

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MATO GROSSO DO SUL
UNIDADE UNIVERSITÁRIA DE CASSILÂNDIA
PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**APLICAÇÃO DE SILICATO DE POTÁSSIO PARA POTENCIALIZAR
A GERMINAÇÃO E O CRESCIMENTO INICIAL DA SOJA EM
CONDIÇÕES DE ESTRESSE SALINO**

TALITA CRISTINA CAMPOS PEREIRA DA SILVA

CASSILÂNDIA – MS
FEVEREIRO/2022

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MATO GROSSO DO SUL
UNIDADE UNIVERSITÁRIA DE CASSILÂNDIA
PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**APLICAÇÃO DE SILICATO DE POTÁSSIO PARA POTENCIALIZAR
A GERMINAÇÃO E O CRESCIMENTO INICIAL DA SOJA EM
CONDIÇÕES DE ESTRESSE SALINO**

TALITA CRISTINA CAMPOS PEREIRA DA SILVA

Orientador: Prof. Dr. Fábio Steiner

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia, com área de concentração em Sustentabilidade na Agricultura.

CASSILÂNDIA – MS
FEVEREIRO/2022

S584a Silva, Talita Cristina Campos Pereira da
Aplicação de silicato de potássio para potencializar a
germinação e o crescimento inicial da soja em condições de
estresse salino / Talita Cristina Campos Pereira da Silva. –
Cassilândia, MS: UEMS, 2022.
32 p.

Dissertação (Mestrado) – Agronomia – Universidade
Estadual de Mato Grosso do Sul, 2022.
Orientador: Prof. Dr. Fábio Steiner.

1. Glycine max (L.) 2. Sementes 3. Estresse abiótico 4.
Salinidade 5. Silício I. Steiner, Fábio II. Título

CDD 23. ed. - 633.34



Governo do Estado de Mato Grosso do Sul
Fundação Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
 PROPP - Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação
 UEMS - Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul - Sede Dourados
 UUCass - Unidade Universitária de Cassilândia
 Programa de Pós-Graduação em Agronomia
 PGAC - Área de Concentração em Sustentabilidade na Agricultura



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: APLICAÇÃO DE SILICATO DE POTÁSSIO PARA POTENCIALIZAR A GERMINAÇÃO E O CRESCIMENTO INICIAL DA SOJA EM CONDIÇÕES DE ESTRESSE SALINO

AUTOR(A): TALITA CRISTINA CAMPOS PEREIRA DA SILVA
ORIENTADOR(A): FÁBIO STEINER

Aprovado como parte das exigências para obtenção de MESTRE EM AGRONOMIA, Área de concentração: “**Sustentabilidade na Agricultura**”, pela Comissão Examinadora

Fábio Steiner

Prof. Dr. Fábio Steiner
 Orientador(a)

PI Fábio Steiner

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo - UEMA
 Participação via webconferência

PI Fábio Steiner

Prof. Dr. Diógenes Martins Bardivieso - UEMS
 Participação via webconferência

Data da realização: 28 de fevereiro de 2022.

Epígrafe

“Motivação é a arte de fazer as pessoas fazerem o que você quer que elas façam porque elas o querem fazer.”

Dwight Eisenhower

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, à minha família, em especial ao meu amado marido Rafael e meu filho Emanuel, aos meus maravilhosos pais Demerval e Inês, à minha irmã Thaiélly, sobrinhos Elyas e Cristina, e ao meu dedicado orientador Fábio.

AGRADECIMENTOS

Venho agradecer primeiramente a Deus e seu Santo Filho, que esteve presente ao meu lado em todos os dias durante mais essa etapa de minha vida, a pós-graduação. Foi Ele que não me deixou desistir. Num período de pandemia jamais imaginado por nós, onde tudo foi incerto para todos e onde o medo reinava, Ele guardou a mim e minha família, assim como meus colegas da pós-graduação, meu orientador, professores e funcionários da Universidade. Imensamente grata a Deus.

Agradeço ao meu filho Emanuel e marido Rafael que estiveram em cada momento nesses quase dois anos, tendo paciência nos momentos de tensão, e sempre me oferecendo um abraço, um carinho quando tudo parecia fora do lugar. Amo imensamente vocês, são minha motivação diária. Também sou eternamente grata aos meus pais Dermeval e Inês, que sempre acreditaram no meu sonho, me apoiando em todos os momentos. São os verdadeiros anjos mandados por Deus em minha vida. Agradeço também à minha irmã e sobrinhos por todo amor e carinho, e por sempre acreditarem em mim. Sou grata também aos meus tios, tias, primos e primas (em especial a tia Lidia, tia Nete, tio Adão, prima/irmã/amiga Yanara que agora carrega meu outro amor da vida, o Joaquim) que independente da distância sempre se mostraram presentes em minha vida, e sei que sempre oraram por mim para que alcançasse esse meu sonho.

