, 2008).

Fora da célula, as concentrações salinas elevadas podem resultar em estresse osmótico e, conseqüentemente, em déficits hídricos que afetam a absorção de água pelas células vegetais. Uma vez no citosol, certos íons, isolada ou cumulativamente, perturbam o status nutricional da planta provocando um desbalanço iônico. A acumulação citotóxica de íons Na^+ e Cl^- , isto é, quando os níveis citosólicos de Na^+ e Cl^- superam 100 mM, faz com que as altas concentrações desses sais causem a desnaturação de proteínas e a desestabilização de membranas, em virtude da redução da hidratação dessas macromoléculas (TAIZ et al., 2017).

Em sementes, o excesso de sais causa restrição da absorção de água devido à diminuição do potencial osmótico do substrato (CHAVES et al., 2009), retardando a embebição das sementes ou o alongamento da raiz, além de provocar toxicidade nos tecidos devido ao acúmulo em excesso dos íons Na^+ e Cl^- (ESTEVES; SUZUKI, 2008; GÓIS et al., 2008). A toxicidade iônica pode ainda ocasionar o atraso da emergência das plântulas e da mobilização de reservas ou até diminuir a viabilidade das sementes, por afetar processos fisiológicos e metabólicos dos tecidos embrionários (MUNNS; TESTER, 2008; VOIGT et al., 2009).

Um dos métodos mais usados para a determinação da tolerância aos sais é a porcentagem de germinação, assim como os testes de vigor, sob condições salinas, por meio do uso de soluções osmóticas. Essas avaliações são importantes para estimar o potencial das sementes no campo, em ambientes salinos (FARIAS et al., 2009).

A tolerância à salinidade durante a germinação é crítica para o estabelecimento de plantas cultivadas em solos salinos, principalmente em regiões semiáridas. Nestas regiões, a germinação ocorre durante a estação chuvosa, quando os níveis de salinidade no solo são usualmente reduzidos (EL-KEBLAWY, 2004). O alto teor de sais nesses solos, especialmente o cloreto de sódio, inibe a germinação devido à seca fisiológica, ao efeito osmótico com redução do potencial hídrico e ao efeito tóxico do cloreto de sódio devido ao aumento da concentração de íons no protoplasma das células e, particularmente, no embrião (BETONI et al., 2011; TOBE; OMASA, 2000).

Assim, as sementes sofrem influência significativa da condição de salinidade dos solos e da água. Além de afetar a germinação, o incremento na concentração salina provoca o aumento na porcentagem de plântulas anormais, em virtude da ação tóxica dos sais sobre as sementes. Esta redução do potencial hídrico e os efeitos tóxicos dos sais interferem inicialmente no processo de absorção de água pelas sementes, afetando posteriormente sua germinação e vigor (CAMPOS; ASSUNÇÃO, 1990; CAVALCANTE; PEREZ, 1995; LIMA et al., 2005).

A concentração salina que causa o atraso e a redução no número de sementes germinadas depende da tolerância ao sal de cada espécie (LARCHER, 2000). De acordo com Lima et al. (2005), em geral, a porcentagem e a velocidade de germinação das sementes são inversamente proporcionais ao aumento da salinidade, variando apenas o limite máximo de tolerância de cada espécie. A redução do poder germinativo, comparado ao controle, serve como indicador do índice de tolerância da espécie à salinidade. Desse modo, a habilidade para germinar indica também a tolerância das plantas aos sais em estádios subsequentes do desenvolvimento (TAIZ et al., 2017).

A resistência à salinidade é definida como a habilidade de evitar, por meio de uma regulação salina, que excessivas quantidades de sais provenientes do substrato alcancem o protoplasma (LARCHER, 2000). Dentre os mecanismos de tolerância, o aumento da concentração de compostos como prolina, polióis e açúcares serve para manter o potencial osmótico da célula compatível com a manutenção da estabilidade de algumas macromoléculas, proporcionando redução na perda de atividade enzimática ou

da integridade da membrana, que ocorrem quando existe estresse hídrico ou salino (FREIRE, 2000).

Estudos têm sido conduzidos para verificar a resposta das sementes à salinidade, fenômeno complexo envolvendo alterações morfológicas e de crescimento, além de processos fisiológicos e bioquímicos. A sobrevivência das plantas nessa condição pode exigir processos adaptativos envolvendo a absorção, o transporte e a distribuição de íons nos vários órgãos da planta, bem como a divisão de nutrientes minerais dentro das células (ZANANDREA et al., 2006; GARCIA et al., 2010). As alterações no metabolismo induzidas pela salinidade são resultados de várias respostas fisiológicas da planta, dentre as quais se destacam as modificações na germinação, crescimento, comportamento estomático e capacidade fotossintética (JAMIL et al., 2007).

Em pesquisas com *Salvia aegyptiaca*, verificou-se que a germinação das sementes foi inibida pela presença de 300 mM de NaCl (GORAI et al., 2011). O mesmo foi constatado por Rosa et al. (2015) em sementes de *Salvia splendens*, cujo limite de tolerância aos sais de NaCl foi até -0,85 MPa, abaixo desse potencial ocorreu a inibição tanto da viabilidade quanto do vigor das sementes. Em estudos realizados com *S. hispanica*, foi constatado efeito negativo sobre a germinação e a velocidade de germinação quando a salinidade atingiu -0,30 MPa (DAL'MASO et al., 2013; STEFANELLO et al., 2015b). Paiva et al. (2018) verificaram que níveis de salinidade superiores a -0,16 MPa reduziram a germinação, o vigor, o crescimento e os componentes bioquímicos de plântulas de *S. hispanica*, havendo respostas mais drásticas em níveis superiores a -0,32 MPa. De acordo com Stefanello et al. (2015b), o estudo da tolerância das sementes de *S. hispanica* à salinidade fornece informações valiosas sobre a propagação da espécie e pode auxiliar tanto na caracterização da cultura quanto na adequada recomendação para a semeadura nestas situações.

2.3 ATENUADORES DE ESTRESSE ABIÓTICO

Dentre os mecanismos de regulação aos estresses abióticos, encontram-se os hormônios vegetais, moléculas orgânicas que desempenham função de mensageiros químicos, responsáveis pela formação e crescimento de tecidos, bem como mediadoras de comunicação intercelular (TAIZ et al., 2017). Recentemente, verificou-se que esses grupos hormonais (giberelinas, ácido abscísico, citocininas, etileno e auxinas)

demonstram potenciais respostas e sinalização na atenuação aos danos abióticos (QIN et al., 2011).

As plantas, como organismos sésseis, regulam seu crescimento e desenvolvimento, por meio de estratégias, na tentativa de tolerar ambientes inóspitos, respondendo aos constantes estímulos e oscilações ambientais. Dentre as substâncias produzidas, os hormônios influenciam o crescimento, a diferenciação, a reprodução, o desenvolvimento e atuam na sinalização entre os órgãos vegetais, com eficientes mecanismos de defesa (PELEG; BLUMWALD, 2011). Esses compostos orgânicos são produzidos constitutivamente pelas plantas e têm seu nível incrementado em resposta aos estresses, funcionando como indutores de resistência (GONÇALVES et al., 2014).

Recentemente, outros compostos que podem afetar o crescimento e o desenvolvimento vegetal têm sido descritos, como, por exemplo, o ácido salicílico (GONÇALVES et al., 2014). De acordo com McCue et al. (2000), dentre os principais atenuadores de estresses abióticos, os ácidos orgânicos (salicílico, ascórbico e cítrico) se destacam.

O ácido salicílico está presente na maioria das plantas (SHI et al., 2006) e possui diversas funções, principalmente na germinação, na interferência da absorção de solutos pela raiz, na redução da transpiração e queda das folhas (ASHRAF et al., 2010). É também um regulador de crescimento endógeno de natureza fenólica, participando da regulação de processos fisiológicos nas plantas e também está relacionado com a resistência às doenças (SHI et al., 2006).

O acúmulo de ácido salicílico é um importante componente nos sinais de transdução das vias principais para a resistência sistêmica adquirida (SONG et al., 2004). Trata-se de um composto promissor na redução da sensibilidade dos cultivos aos estresses abióticos, como atenuador dos efeitos resultantes das condições ambientais estressantes, a exemplo da deficiência hídrica (MARDANI et al., 2012; FEITOSA et al., 2016).

O ácido salicílico desempenha papel fundamental na tolerância ao estresse hídrico e interesses consideráveis têm sido focados neste regulador, devido à sua capacidade de induzir efeitos de proteção em plantas submetidas ao estresse por escassez de água (AZOOZ; YOUSSEF, 2010). No contexto de proteção celular sob desidratação, o ácido salicílico destaca-se na medida em que favorece a proteção da integridade membranar do DNA e RNA, além de estar envolvido na regulação e sinalização das plantas frente aos demais estresses abióticos (MARDANI et al., 2012).

Relata-se que o uso de ácido salicílico em concentrações adequadas aumenta a capacidade fotossintética e, conseqüentemente, a produtividade da cultura. A resposta da planta a este hormônio depende das condições ambientais, cultivar, época e forma de aplicação e da concentração (NIVEDITHADEVI et al., 2012).

Em trabalhos realizados com ácido salicílico, Silva (2015) verificou o efeito do ácido salicílico como atenuador de estresse hídrico nas fases de germinação e crescimento inicial em gergelim. O autor concluiu que este hormônio, sob a concentração de 10^{-5} mol.L⁻¹, promoveu a indução de tolerância ao estresse hídrico durante a germinação, como também o maior crescimento radicular dos genótipos avaliados. O ácido salicílico também tem sido utilizado com sucesso na germinação de plantas medicinais sob estresse hídrico e térmico (CARVALHO et al., 2007) e na atenuação de estresse salino em forrageiras leguminosas (PIZOLATO NETO, 2016).

As giberelinas são um grupo de fitohormônio que concentram sua produção na zona apical dos frutos e nas sementes. São fitohormônios identificados também em fungos e bactérias, resultando em 136 compostos dessa classe conhecidos e catalogados com a sua nomenclatura. A classificação das giberelinas varia de GA1 a GA136, seguindo a ordem de descoberta. Os dois compostos, dentre as 136 giberelinas conhecidas que apresentam maior relevância são as GA1 e GA3 (ácido giberélico), cujos efeitos biológicos se tornaram comercialmente importantes (PINHEIRO, 2015).

O ácido giberélico age como um hormônio de crescimento, controlando a maioria dos processos de desenvolvimento na planta (RODRIGUES et al., 2009). Este fato o fez ganhar especial atenção devido aos seus efeitos benéficos na agricultura (PINHEIRO, 2015). Os principais efeitos fisiológicos das giberelinas são: indução da floração; expressão sexual com as auxinas; partenocarpia; atraso na senescência; auxílio na retenção da clorofila; superação da dormência em sementes; aceleração da germinação de sementes não-dormentes; aumento da hidrólise de reservas por meio da síntese de enzimas; superação da dormência de gemas e alongamento do caule pela ativação do meristema subapical normalmente inativo (LARCHER, 2000; TAIZ et al., 2017).

Em condições de estresse, o ácido giberélico tem sido pesquisado, apresentando resultados promissores. Em sementes de *Senna spectabilis*, a adição de 40 ppm desse produto atenuou parcialmente os efeitos dos estresses hídrico e salino (JELLER; PEREZ, 2001). Foi o mais eficiente na atenuação parcial dos efeitos do estresse salino em sementes de *Prosopis juliflora* (PEREZ; MORAES, 1994). Possibilitou a ampliação

do limite máximo de tolerância ao estresse hídrico em sementes de canafístula (BOTELHO; PEREZ, 2001), além de promover aumento significativo na emergência de plântulas de girassol em condições de estresse por alumínio quando utilizado sob a forma de bioestimulante vegetal (Stimulate[®]) (SANTOS et al., 2012).

Na planta, a produção de peróxido de hidrogênio (H₂O₂), uma espécie reativa de oxigênio (ERO), é gerada a partir do superóxido, que tem origem durante os processos envolvendo o transporte de elétrons, como a fotossíntese e a respiração mitocondrial (BOLWELL et al., 2002). Isso ocorre normalmente durante a vida da planta, funcionando como agente sinalizador para diversos processos (BAILLY et al., 2008). Essa molécula pode ser produzida como resposta a vários tipos de estresse, tanto bióticos quanto abióticos (NEILL et al., 2002).

Em sementes, espécies reativas de oxigênio são comumente vistas como moléculas tóxicas e seu acúmulo pode provocar lesão celular e distúrbios nos processos de desenvolvimento e germinação (BAILLY, 2004). No entanto, concentrações de peróxido de hidrogênio têm sido utilizadas como estimulante do processo germinativo (BARBA-ESPIN, et al., 2010). Altos níveis de H₂O₂ podem causar danos severos às células, interferindo em diversos processos metabólicos dos vegetais, porém em baixas concentrações esta molécula pode agir como sinalizador da germinação e da tolerância ao estresse (BAILLY et al., 2008).

O peróxido de hidrogênio é, nas plantas, responsável por regular e induzir processos como aclimação, defesa e desenvolvimento (NEILL et al., 2002). Este apresenta estabilidade e alta capacidade de difusão por meio das membranas, atua como mensageiro secundário, causando modificações protéicas e alterações na expressão gênica em vegetais submetidos a condições de estresse (BIENERT et al., 2006). Essa substância também está associada a mecanismos que provocam alongamento celular, o que permite a expansão dos tecidos através da ativação dos fluxos de Ca²⁺, podendo estimular o processo de germinação das sementes (GONDIM et al., 2010).

Em sementes pré-tratadas, a aplicação exógena de H₂O₂ aumentou a resistência de plântulas de milho ao calor, frio, seca e salinidade, o que sugere que o H₂O₂ pode funcionar como molécula sinalizadora, iniciando o processo de tolerância (GONG et al., 2001). Em sementes de trigo submetidas à salinidade, verificou-se que o pré-tratamento das sementes conferiu tolerância à salinidade nas plantas (WAHID et al., 2007).

A técnica do hidrocondicionamento pode ser utilizada como pré-tratamento das sementes em água destilada. Essa técnica consiste em uma hidratação parcial das

sementes suficiente para promover atividades metabólicas sem, contudo, permitir a protrusão da raiz primária (PINEDO; FERRAZ, 2008). O condicionamento das sementes oferece a possibilidade de melhorar a qualidade das sementes, podendo reduzir o tempo de germinação e aumentar a germinabilidade e a resistência contra estresse ambiental (COPELAND; MCDONALD, 1995).

Kaya et al. (2006) constataram efeito benéfico do hidrocondicionamento, que proporcionou aumentos na germinação e no crescimento das plântulas de girassol sob salinidade e estresse hídrico. Saglam et al. (2010) verificaram que sementes hidrocondicionadas de lentilha germinaram e cresceram mais rapidamente em potenciais hídricos negativos. Em sementes de trigo, o hidrocondicionamento (18h) conferiu maior germinabilidade e vigor às plântulas submetidas a estresse hídrico e salino induzido por soluções de polietilenoglicol e NaCl (ABBASDOKHT, 2011). O hidrocondicionamento a 25°C por 4-6h, segundo Bölek et al. (2013), favoreceu a germinação e a emergência de plântulas de algodão a baixas temperaturas. Esta técnica também se mostrou eficaz em aumentar a germinação das sementes, conforme Abiri et al. (2016), os quais verificaram que o hidrocondicionamento a 18h e 12h aumentou a porcentagem de germinação e o vigor de plântulas de diferentes genótipos de arroz. Dessa forma, o hidrocondicionamento pode ser o tratamento mais adequado para revigoração de sementes, por ser de baixo custo e fácil acesso, especialmente quando a germinação é afetada por salinidade e estresse hídrico (ABBASDOKHT, 2011).

Como se constata, são inúmeros os benefícios do uso de atenuadores em sementes sob condições de estresses. Entretanto, os estudos tratando desse tema ainda são escassos no Brasil. Assim, é necessário investigar se a embebição prévia das sementes de *S. hispanica* em diferentes atenuadores submetida a condições de estresse é capaz de influenciar o processo germinativo e os parâmetros bioquímicos desta espécie.

REFERÊNCIAS

- ABBASDOKHT, H. The effect of hydropriming and halopriming on germination and early growth stage of wheat (*Triticum aestivum* L.). **Desert**, Tehran, v. 16, n. 1, p. 61- 68, 2011.
- ABIRI, R.; SHAHARUDDIN, N. A.; MAZIAH, M.; YOUSOF, Z. N. B.; ATABAKI, N.; SAHEBI, M.; AZIZI, P. Quantitative assessment of indica rice germination to hydropriming, hormonal priming and polyethylene glycol priming. **Chilean Journal of Agricultural Research**, Chillán, v. 76, n. 4, p. 392-400, 2016.
- AKULA, R.; RAVISHANKAR, G. A. Influence of abiotic stress signals on secondary metabolites in plants. **Plant Signaling & Behavior**, Londres, v. 6, n. 11, p. 1720-1731, 2011.
- ALI, N. M.; YEAP, S. K.; HO, W. Y.; BEH, B. K.; TAN, S. W.; TAN, S. G. The promising future of chia, *Salvia hispanica* L. **Journal of Biomedicine and Biotechnology**, Nova York, v. 2012, n. 1, p. 1-9, 2012.
- ANAYA F.; FGHIRE, R.; WAHBI, S.; LOUTFI, K. Influence of salicylic acid on seed germination of *Vicia faba* L. under salt stress. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, Riade, v. 17, n. 1, p. 1-8, 2018.
- ANSARI, O., AZADI, M. S., SHARIF-ZADEH, F., YOUNESI, E. Effect of hormone priming on germination characteristics and enzyme activity of mountain rye (*Secale montanum*) seeds under drought stress conditions. **Journal of Stress Physiology & Biochemistry**, Irkutsk, v. 9, n. 3, p. 61-71, 2013.
- ASHRAF, M.; AKRAM, N. A.; ARTECA, R. N.; FOOLAD, M. R. The physiological, biochemical and molecular roles of brassinosteroids and salicylic acid in plant processes and salt tolerance. **Critical Reviews in Plant Sciences**, Filadélfia, v. 29, n. 3, p. 162-190, 2010.
- AYERZA, R.; COATES, W. **Chia**: rediscovering a forgotten crop of the aztecs. 1 ed. Tucson: University of Arizona Press, 2005.
- AYERZA, R.; COATES, W. **Chía, redescubriendo un olvidado alimento de los aztecas**. 1 ed. Buenos Aires: Del Nuevo Extremo S. A., 2006.
- AZOOZ, M. M.; YOUSSEF, M. M. Evaluation of heat shock and salicylic acid treatments as inducers of drought stress tolerance in hassawi wheat. **American Journal of Plant Physiology**, Nova York, v. 5, n. 2, p. 56-70, 2010.
- BAILLY, C. Active oxygen species and antioxidants in seed biology. **Seed Science Research**, Wageningen, v. 14, n. 2, p. 93-107, 2004.

BAILLY, C.; BOUTEAU, H. E. M.; CORBINEAU, F. From intracellular signaling networks to cell death: the dual role of reactive oxygen species in seed physiology. **Comptes Rendus Biologies**, Paris, v. 331, n. 10, p. 806-814, 2008.

BANSAL, I. L. R.; BHATI, P.R.; SEN, D.N. Differential specificity in water inhibition of Indian and zone. **Biologia Plantarum**, Praga, v. 22, n. 5, p. 327-331, 1980.

BARBA-ESPIN, G.; DIAZ-VIVANCOS, P.; CLEMENTE-MORENO, M. J.; ALBACETE, A.; FAIZE, L.; FAIZE, M.; PÉREZ-ALFOCEA, F.; HERNÁNDEZ, J. A. Interaction between hydrogen peroxide and plant hormones during germination and the early growth of pea seedlings. **Plant, Cell and Environment**, Nova Jersey, v. 33, n. 6, p. 981-994, 2010.

BETONI, R.; SCALON, S. P. Q.; MUSSURY, R. M. Salinidade e temperatura na germinação e vigor de sementes de mutambo (*Guazuma ulmifolia* Lam.) (Sterculiaceae). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 35, n. 3, supl. 1, p. 605-616, 2011.

BIENERT, G. P.; SCHJOERRING, J. K.; JAHN, T. P. Membrane transport of hydrogen peroxide. **Biochimica et Biophysica Acta**, Amsterdã, v. 1758, n. 8, p. 994-1003, 2006.

BÖLEK, Y.; NAS, M. N.; ÇOKKIZGIN, H. Hydropriming and hot water-induced heat shock increase cotton seed germination and seedling emergence at low temperature. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, Ancara, v. 37, n. 1, p. 300- 306, 2013.

BOLWELL, G. P.; BINDSCHEDLER, L. V.; BLEE, K. A.; BUTT, V. S.; DAVIES, D. R.; GARDNER, S. L.; GERRISH, C.; MINIBAYEVA, F. The apoplastic oxidative burst in response to biotic stress in plants: a three-component system. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 53, n. 372, p. 1367- 1376, 2002.

BOTELHO, B. A.; PEREZ, S. C. J. G. A. Estresse hídrico e reguladores de crescimento na germinação de sementes de canafístula. **ScientiaAgrícola**, Piracicaba, v. 58, n. 1, p. 43-49, 2001.

BRADFORD, K. J. Water relations in seed germination. In: KIGEL, J. D.; GALILI, G. (org.) **Seed development and germination**. New York: Marcel Dekker, 1995. p. 351-396.

BUENO, M.; DI SAPIO, O.; BAROLO, M.; BUSILACCHI, H.; QUIROGA, M.; SEVERIN, C.; Análisis de La calidad de los frutos de *Salvia hispanica* L. (Lamiaceae) comercializados en la ciudad de Rosario (Santa Fé, Argentina). **Boletín Latino Americano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas**, Santiago, v. 9, n. 3, p. 221-227, 2010.

BUSILACCHI, H.; QUIROGA, M.; BUENO, M.; DI SAPIO, O.; FLORES, V.; SEVERIN, C. Evaluación de *Salvia hispanica* L. cultivada en el sur de Santa Fé (República Argentina). **Cultivos Tropicales**, San José de las Lajas, v. 34, n. 4, p. 55–59, 2013.

CAHILL, J. P. Ethnobotany of chia, *Salvia hispanica* L. (Lamiaceae). **Economic Botany**, Nova Iorque, v. 57, n. 4, p. 604–618, 2003.

CAMPOS, I. S.; ASSUNÇÃO, M. V. Efeito do cloreto de sódio na germinação e vigor de plântulas de arroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 25, n. 6, p. 837-843, 1990.

CAVALCANTE, A. M. B.; PEREZ, S. C. J. G. A. Efeitos dos estresses hídrico e salino sobre a germinação de sementes de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Witt. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 2, p. 281-289, 1995.

CARVALHO, P. R.; MACHADO NETO, N. B.; CUSTÓDIO, C. C. Ácido salicílico em sementes de calêndula (*Calendula officinalis* L.) sob diferentes estresses. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 29, n. 1, p. 114-124, 2007.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 5 ed. Jaboticabal: FUNEP, 2012.

CASTRO, R. D.; LAMMEREN, A. A. M. V.; GROOT, S. P. C.; HILHORST, H. W. M. Cell division and subsequent radicle protrusion in tomato seeds are inhibited by osmotic stress but DNA synthesis and formation of microtubular cytoskeleton are not. **Plant Physiology**, Rockville, v. 122, n. 2, p. 327- 336, 2000.

CHAVES, M.M.; FLEXAS, J.; PINHEIRO, C. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. **Annals of Botany**, Oxford, v. 103, n. 4, p. 551-560, 2009.

CHÁVEZ, L. M. A.; LÓPEZ, M. A.V.; JUÁREZ, M. L. A.; TECANTE, A. Chemical characterization of the lipid fraction of mexican chia seed (*Salvia hispanica* L.). **International Journal of Food Properties**, Nova York, v. 11, n. 3, p. 687-697, 2008.

COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES. Commission Regulation (EC) 827/2009. **Official Journal European Union**, Bruxelas, v. 52, p. 12-13, 2009.

COPELAND, L. O.; MCDONALD, M. B. **Principles of seed science and technology**. 3 ed. Nova York: Chapman & Hall, 1995.

CUSTÓDIO, C. C.; SALOMÃO, G. R.; MACHADO NETO, N. B. Estresse hídrico na germinação e vigor de sementes de feijão submetidas a diferentes soluções osmóticas. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 40, n. 4, p. 617-623, 2009.

DAL'MASO, E. G.; CASARIN J.; COSTA, P. F.; CAVALHEIRO, D. B.; SANTOS, B. S.; GUIMARÃES, V. F. Salinidade na germinação e desenvolvimento inicial de sementes de chia. **Cultivando o Saber**, Cascavel, v. 6, n. 3, p. 26-39, 2013.

DE LA ROSA, M.; ARCE, L.; VILLARREAL, J. A.; IBARRA, L.; LOZANO, J. Germinación de semillas de chile simojovel (*Capsicum annuum* L.) previamente expuestas a NaCl y ácido giberélico. **Internacional Journal of Experimental Botany**, Buenos Aires, v. 81, n. 2, p. 165-168, 2012.

DHANKHER, O. P.; FOYER, C. H. Climate resilient crops for improving global food security and safety. **Plant Cell Environ**, Nova Jersey, v. 41, n. 1, p. 877-884, 2018.

- EL-KEBLAWY, A. Salinity effects on seed germination of the common desert range grass, *Panicum turgidum*. **Seed Science and Technology**, Bassersdorf, v. 32, n. 3, p. 943-948, 2004.
- ESTEVEES, B. S.; SUZUKI, M. S. Efeito da salinidade sobre as plantas. **Oecologia Brasiliensis**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 4, p. 662-679, 2008.
- FAGIERA, N. K.; STONE, L. F.; SANTOS, A. B. Melhoramento para tolerância a salinidade. In: FRITSCHÉ-NETO, R.; BOREM, A. (org.). **Melhoramento de plantas para condições de estresse abióticos**. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2011. p. 250.
- FARIAS, S. G. G.; FREIRE, A. L. O.; SANTOS, D. R.; BAKKE, I. A.; SILVA, R. B. Efeitos dos estresses hídrico e salino na germinação de sementes de gliricídia [*Gliricidia sepium* (Jacq) Steud.]. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 22, n. 4, p. 152-157, 2009.
- FEITOSA, S. S.; ALBUQUERQUE, M. B.; OLIVEIRA, A. P.; PEREIRA, W. E.; BRITO NETO, J. F. Fisiologia do *Sesamum indicum* L. sob estresse hídrico e aplicação de ácido salicílico. **Irriga**, Botucatu, v. 21, n. 4, p. 711-723, 2016.
- GARCIA, G. O.; NAZÁRIO, A. A.; MORAES, W. B.; GONÇALVES, I. Z.; MADALÃO, J. C. Respostas de genótipos de feijoeiro á salinidade. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 18, n. 4, p. 330-338, 2010.
- GÓIS, V. A.; TORRES, S. B.; PEREIRA, R. A. Germinação de sementes de maxixe submetidas a estresse salino. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 21, n. 4, p. 64-67, 2008.
- GOLEC, A. D. Arabidopsis seed germination under abiotic stress as a concert of action of phytohormones. **A Journal of Integrative Biology**, Nova York, v. 15, n. 11, p. 1-12, 2011.
- GONÇALVES, K. S.; SOUSA, A. P.; VELINI, E. D.; TRINDADE, M. L. B.; PAZ, V. P. S. Application of potassium phosphite to eucalyptus submitted to water stress. In: INOVAGRI INTERNATIONAL MEETING, 2014, Fortaleza, CE, Brasil. **Anais...**Fortaleza Inovagri international meeting, 2014.
- GONDIM, F. A.; GOMES-FILHO, E.; LACERDA, C. F.; PRISCO, J. T.; AZEVEDO NETO, A. D.; MARQUES, E. C. Pretreatment with H₂O₂ in maize seeds: effects on germination and seedling acclimation to salt stress. **Brazilian Journal Plant Physiology**, Campos dos Goytacazes, v. 22, n. 2, p. 103-112, 2010.
- GONG, M.; CHEN, B.; ZHONG-GUANG, L.; GUO, L. Heat-shock-induced cross adaptation to heat, chilling, drought and salt stress in maize seedlings and involvement of H₂O₂. **Journal of Plant Physiology**, Amsterdã, v. 158, n. 9, p. 1125-1130, 2001.
- GORAI, M.; GASMI, H.; NEFFATI, M. Factors influencing seed germination of medicinal plant *Salvia aegyptica* L. (Lamiaceae). **Saudi Journal of Biological Sciences**, Riyadh, v. 18, n. 3, p. 255-260, 2011.

HE, L.; GAO, Z.; LI, R. Pretreatment of seed with H₂O₂ enhances drought tolerance of wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings. **African Journal of Biotechnology**, Sapele, v. 8, n. 22, p. 6151-6157, 2009.

HOUSSAIN, M. A.; BHATTACHARJEE, S.; ARMIN, S. M.; QIAN, P.; XIN, W.; BURRITT, D. J.; FUJITA, M.; TRAN, L. S. P. Hydrogen peroxide priming modulates abiotic oxidative stress tolerance: insights from ROS detoxification and scavenging. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 6, n. 420, p. 1-19, 2015.

IXTAINA, V. Y.; NOLASCO, S. M.; TOMÁS, M. C. Physical properties of chia (*Salvia hispanica* L.) seeds. **Industrial Crops and Products**, Amsterdã, v. 28, n. 3, p. 286-293, 2008.

JAMIL, M.; REHMAN, S.; LEC, K. J.; KIM, J. M.; KIM, H. S.; RHA, E. S. Salinity reduced growth PS2 photochemistry and chlorophyll content in radish. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 64, n. 2, p. 111-118, 2007.

JELLER, H.; PEREZ, S. C. J. G. A. Efeitos dos estresses hídrico e salino e da aplicação de giberelina em sementes de *Senna spectabilis*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 93-104, 2001.

JEONG, S. K.; PARK, H. J.; PARK, B. D.; KIM, I. H. Effectiveness of topical chia seed oil on pruritus of end-stage renal disease (ESRD) patients and healthy volunteers, **Annals of Dermatology**, Seul, v. 22, n.2, p.143-148, 2010.

JIMÉNEZ, F. E. G. **Caracterización de compuestos fenólicos presente en la semilla y aceite de chía (*Salvia hispanica* L.), mediante electroforesis capilar**. 2010. 101f. Tese. (Mestrado em Ciências em Alimentos) – Instituto Politécnico Nacional. Escola Nacional de Ciências Biológicas, Cidade do México, 2010. Disponível em: <<https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/9536/36.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 16 ago. 2018.

JINI, D.; JOSEPH, B. Physiological mechanism of salicylic acid for alleviation of salt stress in rice. **Rice Science**, Hangzhou, v. 24, n. 2, p. 97-108, 2017.

KAYA, M. D.; OKÇU, G.; ATAK, M.; ÇIKILI, Y.; KOLSARICI, O. Seed treatments to overcome salt and drought stress during germination in sunflower (*Helianthus annuus* L.). **European Journal of Agronomy**, Conthey, v. 24, n. 4, p. 291-295, 2006.

KILIC, S.; KAHRAMAN, A. The mitigation effects of exogenous hydrogen peroxide when alleviating seed germination and seedling growth inhibition on salinity-induced stress in barley. **Polish Journal of Environmental Studies**, Olsztyn, v. 25, n. 3, p. 1053-1059, 2016.

KRANNER, I.; MINIBAYEVA, F. V.; BECKETT, R. P.; SEAL, C. E. What is stress? concepts, definitions and applications in seed science. **New Phytologist**, Lancaster, v. 188, n. 3, p. 655-673, 2010.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos, SP: RiMa, 2000.

LIMA, M. G. S.; LOPES, N. F.; MORAES, D. M.; ABREU, C. M. Qualidade fisiológica de sementes de arroz submetidas a estresse salino. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 27, n. 1, p. 54-61, 2005.

LOPES, J. C.; MACEDO, C. M. P. Germinação de sementes de couve chinesa sob influência do teor de água, substrato e estresse salino. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 30, n. 3, p. 79-85, 2008.

LU, M.; HELLMANN, H. A.; LIU, Y.; WANG, W. Editorial: protein quality controlling systems in plant responses to environmental stresses. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 9, n. 908, p. 1-3, 2018.

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

MARDANI, H., BAYAT, H.; SAEIDNEJAD, A. H.; REZAIE, E. Assessment of salicylic acid impacts on seedling characteristic of cucumber (*Cucumis sativus* L.) under water stress. **Notulae Scientia Biologicae**, Cluj-Napoca, v. 4, n. 1, p. 112-115, 2012.

MARTINELLI, S. A.; MARTINS, C. C.; NAKAGAWA, J. Germinação de milho cv AL 34 em função do tamanho da semente e do potencial hídrico do substrato. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 22, n. 2, p. 131-138, 2000.

MCCUE, P.; ZHENG, Z.; PINKHAM, J.; SHETTY, K. A model for enhanced pea seedling vigour following low pH and salicylic acid treatments. **Process Biochemistry**, Amsterdã, v. 35, n. 6, p. 603-613, 2000.

MIGLIAVACCA, R. A.; SILVA, T. R. B.; VASCONCELOS, A. L.; S.; MOURÃO FILHO, W.; BAPTISTELLA, J. L. C. O cultivo da chia no Brasil: futuro e perspectivas. **Journal of Agronomic Sciences**, Umuarama, v. 3, n. especial, p. 161-179, 2014.

MORAES, G. A. F.; MENEZES, N. L. Desempenho de sementes de soja sob condições diferentes de potencial osmótico. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 2, p. 219-226, 2003.

MUNNS, R.; TESTER, M. Mechanisms of salinity tolerance. **Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto, v. 59, n. 2, p. 651-681, 2008.

NEILL, S.; DESIKAN, R.; HANCOCK, J. Hydrogen peroxide signalling. **Current Opinion in Plant Biology**, Saint Louis, v. 5, n. 1, p. 388-395, 2002.

NIVEDITHADEVI, D.; SOMASUNDARAM, R.; PANNERSELVAM, R. Effect of abscisic acid, paclobutrazol and salicylic acid on the growth and pigment variation in *Solanum trilobatum*. **International Journal of Drug Development and Research**, Londres, v. 4, n. 3, p. 236-246, 2012.

PAIVA, E. P.; TORRES, S. B.; ALVES, T. R. C.; SÁ, F. V. S.; LEITE, M. S.; J DOMBROSKI, J. L. D. Germination and biochemical components of *Salvia hispanica* L. seeds at different salinity levels and temperatures. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 40, n. 39396, p. 3-7, 2018.

PELEG, Z.; BLUMWALD, E. Hormone balance and abiotic stress tolerance in crop plants. **Current Opinion in Plant Biology**, Saint Louis, v. 14, n. 3, p. 290-295, 2011.

PEREZ, S. C. J. G. A.; MORAES, J. A. P. V. Estresse salino no processo germinativo da algarobeira e atenuação de seus efeitos pelo uso de reguladores de crescimento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 3, p.389-396, 1994.

PICININ, C. T. R. **Caracterização química, ação antioxidante e influência do consumo de grão de chia (*Salvia hispanica* L.) nos níveis glicêmicos**. 2014. 138f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos)- Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/4618/2/DISSERTA%C3%87%C3%83O_Caracteriza%C3%A7%C3%A3o%20qu%C3%ADmica%2C%20a%C3%A7%C3%A3o%20anti%20oxidante%20e%20influ%C3%Aancia%20do%20consumo%20de%20gr%C3%A3o%20de%20chia%20%28Salvia%20hispanica%20L.%29%20nos%20n%C3%ADveis%20glic%C3%AAmicos.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2018.

PINEDO, G. J. V.; FERRAZ, I. D. K. Hidrocondicionamento de *Parkia pendula* [BENTH ex WALP]: sementes com dormência física de árvore da Amazônia. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 39-49, 2008.

PINHEIRO, U. V. **Produção de ácido giberélico por fermentação em estado sólido empregando substratos agroindustriais**. 2015. 68f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015. Disponível em: <<https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/7991/PINHEIRO%2c%20UPIRAGIBE%20VINICIUS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 17 ago. 2018.

PIZOLATO NETO, A. **Sementes de leguminosas forrageiras sob estresse salino tratadas com ácido salicílico e espermidina**. 2016. 43f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2016. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/137795/pizolatonetamejaboaint.pdf?sequence=4&isAllowed=y>>. Acesso em: 20 ago. 2018.

QIN, F.; SHINOZAKI, K.; YAMAGUCHI-SHINOZAKI, K. Achievements and challenges in understanding plant abiotic stress responses and tolerance. **Plant Cell Physiology**, Oxford, v. 52, n. 9, p. 1569-1582, 2011.

REIS, R. C. R. **Tolerância a estresses abióticos em sementes de *Erythrina velutina* Willd. (Leguminosae-Papilionoideae) nativa da Caatinga**. 2012. 132f. Tese (Doutorado em Botânica)-Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2012. Disponível em: <<http://www.ppgbot.uefs.br/teses-dissertacoes/downloads/70/tolerancia-a-estresses-abioticos-em-sementes-de-erythrina-velutina-willd-leguminosae-papilionoideae-nativa-da-caatinga.pdf>>. Acesso em: 21 ago. 2018.

RODRIGUES, C.; VANDENBERGHE, L. P. S.; TEODORO, J.; OSS, J. F.; PANDEY, A. SOCCOL, C. A. A new alternative to produce gibberellic acid by solid state

fermentation. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 52, n. especial, p. 181-188, 2009.