Também agradeço a toda família do meu esposo por todo carinho e cuidado comigo sempre. Sou imensamente abençoada por tê-los em minha vida.

Sou grata pelos colegas de sala que mesmo “online” tornaram os dias mais leves. Em especial a Carol, por quem tenho um carinho enorme. À Prof. Dra. Susiane que sempre teve uma palavra amiga e de apoio, levarei esse carinho para a vida. À minha amiga Raíssa e Franciele que mesmo tão longe de mim sempre se fazem presentes e me apóiam em tudo. Amo vocês.

Aos professores da pós-graduação, em especial meu orientador Prof. Dr. Fábio Steiner que exerceu um papel fundamental em minha vida. Com a pandemia tudo se tornou caótico. Além disso, quando iniciei a pós-graduação estava vivendo um momento mágico em minha vida, me tornei mãe. Contudo, era algo que exigia de mim tanto quanto o mestrado. Sua paciência e empatia fizeram toda a diferença nesse processo. Nunca me esquecerei de todo apoio mostrado a mim durante esses anos. Sou eternamente grata professor.

À banca examinadora, Dr. Alan Mario Zuffo e Dr. Diógenes Martins Bardivieso por aceitarem fazer parte desse momento tão especial. Cada crítica, cada sugestão foi acatada com todo carinho, pois sei da importância disso para meu crescimento profissional. Obrigada!

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Brasil - CAPES)
pelo apoio financeiro e pela concessão de bolsa (Código de Financiamento 001).

Muito Obrigado!

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| LISTA DE TABELAS | 9 |
| LISTA DE FIGURAS | 10 |
| LISTA DE ABREVIÇÕES E SÍMBOLOS | 11 |
| 1. APLICAÇÃO DE SILICATO DE POTÁSSIO PARA POTENCIALIZAR A GERMINAÇÃO E O CRESCIMENTO INICIAL DA SOJA EM CONDIÇÕES DE ESTRESSE SALINO | 12 |
| 1.1 INTRODUÇÃO | 13 |
| 1.2 MATERIAL E MÉTODOS | 15 |
| 1.2.1 Material Vegetal e Tratamentos | 15 |
| 1.2.2. Germinação e Condições de crescimento..... | 17 |
| 1.2.3. Mensuração do crescimento e do vigor das plântulas | 17 |
| 1.2.4. Análises Estatísticas | 17 |
| 1.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 18 |
| 1.4. CONCLUSÕES | 25 |
| 1.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 26 |

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Características agronômicas, teor de água, massa de mil sementes e taxa de germinação das 2 cultivares de soja utilizadas no estudo. UEMS/Cassilândia, 2021. 16
- Tabela 2.** Concentração de NaCl adicionado às soluções salinas referente aos níveis de estresse salino utilizados no estudo. UEMS/Cassilândia, 2021 16
- Tabela 3.** Resumo da análise de variância para as mensurações de germinação, crescimento inicial e do vigor das plântulas das cultivares de soja para efeitos da aplicação de silício e dos níveis de salinidade. UEMS/Cassilândia, 2021..... 18

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Efeito da adição (+Si) ou não de silício (-Si) e dos níveis de estresse salino na primeira contagem do teste de germinação (A) e na germinação final (B) das sementes das duas cultivares de soja [*Glycine max* (L.) Merrill.], sendo uma sensível (CG 67 RR) e outra tolerante (BMX Desafio RR) à salinidade. UEMS/Cassilândia, 2021. 19
- Figura 2.** Efeito da adição (+Si) ou não de silício (-Si) e dos níveis de estresse salino no comprimento da parte aérea (A), comprimento das raízes (B) e comprimento total das plântulas das duas cultivares de soja [*Glycine max* (L.) Merrill.], sendo uma sensível (CG 67 RR) e outra tolerante (BMX Desafio RR) à salinidade. UEMS/Cassilândia, 2021. 21
- Figura 3.** Efeito da adição (+Si) ou não de silício (-Si) e dos níveis de estresse salino no acúmulo de matéria seca da parte aérea (A), matéria seca das raízes (B) e matéria seca total das plântulas das duas cultivares de soja [*Glycine max* (L.) Merrill.], sendo uma sensível (CG 67 RR) e outra tolerante (BMX Desafio RR) à salinidade. UEMS/Cassilândia, 2021. 24
- Figura 4.** Efeito da adição (+Si) ou não de silício (-Si) e dos níveis de estresse salino no índice de vigor de comprimento das plântulas (A) e no índice de vigor de matéria seca das plântulas (B) das duas cultivares de soja [*Glycine max* (L.) Merrill.], sendo uma sensível (CG 67 RR) e outra tolerante (BMX Desafio RR) à salinidade. UEMS/Cassilândia, 2021. 25