ROSA, D. C. J.; SOARES, J. S.; MORENO, L. B.; MICHELS, G. M.; C. S. R.; SCALON, S. P. Q.; ROSA, Y. B. C. J. Germinação de *Salvia splendens* L. submetida à salinidade. **Advances in Ornamental Horticulture and Landscaping**, Jundiaí, v. 21, n. 1, p. 105-112, 2015.

SAGLAM, S.; DAY, S.; KAYA, G.; GÜRBÜZ, A. Hydropriming increases germination of lentil (*Lens culinaris* Medik.) under water stress. **Notulae Scientiae Biologicae**, Cluj-Napoca, v. 2, n. 2, p. 103-106, 2010.

SANTOS, C. A. A.; PEIXOTO, C. P.; VIEIRA, E. L.; CARVALHO, E. V.; PEIXOTO, V. A. B. Ação da cinetina, ácido indolbutírico e ácido giberélico na emergência do girassol sob estresse por alumínio. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 3, n. 3, p. 206-209, 2012.

SHI, Q.; BAO, Z.; ZHU, Z.; YING, Q.; QIAN, Q. Effects of different treatments of salicylic acid on heat tolerance, chlorophyll fluorescence, and antioxidant enzyme activity in seedlings of *Cucumis sativa* L. **Plant Growth Regulation**, Nova York, v. 48, n. 2, p. 127-135, 2006.

SILVA, A. C. **Ácido salicílico como atenuador de estresse hídrico nas fases de germinação e crescimento inicial em gergelim**. 2015. 81f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2015. Disponível em: <<http://tede.bc.uepb.edu.br/jspui/handle/tede/2337>>. Acesso em: 22 ago. 2018.

SIMON, C. A.; SORANA, C. K. P. M.; ALVES, C. Z. Estresse hídrico na germinação e vigor de sementes de chia. **Revista de Ciências Agroambientais**, Alta Floresta, v. 15, n. 1, p. 62-63, 2017.

SONG, J.T.; LU, H.; MCDOWELL, J.M.; GREENBERG, J.T. A key role for ALD1 in activation of local and systemic defenses in Arabidopsis. **The Plant Journal**, Nova Jersey, v. 40, n. 2, p. 200-212, 2004.

SOUZA, G. M.; CARDOSO, V. J. M. Effects of different environmental stress on seed germination. **Seed Science and Technology**, Bassersdorf, v. 28, n. 3, p. 621-630, 2000.

STEFANELLO, R.; NEVES, L. A. S.; ABBAD, M. A. B.; VIANA, B. B. Germinação e vigor de sementes de chia (*Salvia hispanica* L. - Lamiaceae) sob diferentes temperaturas e condições de luz. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Campinas, v. 17, n. 4, supl. III, p. 1182- 1186, 2015 a.

STEFANELLO, R.; NEVES, L. A. S.; ABBAD, M. A. B.; VIANA, B. B. Resposta fisiológica de sementes de chia (*Salvia hispânica*- Lamiales: Lamiaceae) ao estresse salino. **Biotemas**, Florianópolis, v. 28, n. 4, p. 35-39, 2015 b.

- STEFANELLO, R.; VIANA, B. B.; NEVES, L. A. S. Resposta fisiológica de sementes de chia e linhaça ao estresse hídrico. **Lheringia**, Série Botânica, Porto Alegre, v. 72, n. 2, p. 161-163, 2017.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.
- TEIXEIRA, R. N.; TOLEDO, M. Z.; FERREIRA, G.; CAVARIANI, C.; JASPER, S. P. Germinação e vigor de sementes de crambe sob estresse hídrico. **Irriga**, Botucatu, v. 16, n. 1, p. 42-51, 2011.
- TIAN, Y.; GUAN, B.; ZHOU, D.; YU, J.; LI, G.; LOU, Y. Responses of Seed Germination, Seedling Growth, and Seed Yield Traits to Seed Pretreatment in Maize (*Zea mays* L.). **The Scientific World Journal**, Londres, v. 2014, n. 1, p. 1-8, 2014.
- TOBE, K.; LI, X.; OMASA, K. Seed germination and radicle growth of a halophyte *Kalidium caspicum* (Chenopodiaceae). **Annals of Botany**, Londres, v. 85, n. 3, p. 391-396, 2000.
- TSEGAY, B. A.; ANDARGIE, M. Seed priming with gibberellic acid (GA₃) alleviates salinity induced inhibition of germination and seedling growth of *Zea mays* L., *Pisum sativum* var. *abyssinicum* A. Braun and *Lathyrus sativus* L. **Journal Crop Science Biotechnology**, Berlim, v. 21, n. 3, p. 261- 267, 2018.
- TURKYILMAZ, B. Effects of salicylic and gibberellic acids on wheat (*Triticum aestivum* L.) under salinity stress. **Journal of Botany**, Londres, v. 41, n. 1, p. 29- 34, 2012.
- VILLELA, F. A.; DONI FILHO, L.; SEQUEIRA, E. L. Tabela de potencial osmótico em função da concentração de polietilenoglicol 6.000 e da temperatura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 26, n. 11-12, p. 957-1968, 1991.
- VOIGT, E. L.; ALMEIDA, T. D.; CHAGAS, R. M.; PONTE, L. F. A.; VIEGAS, R. A.; SILVEIRA, J. A. G. Source-sink regulation of cotyledonary reserve mobilization during cashew (*Anacardium occidentale*) seedling establishment under NaCl salinity. **Journal of Plant Physiology**, Amsterdam, v. 166, n. 1, p. 80-89, 2009.
- WAHID, A.; PERVEEN, M.; GELANI, S.; BASRA, S. M. A. Pretreatment of seed with H₂O₂ improves salt tolerance of wheat seedlings by alleviation of oxidative damage and expression of stress proteins. **Journal of Plant Physiology**, Amsterdam, v. 164, n. 3, p. 283-294, 2007.
- ZANANDREA, L.; NASSI, F. L.; TURCHETTO, A. C.; BRAGA, E. J. B.; PETERS, J. A.; BACARIN, M. A. Efeito da salinidade sob parâmetros de fluorescência em *Phaseolus vulgaris*. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 12, n. 2, p. 157-161, 2006.

CAPÍTULO 2

OSMOPROTEÇÃO EM SEMENTES DE CHIA (*Salvia hispanica* L.) SOB ATENUADORES DO ESTRESSE HÍDRICO

RESUMO

O cultivo da *Salvia hispanica* é recente no Brasil e se dá no período de entressafra, quando há menor disponibilidade hídrica no solo. O déficit hídrico é um dos fatores abióticos que mais limitam a germinação por comprometer a sequência de eventos metabólicos que culminam com a emergência da plântula. Com isso, diversas substâncias atenuadoras têm sido empregadas com a finalidade de mitigar os efeitos resultantes desse estresse e conferir maior tolerância às espécies. Desse modo, objetivou-se avaliar a ação de diferentes agentes como atenuadores do estresse hídrico na germinação e desenvolvimento inicial de plântulas de *S. hispanica*. Os tratamentos consistiram na pré-embebição das sementes durante 4 horas em ácido salicílico (1 mM.L⁻¹), ácido giberélico (0,4 mM.L⁻¹), peróxido de hidrogênio (20 mM.L⁻¹), água destilada e o tratamento controle (sem embebição). As sementes foram germinadas sob os potenciais osmóticos 0,0, -0,1, -0,2, -0,3 e -0,4 MPa, utilizando PEG 6000 como agente osmótico. As variáveis analisadas foram: porcentagem de germinação, índice de velocidade de germinação, comprimento da parte aérea e da raiz primária, massa seca total, prolina, açúcares e aminoácidos livres totais. Os dados foram submetidos à análise de variância (p<0,05) e, em caso de significância, foram aplicados o teste de Tukey (p<0,05) para os atenuadores e regressão polinomial (p<0,05) para os níveis de potencial osmótico e para a interação. O ácido salicílico e o ácido giberélico apresentaram os melhores resultados, incrementando a germinação, o comprimento, a massa seca e os componentes bioquímicos de plântulas. Logo, os ácidos salicílico e giberélico são eficientes na atenuação do estresse hídrico em sementes de *S. hispanica* até o potencial -0,4 MPa.

Palavras-chave: Mitigação de estresse; Déficit hídrico; Lamiaceae; Polietilenoglicol.

1 INTRODUÇÃO

Salvia hispanica é uma espécie cultivada predominantemente em regiões de clima tropical e subtropical, entretanto seu cultivo tem se expandido para várias localidades, como, por exemplo, o Sul do Brasil (MIGLIAVACCA et al., 2014), onde a *S. hispanica* é normalmente cultivada na época de safrinha, período em que começa a diminuir a disponibilidade hídrica no solo (ZANATTA et al., 2016; SIMON et al., 2017).

O estresse por escassez de água está entre os principais fatores externos que afetam o processo germinativo e o desenvolvimento das plântulas, pois sua limitação pode diminuir a velocidade da germinação ou até impedi-la (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012). Neste sentido, potenciais hídricos negativos podem impedir a absorção de água, comprometendo a sequência de eventos do processo germinativo (COLMAN et al., 2014). Assim, um dos períodos mais críticos para a sobrevivência das plantas é durante a germinação até o estabelecimento das plântulas, tornando-se importante entender os mecanismos que conferem às sementes de algumas espécies a capacidade de germinar sob condições de estresse hídrico (MARCOS-FILHO, 2015).

A ação do estresse hídrico sobre o processo germinativo é importante para o entendimento da ecofisiologia da espécie e constitui uma ferramenta que possibilita a avaliação dos limites de tolerância, de sobrevivência e adaptação das espécies às condições de estresses naturais (GUEDES et al., 2013). Contudo, tratamentos fisiológicos podem melhorar o desempenho das sementes. O condicionamento fisiológico tem sido o mais recente e interessante tratamento com essa finalidade (SILVA et al., 2016). Este sincroniza ao máximo a germinação, mediante a ativação do metabolismo de sementes procurando atingir um nível uniforme e mais próximo possível do estágio de protrusão da raiz primária, via hidratação controlada (MARCOS-FILHO, 2015).

Além do condicionamento fisiológico, substâncias atenuadoras de estresses, como o ácido salicílico, o ácido giberélico e o peróxido de hidrogênio, vêm sendo aplicadas na melhoria da qualidade fisiológica das sementes, visando a aprimorar seu desempenho germinativo em resposta a condições adversas (GONDIM et al., 2010; TIAN et al., 2014; FARDUS et al., 2018). Estas substâncias têm proporcionado melhorias na eficiência de processos metabólicos ou atuado diretamente nas rotas

metabólicas, o que resulta em adaptação aos estresses abióticos (AGOSTINI et al., 2013).

Dentre as substâncias atenuadoras, o ácido salicílico tem se destacado por seu potencial em mitigar os efeitos do déficit hídrico (AZOOZ & YOUSSEF, 2010). Este fato foi verificado por Silva et al. (2017) em sementes de genótipos de gergelim sob diferentes potenciais osmóticos. Estes autores constataram que o ácido salicílico a 10^{-5} M induziu tolerância ao estresse hídrico em um dos genótipos testados.

O ácido giberélico é um importante fitohormônio que influencia uma série de processos fisiológicos, como a superação da dormência, promovendo, conseqüentemente, a germinação e o alongamento celular (TAIZ et al., 2017). Essa substância foi responsável por melhorar significativamente as características de germinação de sementes de centeio sob estresse hídrico, de acordo com Ansari et al. (2013), para quem a porcentagem e a velocidade de germinação, além da uniformidade e do número de plântulas normais, foram aumentadas nas sementes tratadas com esse produto.

O peróxido de hidrogênio também vem sendo utilizado amplamente como estimulante do processo germinativo em baixas concentrações (GONDIM et al., 2010). Barba-Espin et al. (2012), obtiveram germinação acima de 90% em sementes de *Pisum sativum* pré-embebidas com esse estimulante na concentração de 5 mM.

Desse modo, objetivou-se avaliar a ação de diferentes atenuadores sobre a germinação e composição bioquímica de plântulas de *S. hispanica* sob estresse hídrico.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório de Análise de Sementes do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró, RN. Foram utilizadas sementes de *S. hispanica* oriundas de um campo de produção comercial, localizado no município de Santana do Livramento, Rio Grande do Sul (30° 53' 27" S, 55° 31' 58" W e 208 m de altitude). As sementes foram beneficiadas manualmente, acondicionadas em saco plástico transparente (0,15 mm de espessura) e armazenadas em câmara fria e seca ($10 \pm 2^\circ\text{C}$ e 50% de umidade relativa do ambiente) durante todo o período experimental.

O delineamento estatístico utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5 x 5, sendo cinco atenuadores (testemunha, hidrocondicionamento, ácido salicílico, ácido giberélico e peróxido de hidrogênio) e cinco potenciais hídrico (0,0; -0,1; -0,2; -0,3 e -0,4 MPa), com quatro repetições de 50 sementes para cada tratamento.

As sementes foram embebidas por 4 horas nas soluções dos atenuadores: ácido salicílico (1 mM.L^{-1}), ácido giberélico ($0,4 \text{ mM.L}^{-1}$), peróxido de hidrogênio (20 mM.L^{-1}), água destilada e o tratamento controle (sem embebição). Em seguida, foram colocadas duas folhas de papel mata-borrão no interior das caixas plásticas transparentes (Gerbox[®]), que foram umedecidas com soluções de PEG 6000, no volume de 2,5 vezes o peso seco do papel, e foi realizada a semeadura. As soluções foram produzidas de acordo com os valores propostos por Villela; Doni Filho; Sequeira (1991) para simular os níveis osmóticos previamente estabelecidos de 0,0; -0,1; -0,2; -0,3 e -0,4 MPa (PAIVA, 2017).

Os testes de germinação foram conduzidos em germinadores do tipo *Biochemical Oxygen Demand* (B.O.D.), regulados à temperatura de 25 °C com fotoperíodo de 8 horas de luz (PAIVA et al., 2016). As contagens foram realizadas diariamente até o oitavo dia após a semeadura, sendo consideradas germinadas as sementes que haviam emitido a raiz primária e parte aérea de plântulas (BRASIL, 2009).

As variáveis analisadas foram:

a) Porcentagem de germinação- expressa o percentual de plântulas normais germinadas em cada tratamento;

b) Índice de velocidade de germinação- conduzido simultaneamente ao teste de germinação, em que as sementes foram avaliadas diariamente, a partir do início da

germinação até o oitavo dia após a sementeira. O índice foi calculado conforme a equação proposta por Maguire (1962);

c) Comprimento da parte aérea e da raiz primária- as plântulas normais de cada tratamento foram medidas com auxílio de uma régua graduada em centímetros. Para esta mensuração, mediu-se da base do colo ao ápice da plântula, para o comprimento da parte aérea e da base do colo à extremidade da raiz, para o comprimento da raiz primária das plântulas.

d) Massa seca total de plântulas- depois de mensuradas, as plântulas foram acondicionadas em sacos de papel e levadas à estufa com circulação de ar forçado, regulada a 65 °C por 72 h, até obtenção do peso seco constante, sendo posteriormente pesadas em balança analítica de precisão (0,001 g).

e) Açúcares solúveis totais- as amostras foram obtidas a partir da massa fresca de partes aéreas e radiculares das plântulas coletadas após oito dias de estresse. Para a extração dos açúcares, primeiramente foram pesadas 0,2 g de massa fresca e colocada em tubos e adicionados 3 mL de álcool. Em seguida, o material foi macerado em macerador automático. O sobrenadante do tubo foi coletado para quantificação dos açúcares. A dosagem de açúcares solúveis totais foi determinada pelo método da antrona (YEMM; WILLIS, 1954), tendo a glucose como substância padrão e os resultados expressos em $\mu\text{mol de GLU.g}^{-1}$ de massa fresca.

f) Aminoácidos livres totais- foram colocados 0,2 g de massa fresca de plântulas em tubos contendo 3 mL de álcool. Os tubos foram hermeticamente fechados e aquecidos em banho-maria a 60 °C por 20 minutos. Para a quantificação dos teores de aminoácidos, realizou-se a medição da absorvância a 570 nm, com a aplicação do método da nihidrina ácida (YEMM; COCKING, 1955), tendo a glicina como substância padrão e os resultados foram expressos em $\mu\text{mol GLI.g}^{-1}$ de massa fresca.

g) Prolina- a determinação de prolina obedeceu a metodologia descrita por Bates et al. (1973). Para isso, colocou-se 0,2 g de massa fresca de plântulas em tubos contendo 3 mL de álcool que foram hermeticamente fechados e aquecidos em banho-maria a 60 °C por 20 minutos. As concentrações de prolina foram determinadas com base em uma curva padrão obtida a partir de L-Prolina, com seus resultados expressos em $\mu\text{mol PRO.g}^{-1}$ de massa fresca.

Os resultados foram submetidos à análise de variância ($p < 0,05$) e, em caso de significância, foi aplicado o teste de Tukey ($p < 0,05$) para os tratamentos e regressão

polinomial ($p < 0,05$) para os níveis de potencial osmótico e para a interação com o auxílio do programa estatístico SISVAR[®] (FERREIRA, 2011).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Entre os atenuadores e os níveis de potenciais hídricos do substrato, constatou-se interação significativa para todas as variáveis analisadas ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$) (Tabela 1).

Tabela 1- Resumo da análise de variância das variáveis porcentagem de germinação (PG), índice de velocidade de germinação (IVG), comprimento da parte aérea (CPA), comprimento da raiz (CR), massa seca total (MST), aminoácidos, prolina e açúcares de plântulas de *Salvia hispanica* L. germinadas sob diferentes atenuadores e potenciais hídricos.

Fonte de variação	GL	Quadrado médio			
		PG	IVG	CPA	CR
Atenuador (A)	4	1164,77**	33,39**	5,71**	3,21**
Potencial (P)	4	15135,30**	1156,04**	7,20**	16,53**
A x P	16	827,07**	6,68**	0,36**	0,63**
Erro	75	77,32	1,42	0,03	0,19
CV (%)		12,30	10,37	13,30	14,77
Média Geral		71,50	11,52	1,37	2,97

Fonte de variação	GL	Quadrado médio			
		MST	Aminoácidos	Prolina	Açúcares
Atenuador (A)	4	30,88**	542,47**	1,12**	140,65**
Potencial (P)	4	29,88**	3779,15**	10,61**	1352,73**
A x P	16	7,00**	169,43**	0,97**	113,62**
Erro	75	1,40	2,41	0,0078	4,39
CV (%)		15,62	4,74	8,26	11,68
Média Geral		7,59	32,78	1,07	17,94

** significativo a 1%; CV- coeficiente de variação.

Para a germinação, verificou-se comportamento quadrático para todos os tratamentos (Figura1A). No tratamento controle, a maior porcentagem de germinação foi obtida no potencial $-0,068$ MPa, com 100% de germinação. A diminuição do potencial hídrico acarretou em acentuada redução na porcentagem de germinação, resultando em 12%, no menor potencial ($-0,4$ MPa), correspondendo a uma redução de 88% quando comparados os dois níveis apontados. Os tratamentos das sementes com os ácidos giberélico, salicílico e hidrocondicionamento exerceram notória ação mitigadora do estresse hídrico na porcentagem de germinação a partir do nível $-0,2$ MPa em relação ao tratamento controle. Verificamos incrementos de 333%, 86% e 80%, na germinação de *S. hispanica*, ao comparar as sementes tratadas com ácido giberélico, salicílico e hidrocondicionamento com o controle, no nível $-0,4$ MPa, respectivamente.

Para o tratamento com o peróxido de hidrogênio, obteve-se porcentagens de germinação inferiores à testemunha, a partir do nível -0,1 MPa, sendo que no potencial -0,4 MPa a germinação estimada pela equação tendeu a zero. Esse fato também repercutiu no índice de velocidade de germinação, apresentando valor estatisticamente nulo para o potencial hídrico de -0,4 MPa (Figura 1B). É provável que a concentração utilizada esteja acima dos níveis tolerados pela cultura. Altos níveis de H₂O₂ podem causar danos severos às células, interferindo em diversos processos metabólicos dos vegetais (BAILLY et al., 2008).

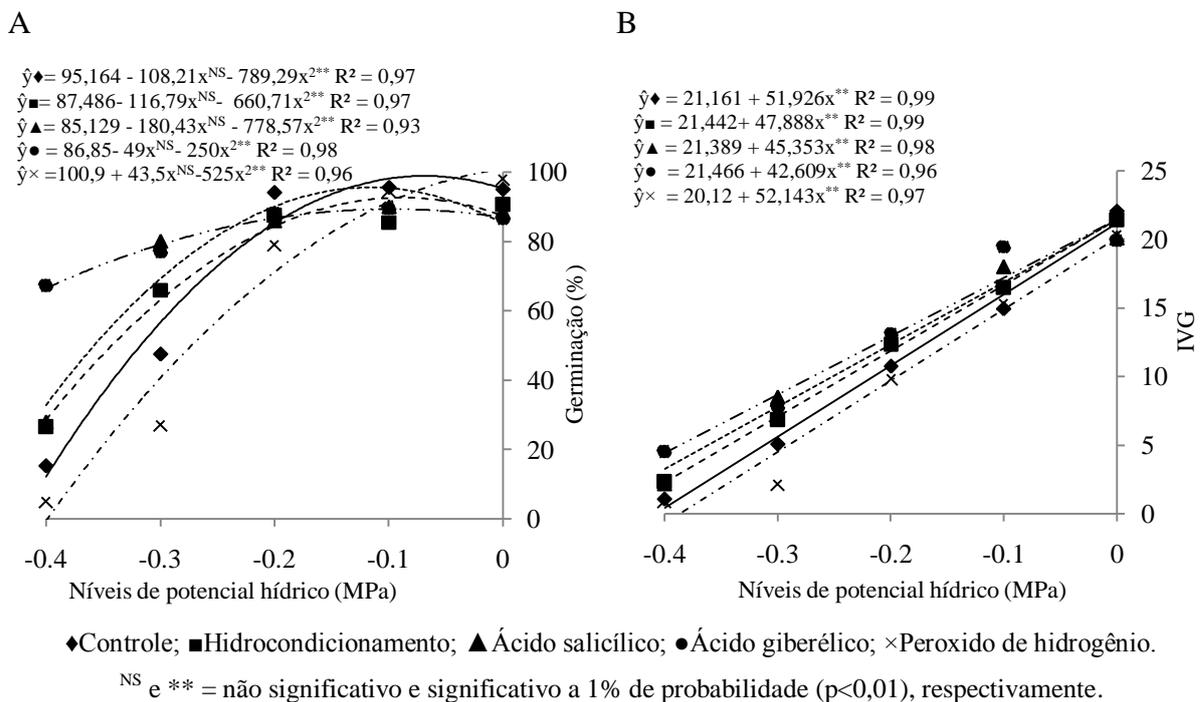


Figura 1- Germinação (A) e índice de velocidade de germinação- IVG (B) de sementes de *Salvia hispanica* L. submetidas a diferentes atenuadores e potenciais hídricos.

No índice de velocidade de germinação (IVG) (Figura 1B), constatou-se comportamento linear decrescente em função da redução do potencial hídrico do substrato em todos os tratamentos estudados. Para cada redução de 0,1 MPa no potencial hídrico do substrato, houve reduções unitárias de 5,19, 4,26, 4,53, 4,79 e 5,21 no IVG das sementes dos tratamentos controle, ácido giberélico, ácido salicílico, hidrocondicionamento e peróxido de hidrogênio, respectivamente. As maiores reduções foram verificadas nos tratamentos controle e peróxido de hidrogênio, sendo que neste

último, o índice de velocidade de germinação estimado pela equação tendeu a zero no potencial hídrico -0,4 MPa acompanhando a redução na germinação para este potencial.

Em todos os tratamentos com atenuadores de estresse, com exceção do peróxido de hidrogênio, foi verificado índice de velocidade de germinação superior ao tratamento controle, inclusive no menor potencial hídrico. Neste sentido, destacou-se o ácido giberélico, que proporcionou índice de velocidade de germinação 11 vezes superior ao tratamento controle no potencial hídrico de -0,4 MPa (Figura 1B).

A disponibilidade de água é um dos fatores essenciais para desencadear a germinação, uma vez que está envolvida direta e indiretamente em todas as etapas do metabolismo germinativo, atuando como um agente estimulador e controlador desse processo (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012; MARCOS-FILHO, 2015).

A redução na porcentagem de germinação na medida em que os potenciais hídricos se tornam mais negativos pode ser explicado pela sensibilidade da espécie ao déficit hídrico, uma vez que o estresse hídrico atrasa a germinação, implicando na redução da velocidade de germinação e redução na porcentagem de plântulas germinadas (PATADE et al., 2011). Além disso, os melhores resultados da porcentagem e velocidade de germinação das sementes pré-embebidas em ácido giberélico podem estar relacionados ao aumento da síntese de enzimas hidrolíticas no tecido de reserva; pela atividade destas, as substâncias de reserva são convertidas e transferidas para o embrião, conferindo, dessa forma, uma germinação mais vigorosa (TAIZ et al., 2017).

Com sementes de centeio (*Secale montanum*) pré-tratadas com ácido giberélico e ácido salicílico, Ansari et al. (2013) obtiveram resultados semelhantes aos encontrados neste trabalho. Esses autores verificaram que a porcentagem de germinação e o coeficiente de velocidade de germinação foi significativamente superior ao tratamento controle para as sementes pré-tratadas dessa espécie. Além disso, constataram que as concentrações de 25 e 50 ppm de ácido giberélico e 25 ppm de ácido salicílico foram satisfatórias para a superação de efeitos do estresse hídrico em sementes de *S. montanum*.

O ácido salicílico desempenha papel fundamental na tolerância ao estresse hídrico, devido à sua capacidade de induzir efeitos de proteção em plantas submetidas ao estresse por escassez de água (AZOOZ; YOUSSEF, 2010). No contexto de proteção celular sob desidratação, o ácido salicílico destaca-se por favorecer a proteção da integridade membranar do DNA e RNA, além de estar envolvido na regulação e sinalização das plantas frente aos demais estresses abióticos (MARDANI et al., 2012).

Resultados positivos do ácido salicílico, assim como observados nesse trabalho, também foram verificados por Carvalho et al. (2007) na germinação de plantas medicinais sob estresse hídrico e térmico.

Em condições de estresse, sementes hidrocondicionadas podem ter seu desempenho favorecido, uma vez que, ao iniciar a embebição em menor potencial hídrico, requerem menos água para completar a germinação (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012). Em trabalho realizado por Saglam et al. (2010), foi verificado que sementes hidrocondicionadas de lentilha germinaram e cresceram mais rapidamente em potenciais hídricos negativos, o que corroborou com os resultados observados neste experimento, em que o hidrocondicionamento foi eficiente para potencializar a germinação de sementes de *S. hispanica*.

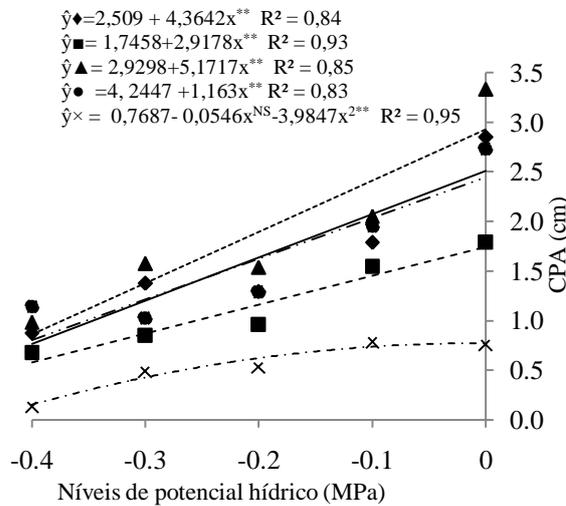
Assim como observado na germinação, a redução da disponibilidade hídrica no substrato, causada pelo aumento da concentração de PEG 6000, promoveu diminuição do comprimento da parte aérea e da raiz primária das plântulas de *S. hispanica* em todos os potenciais hídricos (Figura 2A e B). Para o controle, a diminuição do potencial hídrico promoveu reduções unitárias de 0,44 cm para o comprimento da parte aérea e 0,63 cm para o comprimento da raiz. O ácido giberélico foi o atenuador mais eficiente em promover o crescimento da parte aérea em plântulas de *S. hispanica*, proporcionando as menores reduções no comprimento da parte aérea com a diminuição do potencial hídrico. A cada redução de 0,1 MPa, houve decréscimo de 0,12 cm, o que representa redução total de apenas 10,85% em relação ao tratamento controle, que resultou em uma redução total de 69,72%. Tal resultado pode estar relacionado ao fato de as giberelinas, como o ácido giberélico, aumentarem a alongação e divisão celular, o que é evidenciado pelo aumento do número de células com consequente aumento no comprimento da plântula em resposta à aplicação deste fitorregulador (TAIZ et al., 2017).

Para o comprimento da raiz primária, não houve diferença estatística entre os tratamentos controle e hidrocondicionamento. Para essa variável, o maior comprimento (4,51 cm) foi registrado nos tratamentos a 0,0 MPa. Porém, apresentaram a maior redução, em torno de 0,64 cm, para cada decréscimo unitário no valor do potencial hídrico.

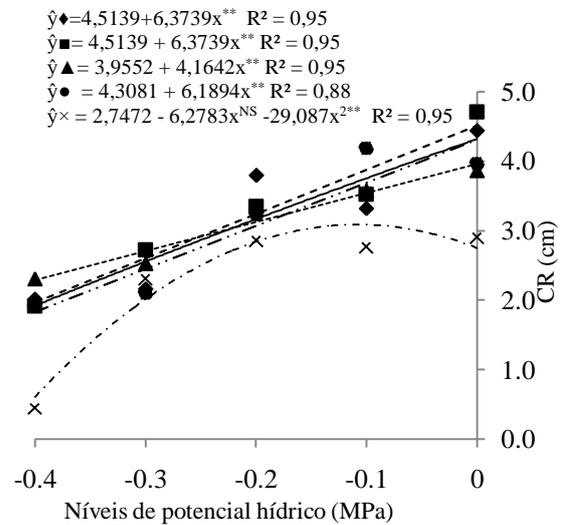
Com a redução do potencial hídrico, o ácido giberélico e o ácido salicílico proporcionaram os maiores comprimentos de raiz primária, 4,31 e 3,95 cm, respectivamente. Nesse sentido, verificou-se que o ácido salicílico foi mais eficiente em

proporcionar as menores reduções para essa variável (0,42 cm), em comparação com o ácido giberélico, que reduziu 0,62 cm para cada diminuição no potencial hídrico.

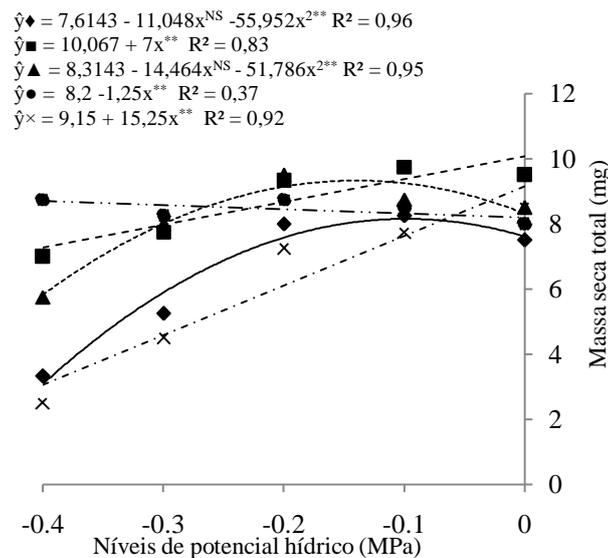
A



B



C



◆Controle; ■Hidrocondicionamento; ▲Ácido salicílico; ●Ácido giberélico; ×Peróxido de hidrogênio.

^{NS} e ^{**} = não significativo e significativo a 1% de probabilidade ($p < 0,01$), respectivamente.

Figura 2- Comprimento da parte aérea- CPA (A), comprimento da raiz- CR (B) e massa seca total de plântulas (C) de *Salvia hispanica* L. submetidas a diferentes atenuadores e potenciais hídricos.

Constatou-se que o comprimento da raiz primária foi mais influenciado pelo estresse hídrico do que o comprimento da parte aérea em sementes de *S. hispanica* e que

o ácido giberélico foi menos eficiente na atenuação desse efeito do que o ácido salicílico. Segundo Taiz et al. (2017), embora o crescimento do caule possa ser significativamente aumentado por giberelinas, estas apresentam pouco efeito no crescimento da raiz. O ácido indolacético é o hormônio vegetal que exerce maior influência sobre o crescimento das raízes, que, por sua vez, tem seu equilíbrio alterado pelo ácido salicílico, o qual, em condições de estresse, promove o aumento desse fitohormônio, resultando em maior crescimento do sistema radicular e proporcionando efeito mais consistente para esta variável (YOUNG; EVANS, 1996; SHAKIROVA et al., 2003).

Sementes de feijão embebidas em ácido salicílico também resultaram em efeitos positivos sobre o crescimento da raiz das plântulas submetidas à restrição hídrica (AGOSTINI et al., 2013). Para essa espécie, o maior comprimento de raiz foi verificado no potencial $-0,35$ MPa. Ainda assim, o crescimento das raízes sob tratamento com ácido salicílico manteve-se elevado até o menor potencial hídrico avaliado ($-1,2$ MPa).

Tanto no comprimento da parte aérea quanto no comprimento da raiz primária, o peróxido de hidrogênio apresentou comportamento quadrático, com resultados inferiores aos encontrados para os demais tratamentos. Para ambas as variáveis, o peróxido de hidrogênio acarretou redução total de 80,52%, sendo inferior, inclusive, ao tratamento controle para todos os níveis de potenciais hídricos testados.

Para massa seca total de plântulas (Figura 2C) verificou-se que os tratamentos com ácido giberélico, hidrocondicionamento e ácido salicílico resultaram em aumento na massa seca total na medida em que decrescia o potencial hídrico do substrato quando comparado ao controle. O incremento na massa seca total com o decréscimo do potencial hídrico para o ácido giberélico, o hidrocondicionamento e o ácido salicílico foi de 60%, 57,63% e 46,98%, respectivamente, em comparação ao tratamento controle, que apresentou redução de 62,25%. O ácido giberélico também proporcionou a menor redução na massa seca total de plântulas, apenas 6,09%, sobressaindo-se em relação aos demais tratamentos. O peróxido de hidrogênio, apesar de apresentar massa seca total superior ao tratamento controle (9,15 mg) no potencial hídrico de 0,0 MPa, provocou drástica redução em potenciais hídricos inferiores, chegando a 66,67% em $-0,4$ MPa.

A redução do comprimento e da massa seca total das plântulas é um dos efeitos mais constatados em plântulas submetidas à restrição hídrica. Em sementes de *S. hispanica* e de canola, por exemplo, Santos et al. (2012) e Simon et al. (2017)

verificaram redução gradativa nos comprimentos da parte aérea e da raiz primária e na massa seca das plântulas, conforme a diminuição do potencial hídrico.

Todavia, o uso de hormônios vegetais no tratamento de sementes tem favorecido o vigor e o acúmulo de fitomassa. Em trabalho realizado por Georgin et al. (2014) avaliando o uso de fitohormônios, dentre eles o ácido giberélico, de forma isolada ou em associação no tratamento de sementes de trigo, concluiu-se que esta substância se destacou por promover maior desenvolvimento inicial e estímulo a massa seca total de plântulas. Resultado semelhante foi verificado por Alleoni et al. (2000), em que a aplicação de fitohormônios via sementes na cultura do feijoeiro também favoreceu a população final de plântulas e o acúmulo de massa seca ao final do ciclo. Em condições de estresse hídrico, Ansari et al. (2013) constataram benefícios do uso de hormônios sobre o vigor de sementes de centeio, sendo este significativamente melhorado com a aplicação de 25 ppm de ácido giberélico e 75 ppm de ácido salicílico.

Quando se avalia a germinação, o comprimento e o acúmulo de fitomassa de plântulas, de forma conjunta, fica evidenciado efeito atenuador tanto do ácido giberélico quanto do ácido salicílico, pois proporcionaram incrementos para essas variáveis. Sob a influência desses compostos, a germinação pode ter sido favorecida, pois as sementes, quando expostas ao estresse hídrico, priorizam a translocação de reservas para o eixo embrionário e a continuação do crescimento das plântulas, conferindo um comportamento de tolerância ao estresse durante a germinação (SANTOS et al., 2012). Dessa forma, a principal estratégia de sobrevivência utilizada foi a de aumentar a distribuição de assimilados, como tentativa de compensar a restrição hídrica, elevando a taxa de crescimento (CHAVES et al., 2003).