LISTA DE ABREVIACOES E SÍMBOLOS

| | |
|------|---|
| BMX | Brasmax |
| C | Cultivar |
| CG | Caraíba Genética |
| CPA | Comprimento da parte aérea |
| CR | Comprimento das raízes |
| CT | Comprimento total de plântulas |
| G | Germinao de sementes |
| GMR | Grupo de maturidade relativa |
| IVC | ndice de vigor de comprimento de plântula |
| IVMS | ndice de vigor de matéria seca de plântula |
| MSPA | Matéria seca da parte aérea |
| MSR | Matéria seca das raízes |
| MST | Matéria seca total |
| NaCl | Cloreto de sódio |
| PCG | Primeira Contagem de Germinao |
| RR | RoundupReady |
| S | Salinidade |
| Si | Silício |

APLICAÇÃO DE SILICATO DE POTÁSSIO PARA POTENCIALIZAR A GERMINAÇÃO E O CRESCIMENTO INICIAL DA SOJA EM CONDIÇÕES DE ESTRESSE SALINO

RESUMO: A salinidade é um dos principais estresses abióticos que limitam a germinação e o estabelecimento das plantas no campo em regiões áridas e semiáridas. No entanto, há evidências de que o uso de silício (Si) pode atenuar os efeitos negativos do estresse salino na germinação e no crescimento inicial das plantas. Este estudo foi conduzido com o objetivo de avaliar o efeito do silício na indução da tolerância das plântulas de soja ao estresse salino. Os tratamentos foram dispostos no delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial $2 \times 2 \times 4$, com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos do uso de duas cultivares de soja [uma tolerante (BMX Desafio RR) e outra sensível (CG 67 RR) à salinidade], da aplicação de $2,0 \text{ mmol L}^{-1}$ de Si (+Si) ou não aplicação de silício (-Si) e da exposição das sementes à quatro níveis de salinidade [0 MPa (controle); -0,1 MPa (estresse suave); -0,4 MPa (estresse moderado); e -0,8 MPa (estresse severo)]. O estresse salino foi induzido pela exposição das sementes durante 12 dias a $25 \text{ }^\circ\text{C}$, às soluções salinas preparadas com os distintos níveis de potencial osmótico a partir da adição de NaCl. Aos 12 dias após a exposição ao estresse salino, foi avaliada a primeira contagem do teste de germinação, germinação final, comprimento das plântulas, matéria seca de plântulas e índice de vigor das plântulas. Os resultados mostraram que a aplicação de Si pode ser utilizada para atenuar os efeitos negativos do estresse salino no processo de germinação das sementes e no crescimento inicial das plântulas de soja. No entanto, a aplicação de Si não tem capacidade de melhorar o crescimento inicial das plantas de soja em condições de estresse salino severo. O aumento do nível do estresse salino reduziu drasticamente a taxa de germinação das sementes e o crescimento inicial das plantas de soja.

Palavras-chave: *Glycine max* (L.) Merrill; Potencial osmótico; Salinidade.

SILICON APPLICATION TO ENHANCE THE GERMINATION AND GROWTH OF SOYBEAN SEEDLINGS UNDER SALT STRESS CONDITIONS

ABSTRACT: Salinity is one of the main abiotic stresses that limit the germination and establishment of plants in the field in arid and semi-arid regions. However, there is evidence that the use of silicon (Si) can attenuate the negative effects of salt stress on germination and

early plant growth. This study was carried out to evaluate the effect of silicon on the induction of tolerance of soybean seedlings to salt stress. The treatments were arranged in a completely randomized design in a $2 \times 2 \times 4$ factorial scheme, with four replications. The treatments consisted of the use of two soybean cultivars [one tolerant (BMX Desafio RR) and the other sensitive (CG 67 RR) to salinity], the application of 2.0 mmol L^{-1} of Si (+Si) or no application of silicon (-Si) and the exposure of seeds to four salinity levels [0 MPa (control); -0.1 MPa (mild stress); -0.4 MPa (moderate stress); and -0.8 MPa (severe stress)]. Salt stress was induced by exposing the seeds for 12 days at $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ to saline solutions prepared with different levels of osmotic potential from the addition of NaCl. The results showed that the application of Si can be used to attenuate the negative effects of salt stress on the seed germination process and on the initial growth of soybean seedlings. However, the application of Si is not able to improve the initial growth of soybean plants under conditions of severe salt stress. The increase in the level of salt stress drastically reduced the germination rate of seeds and the initial growth of soybean plants.

KEY WORDS: *Glycine max* (L.) Merrill; Osmotic potential; Salinity.