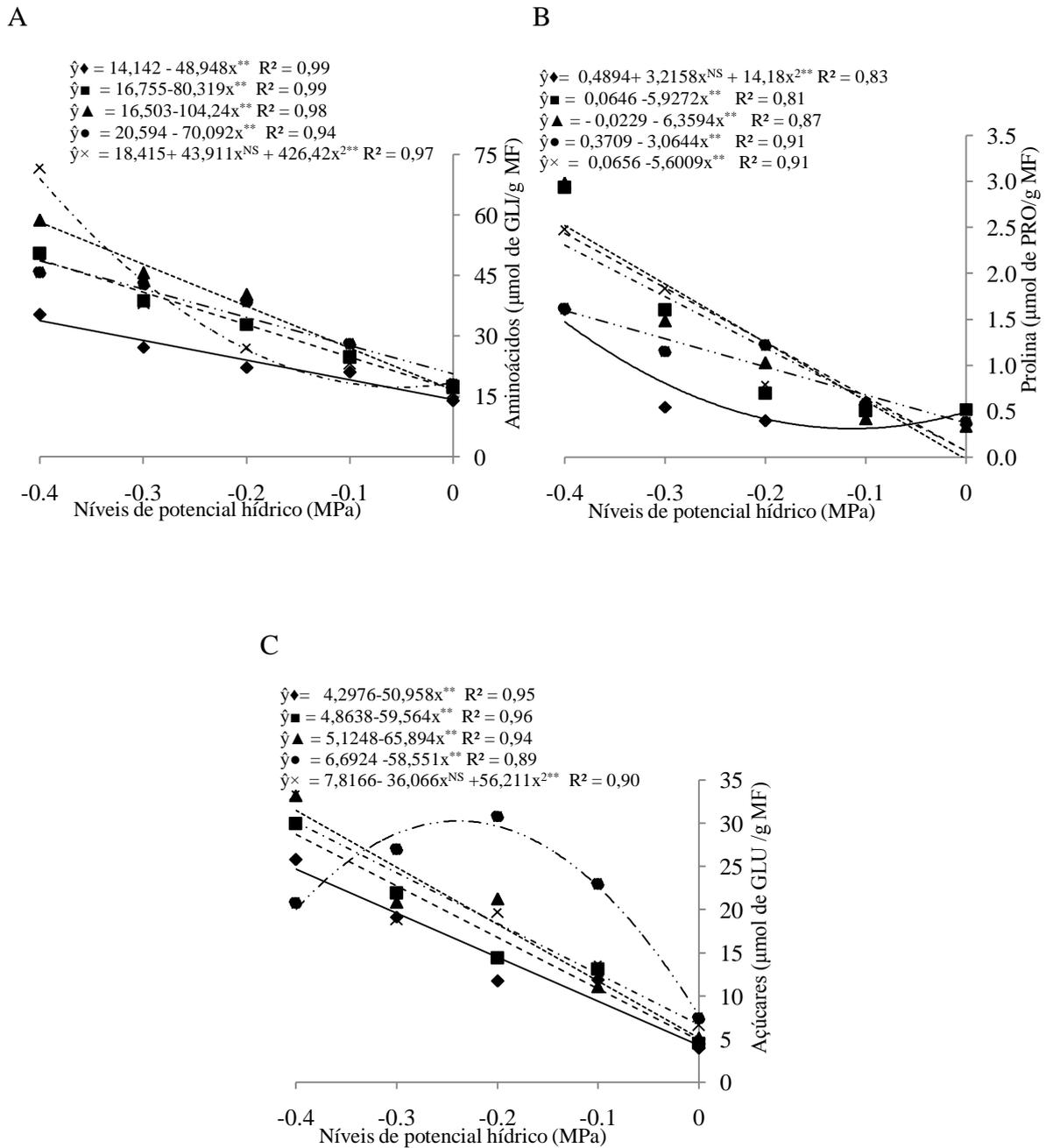
O hidrocondicionamento apresentou comportamento intermediário, dentre todos os tratamentos, para as variáveis analisadas, sendo inferiores aos obtidos pelos ácidos giberélico e salicílico. No que concerne à germinação, Marcos-Filho (2015) esclarece que quando as sementes são colocadas em contato com uma solução aquosa de um composto quimicamente inerte, mas osmoticamente ativo, como é o caso do PEG 6000, elas iniciam normalmente a embebição. Ainda, segundo o mesmo autor, paralisam o processo assim que entram em equilíbrio com o potencial osmótico da solução logo, a porcentagem e a velocidade de germinação são afetadas na medida em que diminui o potencial hídrico.

Os resultados obtidos para o peróxido de hidrogênio sugerem que foi utilizada uma concentração acima da suportada pelas sementes de *S. hispanica* para atenuação

dos efeitos do estresse, o que foi comprovado pela constatação do sintoma de queima no sistema radicular das plântulas, resultando em menores porcentagens de germinação, velocidade de germinação, comprimento de plântula e massa seca. O peróxido de hidrogênio já é produzido endogenamente nas plântulas em condições de estresse abiótico, como é o caso do estresse hídrico. Uma aplicação exógena desse composto, elevando a concentração deste nas células, pode alterar o metabolismo celular, causando danos aos carboidratos, proteínas, ácidos nucleicos e a peroxidação de lipídeos e de membranas, causando a perda de íons, hidrólise de proteínas e até danos ao DNA (AZEVEDO NETO et al., 2008).

Para aminoácidos, verificou-se aumento na síntese destes para todos os tratamentos com atenuadores em todos os potenciais hídricos avaliados, sendo superior ao tratamento controle (Figura 3A). Diferentemente do que foi verificado ao avaliar a germinação e o vigor das sementes de *S. hispanica*, o peróxido de hidrogênio contribuiu com o maior incremento, tendo proporcionado aumento de 74,98%, o que corresponde a uma concentração final de aminoácidos de 69,08 $\mu\text{mol GLI.g}^{-1}$ MF no potencial -0,4 Mpa, ao passo que para o controle essa concentração final foi de apenas 33,72 $\mu\text{mol GLI.g}^{-1}$ MF. Para os demais atenuadores, o incremento na síntese de aminoácidos foi de 71,64% para o ácido salicílico, 65,73% para o hidrocondicionamento e 57,61% para o ácido giberélico.

Esse resultado, de certa forma isolado, observado para o tratamento com peróxido de hidrogênio pode ser associado ao fato de que em condições de estresse abiótico pode ocorrer aumento do estresse oxidativo relacionado à aplicação exógena de peróxido de hidrogênio e a uma maior produção de espécies reativas de oxigênio. Geralmente, como consequência desse estresse oxidativo, os tecidos danificados apresentam aumento na atividade dos seus sistemas antioxidantes, como, por exemplo, a elevação na expressão das enzimas catalase, peroxidase e superóxido desmutase (KILIC; KAHRAMAN, 2016). Com isso, maior elevação na expressão dessas enzimas é acompanhada por aumento na síntese de aminoácidos, que são seus precursores, como forma de fortalecer o sistema antioxidante.



◆Controle; ■Hidrocondicionamento; ▲Ácido salicílico; ●Ácido giberélico; ×Peróxido de hidrogênio.

^{NS} e ^{**} = não significativo e significativo a 1% de probabilidade ($p < 0,01$), respectivamente.

Figura 3- Teores de aminoácidos (A), prolina (B) e açúcares solúveis totais (C) de plântulas de *Salvia hispanica* L. submetidas a diferentes atenuadores e potenciais hídricos.

Averiguou-se que os tratamentos com atenuadores também proporcionaram aumento no teor da prolina em relação ao tratamento controle a partir do potencial -0,2 MPa (Figura 3B). O ácido salicílico proporcionou aumentos de $0,63 \mu\text{mol PRO} \cdot \text{g}^{-1} \text{MF}$ a cada redução unitária no valor do potencial hídrico, resultando em um incremento de

99,22% na síntese desse osmólito ao atingir o menor potencial hídrico avaliado. O hidrocondicionamento, o peróxido de hidrogênio e o ácido giberélico também contribuíram, nesta ordem, para uma maior síntese de prolina, proporcionando aumentos de 97,12%, 96,97% e 76,73%, respectivamente.

Conforme destacado por McCue et al. (2000), em condições de estresse a síntese de prolina pode ser mediada por uma via alternativa, a via das pentoses fosfato. Esta via pode estar ligada à estimulação do metabolismo da prolina em resposta à aplicação de ácido salicílico, baseada na estimulação de glucose-6-fosfato-desidrogenase e ao concomitante aumento do conteúdo deste aminoácido. A prolina é um dos principais osmólitos envolvidos no ajuste osmótico. E este constitui um dos mecanismos mais eficazes para a manutenção da turgescência celular sob condições de baixo potencial hídrico. Esse mecanismo se estabelece mediante o acúmulo, no vacúolo ou no citosol, de solutos compatíveis que contribuem para a manutenção do equilíbrio hídrico e a preservação da integridade de proteínas, enzimas e membranas celulares (ASHRAF et al., 2011; MARIJUAN; BOSCH, 2013).

O ácido salicílico foi o atenuador que proporcionou maior síntese de açúcares, provocando aumento de 83,73%, ao partir de 5,12 μmol de GLU.g^{-1} MF em potencial hídrico de 0,0 MPa para 31,48 μmol de GLU.g^{-1} MF em potencial hídrico de -0,4 MPa (Figura 3C). O hidrocondicionamento e o ácido giberélico incrementaram a síntese de açúcares em 83,06% e 77,78%, respectivamente. O menor efeito atenuante para esta variável foi constatado para o peróxido de hidrogênio, que contribuiu com menos de 20% para a síntese de açúcares em plântulas de *S. hispanica* submetidas à condição de estresse hídrico.

Os açúcares encontrados nas folhas são alterados em quantidade e qualidade durante o estresse hídrico e podem agir como sinal em resposta ao estresse (CHAVES; OLIVEIRA, 2004). A função de sinalizadores dos açúcares pode ser adaptativa e está relacionado à osmorregulação (SINGH; GAUTAM, 2013). Acredita-se que tal aumento de açúcares nas plântulas submetidas a estresse hídrico esteja relacionado à finalidade de se manter o nível de água da folha e induzir um ajustamento osmótico na plântula, visando ao equilíbrio osmótico da célula (KERBAUY, 2004; SINGH; GAUTAM, 2013).

O condicionamento das sementes de *S. hispanica* com diferentes substâncias atenuadoras influencia positivamente na germinação e altera a composição bioquímica de vários solutos orgânicos envolvidos no processo de ajustamento osmótico, o que

torna o processo germinativo menos sensível aos efeitos do estresse hídrico. Neste trabalho, este fato foi constatado principalmente quando as sementes foram pré-embebidas em ácidos giberélico e salicílico.

4 CONCLUSÕES

O estresse hídrico reduziu a germinação, o vigor e o acúmulo de solutos orgânicos em sementes de *S. hispânica*, porém os ácidos salicílico e giberélico e o hidrocondicionamento, nessa ordem, foram eficientes na atenuação dos efeitos do estresse hídrico nesta espécie até o potencial hídrico de -0,4 MPa.

O tratamento com ácido giberélico proporcionou os maiores incrementos na germinação e no vigor das plântulas. Enquanto que o ácido salicílico além de ter incrementado a germinação e o vigor, favoreceu o acúmulo de solutos orgânicos em sementes de *S. hispânica* até o potencial hídrico de -0,4 MPa.

O peróxido de hidrogênio na concentração de 20 mM.L⁻¹ não exerceu ação mitigadora do estresse hídrico em sementes de *S. hispanica*.

REFERÊNCIAS

- AGOSTINI, E. A. T.; MACHADO-NETO, N. B.; CUSTÓDIO, C. C. Induction of water deficit tolerance by cold shock and salicylic acid during germination in the common bean. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 35, n. 3, p. 209-219, 2013.
- ALLEONI, B.; BOSQUEIRO, M.; ROSSI, M. Efeitos dos reguladores vegetais de Stimulate no desenvolvimento e produtividade do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*). **Ciências Exatas e da Terra, Ciências Agrárias e Engenharias**, Ponta Grossa, v.6, n.3, p.23-35, 2000.
- ANSARI, O., AZADI, M. S., SHARIF-ZADEH, F., YOUNESI, E. Effect of Hormone Priming on Germination Characteristics and Enzyme Activity of Mountain Rye (*Secale montanum*) Seeds under Drought Stress Conditions. **Journal of Stress Physiology & Biochemistry**, Irkutsk, v. 9, n. 3, p. 61-71, 2013.
- ASHRAF, M.; AKRAM, N.A.; ALQURAINY, F.; FOOLAD, M.R. Drought tolerance: roles of organic osmolytes, growth regulators, and mineral nutrients. **Advances in Agronomy**, Newark, v. 111, n. 1, p. 249-296, 2011.
- AZEVEDO NETO, A. D.; GOMES-FILHO, E.; PRISCO, J. T. Salinity and oxidative stress. In: KHAN, N. A.; SARVAJEET, S. (org.). **Abiotic Stress and Plant Responses**. IK International, New Delhi, 2008. p. 58-82.
- AZOOZ, M. M.; YOUSSEF, M. M. Evaluation of heat shock and salicylic acid treatments as inducers of drought stress tolerance in hassawi wheat. **American Journal of Plant Physiology**, Dubai, v. 5, n. 2, p. 56-70, 2010.
- BAILLY, C.; BOUTEAU, H. E. M.; CORBINEAU, F. From intracellular signaling networks to cell death: the dual role of reactive oxygen species in seed physiology. **Comptes Rendus Biologies**, Paris, v. 331, n. 10, p. 806-814, 2008.
- BARBA-ESPÍN, G.; HERNÁNDEZ, J. A.; DIAZ-VIVANCOS, P. Role of H₂O₂ in pea seed germination. **Plant Signaling & Behavior**, Rockville Pike, v. 7, n. 2, p. 193-195, 2012.
- BATES, L. S.; WALDREN, R. P.; TEARE, I. D. Rapid determination of free proline for water-stress studies. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 39, n. 1, p. 205-207, 1973.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília, DF: MAPA/ACS, 2009. 395p.
- CARVALHO, P. R.; MACHADO NETO, N. B.; CUSTÓDIO, C. C. Ácido salicílico em sementes de calêndula (*Calendula officinalis* L.) sob diferentes estresses. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 29, n. 1, p. 114-124, 2007.
- CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 5 ed. Jaboticabal, SP: FUNEP. 2012.

CHAVES, M. M.; OLIVEIRA, M. M. Mechanisms underlying plant resilience to water deficits: prospects for water-saving agriculture. **Journal of Experimental Botany**, Londres, v. 55, n. 407, p. 2365-2384, 2004.

CHAVES, M.M.; MAROCO, J.P.; PEREIRA, J.S. Understanding plant responses to drought: from genes to the role plant. **Functional Plant Biology**, Clayton South, v. 30, n. 3, p. 239-264, 2003.

COLMAN, B. A.; NUNES, C. M.; MASSON, G. L.; BARBOSA, R. H.; NUNES, A. S. Indução de tolerância ao estresse hídrico na germinação de sementes de feijão-caupi. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 5, n. 4, p. 449-455, 2014.

FARDUS, J.; MATIN, M. A.; HASANUZZAMAN, M.; HOSSAIN, M. A.; HASANUZZAMAN, M. Salicylic acid-induced improvement in germination and growth Parameters of wheat under salinity stress. **The Journal of Animal & Plant Sciences**, Lahore, v. 28, n. 1, p. 197-207, 2018.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

GEORGIN, J.; LAZZARI, L.; LAMEGO, F. P.; CAMPONOGARA, A. Desenvolvimento inicial de trigo (*Triticum aestivum*) com uso de fitohormônios, zinco e inoculantes no tratamento de sementes. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v. 18, n. 4, p. 1318-1325, 2014.

GONDIM, F. A.; GOMES-FILHO, E.; LACERDA, C. F.; PRISCO, J. T.; AZEVEDO NETO, A. D.; MARQUES, E. C. Pretreatment with H₂O₂ in maize seeds: effects on germination and seedling acclimation to salt stress. **Brazilian Journal Plant Physiology**, Campos dos Goytacazes, v. 22, n. 2, p. 103-112, 2010.

GUEDES, R. S.; ALVES, E. U.; VIANA, J. S.; GONÇALVES, E. P.; LIMA, C. R.; SANTOS, S. R. N. germinação e vigor de sementes de *Apeiba tibourbou* submetidas ao estresse hídrico e diferentes temperaturas. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 1, p. 45-53, 2013.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan S.A, 2004.

KILIC, S.; KAHRAMAN, A. The mitigation effects of exogenous hydrogen peroxide when alleviating seed germination and seedling growth inhibition on salinity-induced stress in barley. **Polish Journal of Environmental Studies**, Olsztyn, v. 25, n. 3, p. 1053- 1059, 2016.

LAWLOR, D.W.; CORNIC, G. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. **Plant Cell and Environment**, Hoboken, v. 25, n. 2, p. 275-294, 2002.

MAGUIRE, J. D. Speed of germination aid in selection and evaluation for seedling and vigour. **Crop Science**, Madison, v. 2, n. 2, p. 176-177, 1962.

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

MARDANI, H., BAYAT, H.; SAEIDNEJAD, A. H.; REZAIE, E. Assessment of salicylic acid impacts on seedling characteristic of cucumber (*Cucumis sativus* L.) under water stress. **Notulae Scientia Biologicae**, Cluj-Napoca, v. 4, n. 1, p. 112-115, 2012.

MARIJUAN, M. P.; BOSCH, S. M. Ecophysiology of invasive plants: osmotic adjustment and antioxidants. **Trends in Plant Science**, Londres, v.1 8, n. 12, p. 660-666, 2013.

MCCUE, P.; ZHENG, Z.; PINKHAM, J. L.; SHETTY, K. A model for enhanced pea seedling vigour following low pH and salicylic acid treatments. **Process Biochemistry**, Amsterdam, v. 53, n. 6, p. 603- 613, 2000.

MIGLIAVACCA, R. A.; SILVA, T. R. B.; VASCONCELOS, A. L. S.; MOURÃO FILHO, W.; BAPTISTELLA, J. L. C. O cultivo da chia no Brasil: futuro e perspectivas. **Journal of Agronomic Sciences**, Umuarama, v. 3, n. especial, p. 161-179, 2014.

PAIVA, E. P.; TORRES, S. B.; SÁ, F. V. S.; NOGUEIRA, N. W.; FREITAS, R. M. O.; LEITE, M. S. Light regime and temperature on seed germination in *Salvia hispanica* L. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 38, n. 4, p. 513-519, 2016.

PAIVA, E. P. **Germinação e alterações fisiológicas em sementes de chia (*Salvia hispanica* L.) sob condições abióticas**. 2017. 110f. Tese (Doutorado em Fitotecnia)-Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2017. Disponível em: <<https://ppgfito.ufersa.edu.br/wp-content/uploads/sites/45/2015/02/Tese-2017-EMANOELA-PEREIRA-DE-PAIVA.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2018.

PATADE, V. Y., MAYA, K., ZAKWAN, A. Seed priming mediated germination improvement and tolerance to subsequent exposure to cold and salt stress in capsicum. **Research Journal of Seed Science**, Nova Iorque, v. 4, n. 3, p. 125 -136, 2011.

SAGLAM, S.; DAY, S.; KAYA, G.; GÜRBÜZ, A. Hydropriming increases germination of lentil (*Lens culinaris* Medik.) under water stress. **Notulae Scientia Biologicae**, Cluj-Napoca, v. 2, n. 2, p. 103-106, 2010.

SANTOS, A.; SCALON, S. P. Q.; MASETTO, T. E.; NUNES, D. P. Disponibilidades hídricas do substrato na qualidade fisiológica de sementes de canola com diferentes teores de água. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 5, n. 18, p. 356-364, 2012.

SHAKIROVA, F. M.; SHAKHBUTDINOVA, A. R.; BEZRUKOVA, M. V.; FATKHUTDINOVA, R. A.; FATKHUTDINOVA, D. R. Changes in the hormonal status of wheat seedling induced by salicylic acid and salinity. **Plant Science**, Oxford, v. 164, n. 3, p. 317-322, 2003.

SILVA, T. A.; SILVA, P. B.; SILVA, E. A. A.; NAKAGAWA, J.; CAVARIANI, C. Condicionamento fisiológico de sementes de soja, componentes de produção e produtividade. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 46, n. 2, p. 227-232, 2016.

SILVA, A. C.; SUASSUNA, J. F.; MELO, A. S.; COSTA, R. R.; ANDRADE, W. L.; SILVA, D. C. Salicylic acid as attenuator of drought stress on germination and initial development of sesame. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 21, n. 3, p. 156-162, 2017.

SIMON, C. A.; SORANA, C. K. P. M.; ALVES, C. Z. Estresse hídrico na germinação e vigor de sementes de chia. **Revista de Ciências Agroambientais**, Alta Floresta, v. 15, n. 1, p. 1- 5, 2017.

SINGH, P. K.; GAUTAM, S. Role of salicylic acid on physiological and biochemical mechanism of salinity stress tolerance in plants. **Acta Physiologiae Plantarum**, Varsóvia, v. 35, n. 8, p. 2345-2353, 2013.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6 ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

TIAN, Y.; GUAN, B.; ZHOU, D.; YU, J.; LI, G.; LOU, Y. Responses of Seed Germination, Seedling Growth, and Seed Yield Traits to Seed Pretreatment in Maize (*Zea mays* L.). **The Scientific World Journal**, Londres, v. 2014, n. 1, p. 1-8, 2014.

VILLELA, F. A.; DONI FILHO, L.; SEQUEIRA, E. L. Tabela de potencial osmótico em função da concentração de polietileno glicol 6000 e da temperatura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 26, n. 11/12, p. 1957-1968, 1991.

YEMM, E. W.; COCCKING, E. C. The determination of amino-acid with ninhydrin. **Analyst**, Londres, v. 80, n. 2, p. 209-213, 1955.

YEMM, E. W.; WILLIS, A. J. The estimation of carbohydrates in plant extracts by anthrone. **Biochemical Journal**, Colchester, v. 57, n. 3, p. 508-514, 1954.

YOUNG, L. M.; EVANS, M. L. Patterns of auxin and abscisic acid movement in the tips of gravistimulated primary roots of maize. **Plant Growth Regulation**, Netherlands, v. 20, n. 3, p. 253-258, 1996.

ZANATTA, T. P.; LIBERA, D. D.; SILVA, V. R.; WERNER, C. J.; ZANATTA, M. M. Análise do crescimento da cultura da chia (*Salvia hispanica*). **Revista Cultivando o Saber**, Cascavel, v. 9, n. 3, p. 377-390, 2016.

CAPÍTULO 3

GERMINAÇÃO E ACÚMULO DE SOLUTOS EM *Salvia hispanica* L. SUBMETIDA A ATENUADORES DO ESTRESSE SALINO

RESUMO

Salvia hispanica tem sido recomendada como cultura alternativa para os produtores rurais que necessitam de novas fontes produtivas para diversificar a produção. Entretanto, essa espécie é sensível à salinidade, com seus efeitos atuando negativamente sobre a germinação. O condicionamento de sementes com diferentes substâncias atenuadoras tem sido utilizado devido ao seu potencial na mitigação de efeitos do estresse salino, porém ainda não há relatos na literatura sobre o uso dessas substâncias em sementes de *S. hispanica*. Desse modo, objetivou-se avaliar a ação de diferentes agentes como atenuadores do estresse salino na germinação e desenvolvimento inicial de plântulas de *S. hispanica*. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com tratamentos distribuídos em esquema fatorial 5 x 5, correspondente a cinco atenuadores e cinco potenciais osmóticos, com quatro repetições de 50 sementes para cada tratamento. Os tratamentos consistiram na pré-embebição das sementes durante 4 horas em ácido salicílico (1 mM.L⁻¹), ácido giberélico (0,4 mM.L⁻¹), peróxido de hidrogênio (20 mM.L⁻¹), água destilada e o tratamento controle (sem embebição). As sementes foram germinadas sob os potenciais osmóticos 0,0, -0,1, -0,2, -0,3 e -0,4 MPa, utilizando NaCl como agente osmótico. As variáveis analisadas foram: porcentagem de germinação, índice de velocidade de germinação, comprimento da parte aérea e da raiz primária, massa seca total, prolina, açúcares e aminoácidos livres totais. Os dados foram submetidos à análise de variância (p<0,05) e, em caso de significância, foram aplicados o teste de Tukey (p<0,05) para os atenuadores e regressão polinomial (p<0,05) para os níveis de potencial osmótico e para interação. O condicionamento de sementes de *S. hispanica* com ácido salicílico foi o mais eficiente na atenuação dos efeitos do estresse salino, proporcionando incrementos na germinação, no vigor e no acúmulo de solutos em sementes de *S. hispanica* até o potencial osmótico de -0,4 MPa.

Palavras-chave: Chia; Salinidade; Potenciais osmóticos; Atenuadores de estresse.

1 INTRODUÇÃO

A chia (*Salvia hispanica* L.) tem se apresentado como cultura alternativa para os produtores rurais que necessitam de novas fontes produtivas para diversificar a produção (BUSILACCHI et al., 2013). Devido ao fato de que pode crescer em ambientes áridos, essa espécie tem sido recomendada como opção às culturas tradicionalmente cultivadas, como também por ser apontada como tolerante a fatores abióticos (MIGLIAVACA et al., 2014).

Entretanto, as espécies do gênero *Salvia*, incluindo a *S. hispanica*, são consideradas sensíveis à salinidade, com seus efeitos atuando principalmente sobre a germinação e sobre a composição química das sementes, alterando o rendimento de óleo e a porcentagem de ácidos graxos presentes (GORAI et al., 2011; ; DAL'MASO et al., 2013; ROSA et al., 2015; STEFANELLO et al., 2015; FALCO et al., 2017; PAIVA et al., 2018). A salinidade tem efeitos adversos sobre o desenvolvimento das plantas, portanto melhorar a germinação e a emergência de sementes terá resultados positivos sob condições de estresse salino na produção agrícola (SHU et al., 2017).

Uma das alternativas para minimizar os efeitos danosos dos sais às plantas é o emprego de substâncias, como reguladores vegetais, que reduzam a intensidade desses efeitos sobre o crescimento inicial das plântulas possibilitando o uso de águas salinas (OLIVEIRA et al., 2015). Entre eles, há fortes indícios de que o ácido salicílico participe da sinalização do estresse salino, regulando a resposta antioxidante nas plantas e conferindo resistência e proteção contra danos oxidativos (NORIEGA et al., 2012). Além disso, uma oferta exógena de ácido giberélico pode promover o processo germinativo nas sementes, recompondo os níveis desse fitohormônio, que tem sua biossíntese negativamente regulada pela salinidade (SHU et al., 2017).

Tratamentos envolvendo a embebição de sementes ou a pulverização foliar com H₂O₂ em baixas concentrações também podem induzir à tolerância à salinidade por estimular a modulação de múltiplos processos fisiológicos e metabólicos, tais como fotossíntese, acúmulo de prolina ou de proteínas de defesa e desintoxicação de espécies reativas de oxigênio, resultando em uma melhor resposta em ambientes de estresse (HOUSSAIN et al., 2015).

Nesse sentido, a técnica do hidrocondicionamento também tem sido empregada como uma abordagem fisiológica para fazer com que espécies glicófitas se adaptem a condições salinas (MATIAS et al., 2015). Por meio desse processo, ocorre a hidratação

controlada das sementes que desencadeia muitos dos processos fisiológicos associados à fase inicial da germinação e prepara a semente para a protrusão da radícula, tornando-se um meio eficaz para melhorar a emergência das plântulas, especialmente em um ambiente adverso (MARCOS-FILHO, 2015). Com isso, o condicionamento das sementes com substâncias atenuadoras constitui um mecanismo importante de resistência induzida contra estresses abióticos, tornando-as mais tolerantes a condições adversas (HOUSSAIN et al., 2015).

Desse modo, objetivou-se avaliar a ação de diferentes agentes como atenuadores do estresse salino na germinação e composição bioquímica de plântulas de *S. hispanica*.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório de Análise de Sementes do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró, RN. Foram utilizadas sementes de *S. hispanica* oriundas de um campo de produção comercial, localizado no município de Santana do Livramento, Rio Grande do Sul (30° 53' 27" S, 55° 31' 58" W e 208 m de altitude). As sementes foram beneficiadas manualmente, acondicionadas em saco plástico transparente (0,15 mm de espessura) e armazenadas em câmara fria e seca ($10 \pm 2^\circ\text{C}$ e 50% de umidade relativa do ambiente) durante todo o período experimental.

O delineamento estatístico utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5 x 5, sendo cinco atenuadores de estresse (testemunha, hidrocondicionamento, ácido salicílico, ácido giberélico e peróxido de hidrogênio) e cinco potenciais osmóticos (0,0; -0,1; -0,2; -0,3 e -0,4 MPa), com quatro repetições de 50 sementes para cada tratamento.

As sementes foram embebidas por 4 horas nas soluções dos atenuadores: ácido salicílico (1 mM.L^{-1}), ácido giberélico ($0,4 \text{ mM.L}^{-1}$), peróxido de hidrogênio (20 mM.L^{-1}), água destilada e o tratamento controle (sem embebição). Em seguida, foram semeadas sob duas folhas de papel mata-borrão acondicionadas em caixas plásticas transparentes (Gerbox[®]) e hidratadas com soluções de cloreto de sódio (NaCl), no volume de 2,5 vezes o peso seco do papel, para determinar a condição de estresse salino. Foram utilizadas soluções de NaCl nas seguintes concentrações: 0,0 (controle); -0,1; -0,2; -0,3 e -0,4 MPa (PAIVA et al., 2018). A condutividade elétrica das soluções foi verificada com o auxílio de um condutivímetro e no nível zero foi utilizada apenas água destilada para umedecer o substrato.

Os testes de germinação foram conduzidos em germinadores do tipo *Biochemical Oxygen Demand* (B.O.D.), regulados à temperatura de 25 °C com fotoperíodo de 8 horas de luz (PAIVA et al., 2016). As contagens foram realizadas diariamente até o oitavo dia após a semeadura, sendo consideradas germinadas as sementes que haviam emitido a raiz primária e parte aérea da plântula (BRASIL, 2009).

As variáveis analisadas foram:

a) **Porcentagem de germinação** - expressa o percentual de plântulas normais germinadas em cada tratamento.

b) **Índice de velocidade de germinação** - conduzido simultaneamente ao teste de germinação, em que as sementes foram avaliadas diariamente, a partir do início da germinação até o oitavo dia após a semeadura. O índice foi calculado conforme a equação proposta por Maguire (1962).

c) **Comprimento da parte aérea e da raiz primária** – as plântulas normais de cada tratamento foram medidas com o auxílio de uma régua graduada em centímetros, medindo-se da base do colo ao ápice da plântula, para o comprimento da parte aérea e da base do colo à extremidade da raiz para o comprimento da raiz primária das plântulas.

d) **Massa seca total de plântulas** – depois de mensuradas, as plântulas foram acondicionadas em sacos de papel e levadas à estufa com circulação de ar forçada, regulada a 65 °C por 72 h, até obtenção do peso seco constante, sendo posteriormente pesadas em balança analítica de precisão (0,001 g).

e) **Açúcares solúveis totais** - as amostras foram obtidas a partir da massa fresca de partes aéreas e radiculares das plântulas coletadas após oito dias de estresse. Para a extração dos açúcares, primeiramente foram pesados 0,2 g de massa fresca e colocados em tubos e adicionados 3 ml de álcool. Em seguida, o material foi macerado em macerador automático. O sobrenadante do tubo foi coletado para quantificação dos açúcares. A dosagem de açúcares solúveis totais foi determinada pelo método da antrona (YEMM; WILLIS, 1954), utilizando-se a glucose como substância padrão e os resultados sendo expressos em μmol de GLU.g⁻¹ de massa fresca.

f) **Aminoácidos livres totais** – foram colocados 0,2 g de massa fresca em tubos contendo 3 ml de álcool. Os tubos foram hermeticamente fechados e aquecidos em banho-maria a 60 °C por 20 minutos. Para a quantificação dos teores de aminoácidos, realizou-se a medição da absorbância a 570 nm, com a aplicação do método da nihidrina ácida (YEMM; COCKING, 1955), tendo a glicina como substância padrão e os resultados sendo expressos em μmol GLI.g⁻¹ de massa fresca.

g) **Prolina** – a determinação de prolina obedeceu à metodologia descrita por Bates et al. (1973). Para isso, colocou-se 0,2 g de massa fresca em tubos contendo 3mL de álcool, que foram hermeticamente fechados e aquecidos em banho-maria a 60 °C por 20 minutos. As concentrações de prolina foram determinadas com base em uma curva padrão obtida a partir de L-Prolina, sendo os resultados expressos em μmol PRO.g⁻¹ de massa fresca.

Os resultados foram submetidos à análise de variância ($p < 0,05$) e, em caso de significância, foram aplicados o teste de Tukey ($p < 0,05$) para os atenuadores e regressão polinomial ($p < 0,05$) para os níveis de potencial osmótico e para interação com o auxílio do programa estatístico SISVAR[®] (FERREIRA, 2011).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentaram interação significativa ao nível de 1% de probabilidade para quase todas as variáveis analisadas, com exceção da variável massa seca total de plântulas, que apresentou efeito isolado para atenuador ($p < 0,01$) e para potencial osmótico ($p < 0,05$) (Tabela 2).

Tabela 1- Resumo da análise de variância das variáveis porcentagem de germinação (PG), índice de velocidade de germinação (IVG), comprimento da parte aérea (CPA), comprimento da raiz (CR), massa seca total (MST), aminoácidos, prolina e açúcares de plântulas de *Salvia hispanica* L. germinadas sob diferentes atenuadores e potenciais osmóticos.

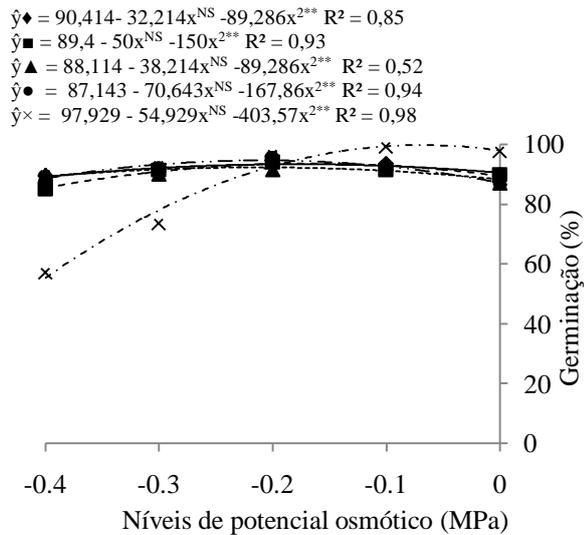
Fonte de variação	GL	Quadrado médio			
		PG	IVG	CPA	CR
Atenuador (A)	4	157,26**	56,48**	7,99**	13,53**
Potencial (P)	4	506,26**	211,99**	16,90**	8,60**
A x P	16	254,81**	11,28**	0,55**	0,31**
Erro	75	17,81	0,69	0,06	0,17
CV (%)		4,71	5,18	12,28	15,43
Média Geral		89,64	16,06	2,08	2,69

Fonte de variação	GL	Quadrado médio			
		MST	Aminoácidos	Prolina	Açúcares
Atenuador (A)	4	40,99**	43,85**	2,29**	524,07**
Potencial (P)	4	3,49*	114,28**	0,34**	729,52**
A x P	16	0,56 ^{ns}	11,09**	0,59**	176,80**
Erro	75	0,99	0,72	0,05	2,29
CV (%)		12,85	8,44	17,73	6,78
Média Geral		7,77	22,35	1,26	10,11

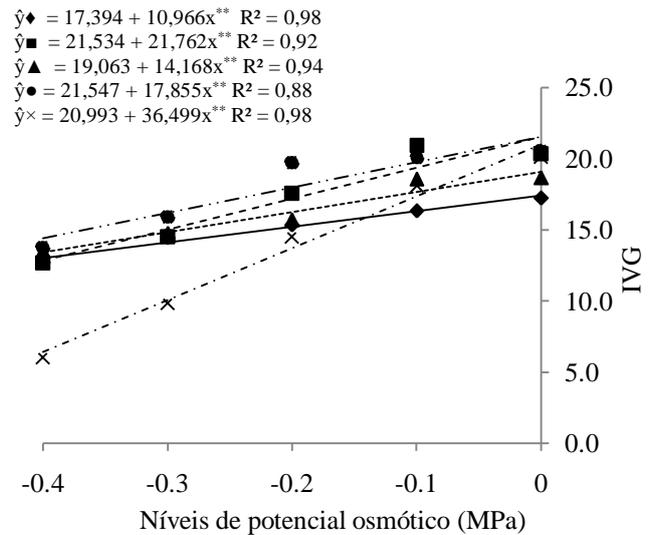
** significativo a 1%; * significativo a 5%; ^{ns} não significativo a 5%; CV- coeficiente de variação.

Para porcentagem de germinação (Figura 1A), verificou-se comportamento quadrático para todos os tratamentos empregados. No tratamento controle, a maior germinação obtida foi 93% no potencial -0,18MPa, com redução total de 4%, registrando 89% na germinação a -0,4 MPa. O único tratamento que apresentou redução total na porcentagem de germinação inferior ao tratamento controle foi o ácido salicílico, com 3%,. Os demais tratamentos não apresentaram efeito atenuador para esta variável, tendo registrado redução total na germinação superior ao tratamento controle com o decréscimo do potencial osmótico do substrato. O ácido giberélico reduziu 6%; o hidrocondicionamento, 8% e o peróxido de hidrogênio, 44,5%.

A



B



\blacklozenge Controle; \blacksquare Hidrocondicionamento; \blacktriangle Ácido salicílico; \bullet Ácido giberélico; \times Peroxido de hidrogênio.
^{NS} e ^{**} = não significativo e significativo a 1% de probabilidade ($p < 0,01$), respectivamente.

Figura 1- Germinação (A) e índice de velocidade de germinação- IVG (B) de sementes de *Salvia hispanica* L. submetidas a diferentes atenuadores e potenciais osmóticos.

Em sementes, o excesso de sais causa restrição da absorção de água devido à diminuição do potencial osmótico do substrato (CHAVES et al., 2009), retardando a embebição das sementes ou o alongamento da raiz, além de provocar toxicidade nos tecidos devido ao acúmulo em excesso dos íons Na^+ e Cl^- (ESTEVES; SUZUKI, 2008; GÓIS et al., 2008). A toxicidade iônica pode ainda ocasionar o atraso da emergência das plântulas e da mobilização de reservas ou até diminuir a viabilidade das sementes na medida em que afeta processos fisiológicos e metabólicos dos tecidos embrionários (MUNNS; TESTER, 2008; VOIGT et al., 2009).

A interação entre salinidade e ácido salicílico possivelmente induziu os genes que codificam a resistência ao sal e atuaram sobre a germinação, aumentando a atividade fisiológica e a mobilização do material de reserva necessário ao crescimento embrionário (JINI; JOSEPH, 2017). Segundo Anaya et al. (2018), a atividade metabólica em sementes tratadas com ácido salicílico começa muito antes do aparecimento da radícula e da plúmula. Portanto, sementes tratadas germinam mais cedo do que as não tratadas. Além disso, os autores destacam que o ácido salicílico em baixas concentrações induz e maximiza a germinação, pois é possível que estimule a germinação das sementes via biossíntese de ácido giberélico (ANAYA et al., 2018).

Em trabalho realizado por Turkyilmaz (2012) com sementes de trigo, o autor também observou inibição na germinação das sementes pela salinidade. No entanto, tratamentos com ácido salicílico nas concentrações de 200 e 400 ppm proporcionaram aumentos de 3,19% e 4,44% na taxa de germinação em relação ao controle, tendo sido eficiente na mitigação dos efeitos da salinidade sobre esse parâmetro. Fardus et al. (2018), também trabalhando com sementes de trigo, verificaram que o pré-tratamento das sementes com 1 mM de ácido salicílico resultou em maior porcentagem de germinação nas sementes submetidas a salinidade. Anaya et al. (2018), constatou efeito benéfico do tratamento de feijão-fava com ácido salicílico, onde observou-se o aumento da germinação sob vários níveis de estresse, reduzindo efeitos inibitórios do estresse salino, principalmente na concentração de 0,25 mM.

Para índice de velocidade de germinação, verificou-se comportamento linear decrescente (Figura 1B). O estresse salino reduziu o IVG do tratamento controle de 17,39 a 0,0 MPa para 13,01 a -0,4 MPa, uma redução de 1,09 unidades no IVG a cada redução unitária no valor do potencial osmótico. Os tratamentos com atenuadores apresentaram IVG superior ao tratamento controle, com exceção do peróxido de hidrogênio. No menor potencial osmótico estudado, o ácido giberélico e o ácido salicílico apresentaram os maiores índices: 14,40 e 13,39 a -0,4 MPa, respectivamente.

O hidrocondicionamento e o peróxido de hidrogênio apresentaram as maiores reduções no IVG no menor potencial osmótico, sendo inferiores ao tratamento controle. As reduções unitárias foram de 3,65 para o peróxido de hidrogênio e 2,17 para o hidrocondicionamento. A técnica do hidrocondicionamento pode ser utilizada como pré-tratamento das sementes em água destilada. Por meio dessa técnica, ocorre a hidratação parcial das sementes, suficiente para promover atividades metabólicas sem, contudo, permitir a protrusão da raiz primária (PINEDO; FERRAZ, 2008). Todavia, no presente trabalho essa técnica não foi eficiente para potenciais osmóticos de inferiores a -0,3 MPa (Figura 1B). No tocante ao peróxido de hidrogênio, é sabido que altos níveis de H₂O₂ podem causar danos irreversíveis às células, interferindo em diversos processos metabólicos dos vegetais, porém, em baixas concentrações, esta molécula pode agir como sinalizador da germinação e da tolerância ao estresse (BAILLY et al., 2008). Nesse contexto, é provável que a concentração utilizada no presente trabalho ainda esteja acima dos níveis tolerados pela *S. hispanica*.

Essa melhoria na velocidade de germinação pode ser explicada pela capacidade do ácido giberélico em atuar como sinal químico para a ativação de genes que codificam

enzimas hidrolíticas. Enzimas como amilases, proteases e, em alguns casos, lípases, desempenham papéis vitais no crescimento e desenvolvimento iniciais do embrião (TSEGAY; ANDARGIE, 2018). Qualquer aumento na atividade dessas enzimas pode resultar em germinação vigorosa e precoce (TAIZ et al., 2017).

Tian et al. (2014), trabalhando com sementes de milho pré-tratadas com ácido giberélico, verificaram que o índice de velocidade de germinação foi significativamente aumentado com o condicionamento das sementes em 10 mg.L⁻¹ de ácido giberélico. Efeito similar foi observado por Tsegay e Andargie (2018), quando as sementes de milho foram submetidas à salinidade. Segundo esses autores, o condicionamento das sementes com ácido giberélico a 0,2 g.L⁻¹ reduziu o tempo necessário à germinação.

O comprimento da parte aérea das plântulas de *S. hispanica* também foi alterado pela salinidade: observou-se redução acompanhando o decréscimo do potencial osmótico do substrato, sendo a maior diminuição observada para o tratamento controle (76,38%), que registrou decréscimos unitários de 0,65 cm (Figura 2A). Para os atenuadores, o maior comprimento de parte aérea foi registrado para o ácido giberélico (4,28 cm), sendo o mais eficiente em proporcionar as menores reduções nessa variável (15,65%) conforme decrescia o valor do potencial osmótico, seguido pelo hidrocondicionamento (69,94%) e ácido salicílico (73,60%). O peróxido de hidrogênio apresentou os menores resultados, culminando com comprimentos de parte aérea inferiores a todos os tratamentos, inclusive ao tratamento controle, em todos os potenciais osmóticos avaliados.

A

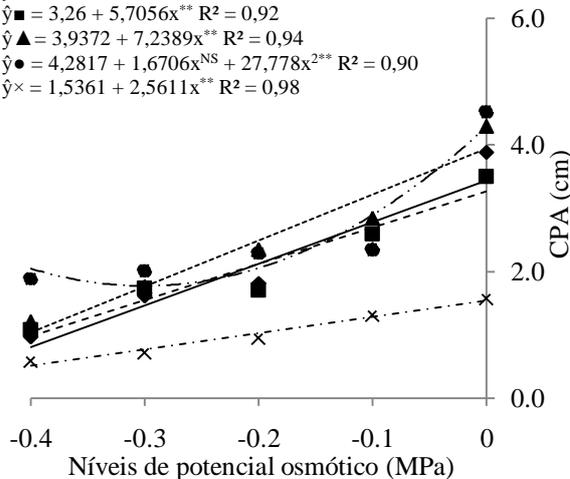
$$\hat{y}_{\blacklozenge} = 3,4344 + 6,5611x^{**} R^2 = 0,89$$

$$\hat{y}_{\blacksquare} = 3,26 + 5,7056x^{**} R^2 = 0,92$$

$$\hat{y}_{\blacktriangle} = 3,9372 + 7,2389x^{**} R^2 = 0,94$$

$$\hat{y}_{\bullet} = 4,2817 + 1,6706x^{NS} + 27,778x^{2**} R^2 = 0,90$$

$$\hat{y}_{\times} = 1,5361 + 2,5611x^{**} R^2 = 0,98$$



B

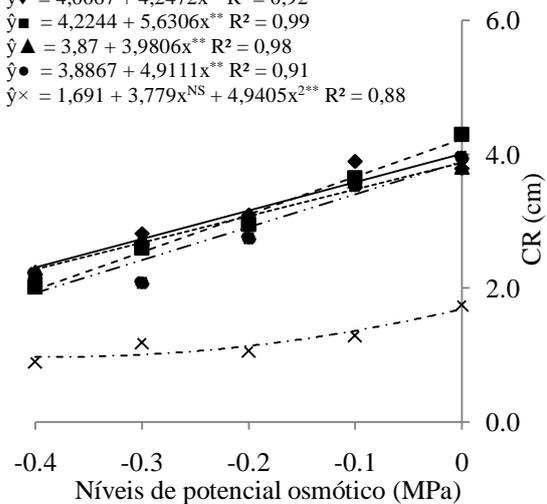
$$\hat{y}_{\blacklozenge} = 4,0067 + 4,2472x^{**} R^2 = 0,92$$

$$\hat{y}_{\blacksquare} = 4,2244 + 5,6306x^{**} R^2 = 0,99$$

$$\hat{y}_{\blacktriangle} = 3,87 + 3,9806x^{**} R^2 = 0,98$$

$$\hat{y}_{\bullet} = 3,8867 + 4,9111x^{**} R^2 = 0,91$$

$$\hat{y}_{\times} = 1,691 + 3,779x^{NS} + 4,9405x^{2**} R^2 = 0,88$$



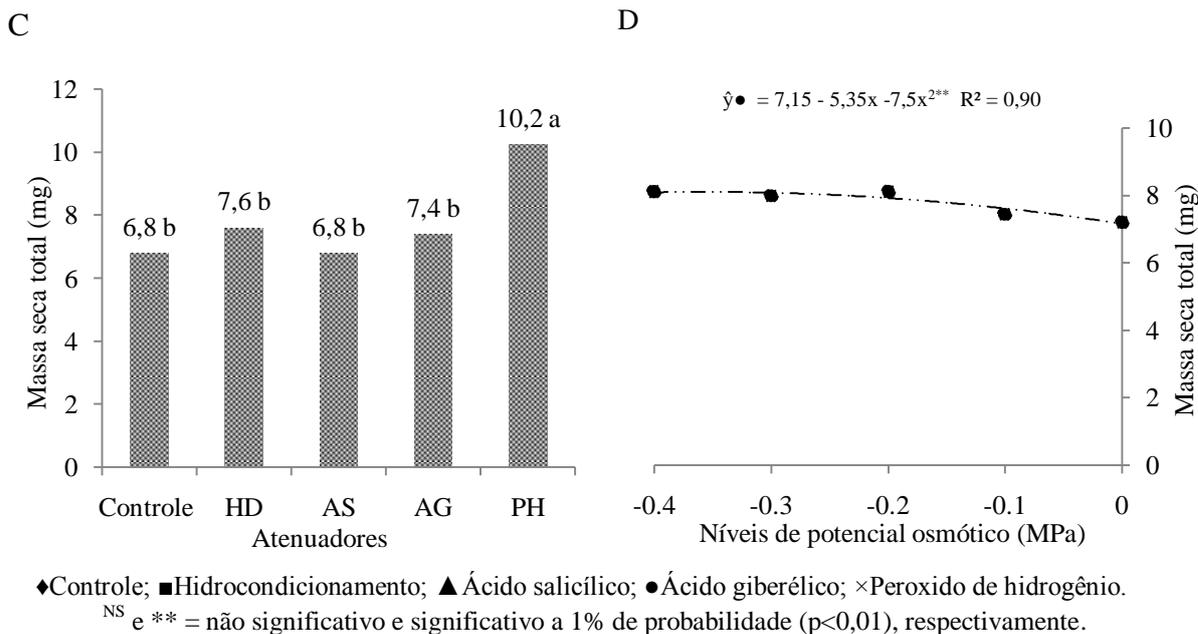


Figura 2- Comprimento da parte aérea- CPA (A), comprimento da raiz- CR (B) e massa seca total de plântulas (C e D) de *Salvia hispanica* L. submetidas a diferentes atenuadores e potenciais osmóticos.

Uma aplicação exógena de ácido giberélico em sementes pode neutralizar os efeitos adversos do NaCl sobre o crescimento das plântulas, pois as giberelinas interagem com outros hormônios para regular vários processos metabólicos nas plantas, incluindo o crescimento (TSEGAY; ANDARGIE, 2018). Efeitos positivos do condicionamento de sementes de milho e ervilha com ácido giberélico foram verificados por Tsegay e Andargie (2018), que relataram que o tratamento das sementes com ácido giberélico melhorou significativamente o crescimento de plântulas dessas espécies até o potencial 8 dS.m⁻¹.

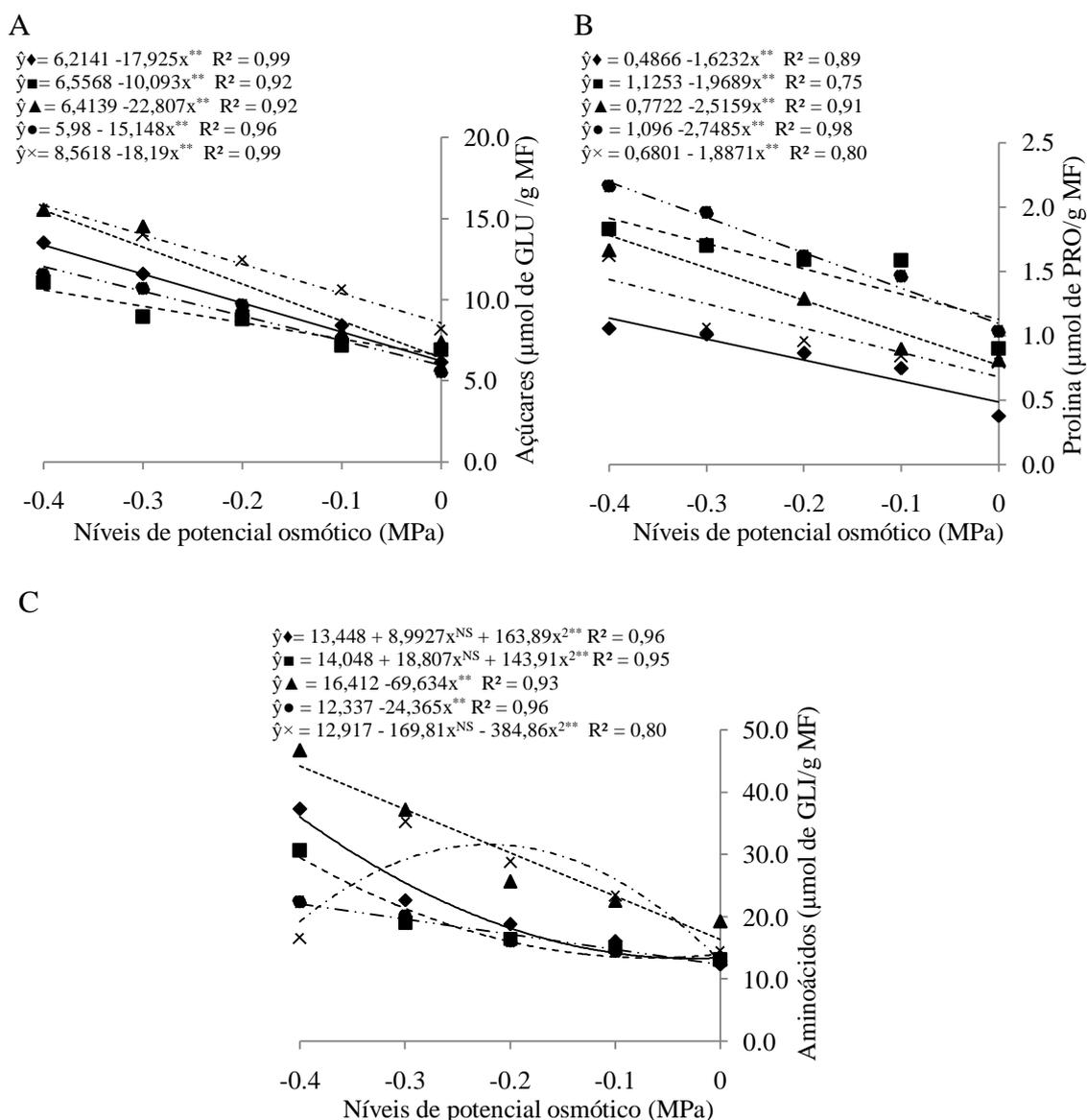
O comprimento da raiz primária também foi afetado pelo aumento da salinidade (Figura 2B). Para essa variável, o ácido salicílico apresentou o melhor resultado, tendo proporcionado a menor redução total no comprimento da raiz, 41,08%. O ácido giberélico, o hidrocondicionamento e o peróxido de hidrogênio não foram eficientes na atenuação dos efeitos do estresse salino sobre o crescimento da raiz primária, tendo apresentado os menores comprimentos de raiz com o decréscimo do potencial osmótico, sendo inferior ao tratamento controle. O tratamento controle proporcionou redução total nessa variável na ordem de 42,39%, ao passo que o ácido giberélico reduziu 50,64% e o hidrocondicionamento, 53,32%. Dentre os tratamentos empregados, o peróxido de

hidrogênio apresentou os menores comprimentos de raiz em todos os potenciais osmóticos, apresentando o maior comprimento (0,97 cm) no potencial -0,38 MPa.

Atenuação do estresse salino (100 mM de NaCl) sobre o crescimento da raiz em plântulas de trigo tratadas com 400 ppm de ácido salicílico também foi constatado por Turkyilmaz (2012), o qual destaca que a redução no crescimento e desenvolvimento da plântula induzida pelo NaCl pode ser mitigada pela aplicação exógena de reguladores de crescimento, como o ácido salicílico. Alterações nos níveis de ácido salicílico podem representar um processo inicial que controla a redução do crescimento sob salinidade. Além disso, Shakirova et al. (2003) relataram que o ácido salicílico evita a redução dos teores de ácido indolacético e de citocininas sob ambiente salino, aumentando a divisão celular no meristema apical das raízes das plântulas, a fim de diminuir a ação destrutiva do estresse.

Para massa seca total de plântulas, não houve interação significativa entre salinidade e atenuadores, apenas efeito isolado para atenuadores e níveis de potencial osmótico (Figura 2C e 2D). Para atenuadores, houve diferença estatística entre o peróxido de hidrogênio e os demais atenuadores, que não diferiram entre si. Por sua vez, os níveis de potencial osmótico apresentaram comportamento quadrático, sendo o melhor potencial -0,36 Mpa. Esse potencial osmótico registrou o maior acúmulo de massa seca, 8,10 mg. O aumento na massa seca das plântulas com a redução do potencial osmótico do substrato pode estar relacionado ao aumento da densidade das plântulas devido à baixa quantidade de água nos tecidos (SÁ et al., 2017).

Resultados semelhantes com plântulas de milho tratadas com peróxido de hidrogênio e submetidas à salinidade também foram obtidos por Gondim et al. (2011). De modo geral, os autores não observaram interações significativas entre os fatores salinidade e peróxido de hidrogênio para os parâmetros massa seca da parte aérea, massa seca radicular e massa seca total. Contudo, foram observados efeitos desses fatores isoladamente. Conforme esses autores, nas plântulas pulverizadas com peróxido de hidrogênio (10 mM) houve aumento de 74% na massa seca da parte aérea e na massa seca total. Logo, no presente trabalho a salinidade não foi condição primária para estimular incrementos na massa seca total de plântulas provenientes de sementes pré-tratadas com atenuadores.



\blacklozenge Controle; \blacksquare Hidrocondicionamento; \blacktriangle Ácido salicílico; \bullet Ácido giberélico; \times Peroxido de hidrogênio.
^{NS} e ^{**} = não significativo e significativo a 1% de probabilidade ($p < 0,01$), respectivamente.

Figura 3- Teores de açúcares (A), prolina (B) e aminoácidos (C) de plântulas de *S. hispanica* L. submetidas a diferentes atenuadores e potenciais osmóticos.

Para a síntese de açúcares, verificou-se que o ácido salicílico proporcionou o maior incremento, 58,75%, tendo registrado teor de açúcares correspondente a 15,54 $\mu\text{mol de GLU.g}^{-1}$ MF a -0,4 MPa, em relação ao tratamento controle, que produziu aumento de 53,75%, correspondendo a 13,38 $\mu\text{mol de GLU.g}^{-1}$ MF neste mesmo potencial (Figura 3A). Os demais tratamentos resultaram em síntese total de açúcares inferior ao tratamento controle: 50,33% para o ácido giberélico, 45,96% para o peróxido de hidrogênio e 38,05% para o hidrocondicionamento.

De acordo com Singh e Gautam (2013), o ácido salicílico pode induzir o equilíbrio de açúcares em plantas submetidas a estresse por salinidade e, dessa forma, favorecer o seu acúmulo. Os açúcares são fontes energeticamente baratas, facilmente acessíveis e aceitos como osmólito. Açúcares como glicose, frutose, sacarose, frutanas e amido podem atuar no ajustamento osmótico, servir como fonte de energia, armazenando carbono, além de auxiliar na eliminação de radicais livres sob condições de estresse (SINGH; GAUTAM, 2013).

Comportamento linear crescente foi verificado para a síntese de prolina, contudo apenas o ácido salicílico superou o tratamento controle na produção total desse aminoácido (Figura 3B). O ácido salicílico resultou em aumento de 56,74% na produção total de prolina, tendo partido de 0,77 μmol de PRO.g⁻¹MF a 0,0 MPa para 1,78 μmol de PRO.g⁻¹MF a -0,4 MPa, sendo o melhor tratamento na comparação com os demais atenuadores testados. O peróxido de hidrogênio registrou aumento de 52,45% na síntese total de prolina, o ácido giberélico, 50,23% e o hidrocondicionamento, 41,36%. Esses três tratamentos foram inferiores ao tratamento controle (53,64%).

Na presença de ácido salicílico, o acúmulo de prolina é notavelmente aumentado, o que implica aumento desse aminoácido durante o mecanismo de ajustamento osmótico na planta, visando a aumentar sua tolerância hiperosmótica contra a redução no teor de água das células induzido pelo estresse salino (SINGH; GAUTAM, 2013). Aumentos no teor de prolina e de açúcares também foram observados por Agami (2013) em plântulas de milho submetidas à salinidade, cujas sementes haviam sido tratadas com ácido salicílico. Segundo o autor, a imersão das sementes em ácido salicílico (10^{-4} M) superou significativamente a toxicidade provocada pelo estresse por NaCl.

Nenhum atenuador superou o tratamento controle na síntese de aminoácidos (Figura 3C). A quantidade total de aminoácidos produzidos sob influência dos atenuadores foi inferior ao tratamento controle. Este apresentou comportamento quadrático crescente, no ponto de máximo (-0,027 MPa) registrou síntese de aminoácidos igual a 13,32 μmol de GLI.g⁻¹MF, chegando a 36,07 μmol de GLI.g MF no potencial -0,4 MPa, o que corresponde a um incremento de 63,07%. O ácido salicílico foi, dentre os atenuadores, o que mais se aproximou do tratamento controle, 62,92%, mas ainda assim sendo inferior a ele. Para o Hidrocondicionamento, o aumento foi de 54,55% e para o ácido giberélico, de 44,11%. O peróxido de hidrogênio

apresentou comportamento quadrático decrescente, tendo diminuído a síntese total de aminoácidos em 39,15%.

Sob condição de estresse salino, altas concentrações de aminoácidos são produzidas para reduzir os danos causados pela salinidade devido ao efeito tóxico e/ou osmótico (SHAHID et al., 2013). Estes compostos atuam principalmente no ajuste osmótico e proteção de macromoléculas e são comumente relacionados à tolerância à salinidade (ESTEVES; SUZUKI, 2008). Porém, a salinidade perturba o equilíbrio hormonal nas plantas (JAVID et al., 2011). Logo, as concentrações de atenuadores utilizadas não foram efetivas para restabelecer o equilíbrio hormonal necessário para incrementar a síntese de aminoácidos.

Verificou-se que o ácido salicílico e o ácido giberélico apresentaram os melhores resultados na mitigação do estresse salino, com o ácido salicílico se destacando. Provavelmente é necessário aperfeiçoar a concentração de ácido giberélico para se obter resultados superiores. O hidrocondicionamento e o peróxido de hidrogênio obtiveram os menores resultados. O hidrocondicionamento, apesar de antecipar as etapas do metabolismo germinativo, não foi eficiente em neutralizar os efeitos tóxicos do NaCl, apresentado resultados inferiores aos resultados obtidos para os tratamentos com ácidos giberélico e salicílico. Com o peróxido de hidrogênio, foi utilizada uma concentração muito elevada, o que pode ser constatado mediante observação dos sintomas de queima do sistema radicular, baixa germinação, crescimento reduzido e incapacidade de estimular a síntese de solutos orgânicos.

4 CONCLUSÕES

O estresse salino reduziu a germinação e o vigor em sementes de *S. hispânica*, porém os ácidos giberélico e salicílico proporcionaram ação mitigadora sobre os efeitos do estresse salino nesta espécie, até o potencial osmótico de -0,4 MPa.

O condicionamento de sementes de *S. hispânica* com ácido salicílico foi o mais eficiente na atenuação dos efeitos do estresse salino, proporcionando incrementos na germinação, no vigor e no acúmulo de solutos em sementes de *S. hispânica* até o potencial osmótico de -0,4 MPa.

O hidrocondicionamento apresentou ação mitigadora sobre os efeitos do estresse salino em sementes de *S. hispânica* até o potencial osmótico de -0,3 MPa.

O peróxido de hidrogênio na concentração de 20 mM.L⁻¹ não exerceu ação mitigadora do estresse salino em sementes de *S. hispânica*.

REFERÊNCIAS

- AGAMI, R. A. Alleviating the adverse effects of NaCl stress in maize seedlings by pretreating seeds with salicylic acid and 24-epibrassinolide. **South African Journal of Botany**, Pietermaritzburg, v. 88, n. 1, p. 171-177, 2013
- ANAYA F.; FGHIRE, R.; WAHBI, S.; LOUTFI, K. Influence of salicylic acid on seed germination of *Vicia faba* L. under salt estress. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, Riyadh, v. 17, n. 1, p. 1- 8, 2018.
- BATES, L. S.; WALDREN, R. P.; TEARE, I. D. Rapid determination of free proline for water-stress studies. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 39, n. 1, p. 205-207, 1973.
- BAILLY, C.; BOUTEAU, H. E. M.; CORBINEAU, F. From intracellular signaling networks to cell death: the dual role of reactive oxygen species in seed physiology. **Comptes Rendus Biologies**, Paris, v. 331, n. 10, p. 806-814, 2008.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília, DF: MAPA/ACS, 2009. 395p.
- BUSILACCHI, H.; QUIROGA, M.; BUENO, M.; DI SAPIO, O.; FLORES, V.; SEVERIN, S. Evaluación de *Salvia hispanica* L. cultivada en el sur de Santa Fé (República Argentina). **Cultivos Tropicales**, La Habana, v. 34, n. 4, p. 55-59, 2013.
- CHAVES, M. M.; FLEXAS, J.; PINHEIRO, C. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. **Annals of Botany**, Oxford, v. 103, n. 4, p. 551-560, 2009.
- DAL'MASO, E. G.; CASARIN J.; COSTA, P. F.; CAVALHEIRO, D. B.; SANTOS, B. S.; GUIMARÃES, V. F. Salinidade na germinação e desenvolvimento inicial de sementes de chia. **Cultivando o Saber**, Cascavel, v. 6, n. 3, p. 26-39, 2013.
- ESTEVES, B. S.; SUZUKI, M. S. Efeito da salinidade sobre as plantas. **Oecologia Brasiliensis**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 4, p. 662- 669, 2008.
- FALCO, B.; AMATO, M.; LANZOTTI, V. Chia seeds products: an overview. **Phytochemistry Reviews**, Dordrecht, v. 16, n. 4, p. 745- 760, 2017.
- FARDUS, J.; MATIN, M. A.; HASANUZZAMAN, M.; HOSSAIN, M. A.; HASANUZZAMAN, M. Salicylic acid-induced improvement in germination and growth Parameters of wheat under salinity stress. **The Journal of Animal & Plant Sciences**, Lahore, v. 28, n. 1, p. 197-207, 2018.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.
- GÓIS, V. A.; TORRES, S. B.; PEREIRA, R. A. Germinação de sementes de maxixe submetidas a estresse salino. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 21, n. 4, p. 64-67, 2008.

GONDIM, F. A.; GOMES-FILHO, E.; MARQUES, E. C.; PRISCO, J. T. Efeitos do H₂O₂ no crescimento e acúmulo de solutos em plantas de milho sob estresse salino. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 42, n. 2, p. 373-381, 2011.

GORAI, M.; GASMI, H.; NEFFATI, M. Factors influencing seed germination of medicinal plant *Salvia aegyptica* L. (Lamiaceae). **Saudi Journal of Biological Sciences**, Riyadh, v. 18, n. 3, p. 255-260, 2011.

HOSSAIN, M. A.; BHATTACHARJEE, S.; ARMIN, S. M.; QIAN, P.; XIN, W.; LI, H. W.; BURRIT, D. J.; FUJITA, M.; TRAN, L. S. P. Hydrogen peroxide priming modulates abiotic oxidative stress tolerance: insights from ROS detoxification and scavenging. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 6, n. 1, p. 1-19, 2015.

JAVID, M. G.; SOROOSHADEH, A.; MORADI, F.; SANAVY, S. A. M. M.; ALLAHDADI, I. The role of phytohormones in alleviating salt stress in crop plants. **Australian Journal of Crop Science**, Brisbane, v. 5, n. 6, p. 726-734, 2011.

JINI, D.; JOSEPH, B. Physiological mechanism of salicylic acid for alleviation of salt stress in rice. **Rice Science**, Hangzhou, v. 24, n. 2, p. 97-108, 2017.

MAGUIRE, J. D. Speed of germination aid in selection and evolution for seedling and vigour. **Crop Science**, Madison, v. 2, n. 2, p. 176-177, 1962.

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

MATIAS, J. R.; RIBEIRO, R. C.; ARAGÃO, C. A.; ARAÚJO, G. G. L.; DANTAS, B. F. Physiological changes in osmo and hydroprimed cucumber seeds germinated in biosaline water. **Journal of Seed Science**, Brasília, v. 37, n. 1, p. 1-9, 2015.

MIGLIAVACCA, R. A.; SILVA, T. R. B.; VASCONCELOS, A. L.; S.; MOURÃO FILHO, W.; BAPTISTELLA, J. L. C. O cultivo da chia no Brasil: futuro e perspectivas. **Journal of Agronomic Sciences**, Umuarama, v. 3, n. especial, p. 161-179, 2014.

MUNNS, R.; TESTER, M. Mechanisms of salinity tolerance. **Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto, v. 59, n. 2, p. 651-681, 2008.

NORIEGA, G.; CAGGIANO, E.; LECUBE, M. L.; SANTA CRUZ, D.; BATLE, A.; TOMARO, M.; BALESTRASSE, K. B. The role of salicylic acid in the prevention of oxidative stress elicited by cadmium in soybean plants. **Biometals**, Berlim, v. 25, n. 6, p. 1155-1165, 2012.

OLIVEIRA, F. A.; GUEDES, R. A. A.; GOMES, L. P.; BEZERRA, F. M. S.; LIMA, L. A.; OLIVEIRA, M. K. T. Interação entre salinidade e bioestimulante no crescimento inicial de pinhão-mansão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 3, p. 204-210, 2015.

PAIVA, E. P.; TORRES, S. B.; SÁ, F. V. S.; NOGUEIRA, N. W.; FREITAS, R. M. O.; LEITE, M. S. Light regime and temperature on seed germination in *Salvia hispanica* L. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 38, n. 4, p. 513-519, 2016.

- PAIVA, E. P.; TORRES, S. B.; ALVES, T. R. C.; SÁ, F. V. S.; LEITE, M. S.; J DOMBROSKI, J. L. D. Germination and biochemical components of *Salvia hispanica* L. seeds at different salinity levels and temperatures. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 40, n. 39396, p. 3-7, 2018.
- PINEDO, G. J. V.; FERRAZ, I. D. K. Hidrocondicionamento de *Parkia pendula* [BENTH ex WALP]: sementes com dormência física de árvore da Amazônia. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 39-49, 2008.
- ROSA, D. C. J.; SOARES, J. S.; MORENO, L. B.; MICHELS, G. M.; C. S. R.; SCALON, S. P. Q.; ROSA, Y. B. C. J. Germinação de *Salvia splendens* L. submetida à salinidade. **Advances in Ornamental Horticulture and Landscaping**, Jundiaí, v. 21, n. 1, p. 105-112, 2015.
- SÁ, F. V. S.; NASCIMENTO, R.; PEREIRA, M. O.; BORGES, V. E.; GUIMARÃES, R. F. B.; RAMOS, J. G.; MENDES, J. S.; PENHA, J. L. Vigor and tolerance of cowpea (*Vigna unguiculata*) genotypes under salt stress. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 33, n. 6, p. 1488-1494, 2017.
- SHAHID, M. A.; ASHRAF, M. Y.; PERVEZ, M. A.; AHMAD, R.; BALAL, R. M.; GARCIA-SANCHEZ, F. Impact of salt stress on concentrations of Na⁺, Cl⁻ and organic solutes concentration in pea cultivars. **Pakistan Journal of Botany**, Karachi, v. 45, n. 3, p. 755-761, 2013.
- SHAKIROVA, F. M.; SAKHABUTDINOVA, A. R.; BEZRUKOVA, M. V.; FATKHUTDINOVA, R. A.; FATKHUTDINOVA, D. R. Changes in the hormonal status of wheat seedlings induced by salicylic acid and salinity, **Plant Science**, Oxford, v. 164, n. 3, p. 317-322, 2003.
- SHU, K.; QI, Y.; CHEN, F.; MENG, Y.; LUO, X.; SHUAI, H.; ZHOU, W.; DING, J.; DU, J.; LIU, J.; YANG, F.; WANG, Q.; LIU, W.; YONG, T.; WANG, X.; FENG, Y.; YANG, W. Salt Stress Represses Soybean Seed Germination by Negatively Regulating GA Biosynthesis While Positively Mediating ABA Biosynthesis. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 8, n. 1, p. 1-12, 2017.
- SINGH, P. K.; GAUTAM, S. Role of salicylic acid on physiological and biochemical mechanism of salinity stress tolerance in plants. **Acta Physiologiae Plantarum**, Varsóvia, v. 35, n. 8, p. 2345-2353, 2013.
- STEFANELLO, R.; NEVES, L. A. S.; ABBAD, M. A. B.; VIANA, B. B. Resposta fisiológica de sementes de chia (*Salvia hispanica*- Lamiales: Lamiaceae) ao estresse salino. **Biotemas**, Florianópolis, v. 28, n. 4, p. 35-39, 2015.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6 ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.
- TIAN, Y.; GUAN, B.; ZHOU, D.; YU, J.; LI, G.; LOU, Y. Responses of Seed Germination, Seedling Growth, and Seed Yield Traits to Seed Pretreatment in Maize (*Zea mays* L.). **The Scientific World Journal**, Londres, v. 2014, n. 1, p. 1-8, 2014.

TSEGAY, B. A.; ANDARGIE M. Seed Priming with Gibberellic Acid (GA3) Alleviates Salinity Induced Inhibition of Germination and Seedling Growth of *Zea mays* L., *Pisum sativum* Var. abyssinicum A. Braun and *Lathyrus sativus* L. **Journal Crop Science Biotechnology**, Berlin, v. 21, n. 3, p. 261- 267, 2018.

TURKYILMAZ, B. Effects of salicylic and gibberellic acids on wheat (*Triticum aestivum* L.) under salinity stress. **Journal of Botany**, Londres, v. 41, n. 1, p. 29-34, 2012.

VOIGT, E. L.; ALMEIDA, T. D.; CHAGAS, R. M.; PONTE, L. F.A; VIEGAS, R. A.; SILVEIRA, J. A. G. Source-sink regulation of cotyledonary reserve mobilization during cashew (*Anacardium occidentale*) seedling establishment under NaCl salinity. **Journal of Plant Physiology**, Amsterdam, v. 166, n. 1, p. 80-89, 2009.

YEMM, E.W.; WILLIS, A. J. The estimation of carbohydrates in plant extracts by anthrone. **Biochemical Journal**, Colchester, v. 57, n. 3, p. 508-514, 1954.

YEMM, E. W.; COCCKING, E. C. The determination of amino acid with ninhydrin. **Analyst**, Londres, v. 80, n. 2, p. 209-213, 1955.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dentre os tratamentos testados, verificou-se que o hidrocondicionamento proporcionou comportamento intermediário para as variáveis analisadas em ambos os experimentos. Os resultados para esse tratamento foram inferiores aos dos ácidos giberélico e salicílico, além de não ter sido eficiente na superação de efeitos tóxicos do NaCl sobre as sementes de *S. hispanica* pelo método empregado neste trabalho. É necessário averiguar se ao abordar uma metodologia diferente, como, por exemplo, utilizando tempos de embebição diferentes, seguido ou não de uma secagem, seria possível alcançar resultados melhores.

Para o tratamento das sementes de *S. hispanica* com peróxido de hidrogênio, verificou-se que foi utilizada uma concentração bastante elevada, o que pode ser constatado mediante a observação nas plântulas dos sintomas descritos ao longo do texto e pela obtenção dos piores resultados para as variáveis analisadas, dentre todos os tratamentos testados. Ainda assim, cabe investigar se com o uso de concentrações mais baixas seria possível alcançar resultados satisfatórios.

Os ácidos giberélico e salicílico se sobressaíram em relação aos demais tratamentos, apresentando bons resultados. Dessa forma, acredita-se que concentrações maiores, combinadas a diferentes tempos de embebição, sejam capazes de proporcionar resultados superiores aos encontrados neste trabalho.

Sugere-se ainda a realização de testes de campo para verificar se os resultados se mantêm ou se alteram com uma margem muito grande de diferença dos resultados encontrados nas condições de laboratório, além da aferição da viabilidade econômica do pré-tratamento das sementes de *S. hispanica* com os atenuadores que se destacaram dos demais.