1.1 INTRODUÇÃO

Com a crescente demanda pela abertura de novas áreas para cultivo de grãos decorrente do intenso aumento populacional e da necessidade de acréscimo na produção de alimentos, faz-se necessário o estudo para a criação de medidas adaptativas para que as culturas se desenvolvam sob condições de estresse ambiental. Um dos problemas que vem sendo constatados em muitas áreas agrícolas é o excesso de acúmulo de sais na solução do solo, principalmente nas regiões áridas e semiáridas, decorrentes de processos naturais de salinização, da alta taxa de evapotranspiração associada à baixa precipitação pluvial e da inadequada drenagem do solo (DIAS et al., 2007). Além disso, o uso de terras marginais e o manejo inadequado de fertilizantes e da irrigação com a aplicação de águas de baixa qualidade tem potencializado o surgimento de solos degradados por salinidade e sodicidade em muitas regiões do Brasil (FREIRE; FREIRE, 2007).

Estimativas feitas pela Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação – FAO apontam que cerca de 20% das terras cultivadas e, aproximadamente, metade das áreas irrigadas no mundo seja afetada por sais. Estas áreas estão distribuídas, principalmente, na Austrália, Ásia, América do Sul e África (FAO, 2011). No Brasil, existem

cerca de 16 milhões de hectares de solos salinos e sódicos (~2% do território nacional), localizados no Rio Grande do Sul, no Pantanal Mato-Grossense e, predominantemente, na região semiárida do Nordeste (GOMES et al., 2000). Em geral, os solos que apresentam valores de condutividade elétrica maior que 4 dS m^{-1} ou 40 mmol L^{-1} de NaCl ou potencial osmótico menor que $-0,117 \text{ MPa}$ são definidos como solos salinos (BRUNES et al., 2013).

A menor taxa de germinação e crescimento inicial das plantas causada pelo estresse salino está relacionada com os efeitos fitotóxicos do excesso de sais no desequilíbrio iônico e nutricional, balanço hídrico e na inativação fisiológica de íons essenciais (MUNNS, 2002), causando distúrbios funcionais e injúrias no metabolismo das plantas (DEBOUBA et al., 2006; MUNNS; TESTER, 2008). A salinidade do solo reduz a disponibilidade da água no solo; no entanto, nem todas as espécies vegetais ou cultivares são igualmente afetados pelo mesmo nível de salinidade, pois alguns genótipos são mais tolerantes que outros e podem extrair água do solo com mais facilidade. O excesso de sais na solução do solo limita a capacidade das sementes em absorver água devido à redução do potencial hídrico do solo (HARTER et al., 2014), o que, dependendo do nível de tolerância da semente, pode afetar o estabelecimento de adequado estande de plantas, e, conseqüentemente, limitar a produção agrícola.

A capacidade das sementes em germinar em condições salinas tem sido utilizada como ferramenta para avaliação da tolerância ao estresse salino (LARCHER, 2003; DIAS et al., 2016). Tester & Davenport (2003) sugerem a existência de dois grupos de mecanismos de tolerância das plantas à salinidade: (1) tolerância individual das células, envolvendo, por exemplo, a compartimentação intracelular e a sinalização bioquímica, e (2) tolerância a um nível superior em relação ao grupo anterior, envolvendo, por exemplo, o controle da absorção e transporte interno de sais e o acúmulo de Na^+ no interior da planta.

O avanço da fronteira agrícola tem proporcionado que a soja, uma das principais commodities agrícolas brasileiras e de grande importância econômica mundial, seja cultivada em novas áreas agricultáveis, o que justifica a necessidade de adaptação da cultura para cultivo sob condições de salinidade. Sementes com maior vigor conseguem expressar todo seu potencial fisiológico, refletindo menos os efeitos adversos dos estresses abióticos (SCHEEREN et al., 2010). Em condição de potencial osmótico reduzido, Moraes e Menezes (2003) observaram que sementes de soja expressaram menor germinação e menor taxa de crescimento das plantas, sendo que a germinação das sementes foi completamente inibida quando o potencial osmótico foi de $-0,8 \text{ MPa}$. Bertagnolli et al. (2004) também reportaram menor taxa de germinação das sementes de soja com o aumento da concentração de sais. A

cultura da soja tem sido considerada moderadamente tolerante à salinidade, no entanto, os danos causados pelo estresse salino afetam drasticamente o crescimento das plantas e a produção do grão da cultura (BUSTINGORRI; LAVADO, 2011).

A busca por atenuadores que possuem a capacidade de amenizar os efeitos negativos do estresse salino na germinação, crescimento e na produção das culturas agrícolas tem sido crescente nas últimas décadas. Uma das alternativas utilizadas para atenuar os efeitos adversos da salinidade é a aplicação de silício nas sementes ou na solução do solo. O silício (Si) não é considerado um elemento essencial para o crescimento das plantas, mas proporciona efeitos benéficos no desenvolvimento das plantas em condições estressantes (MA; YAMAJI, 2006). O Si tem um importante papel na tolerância das plantas aos estresses bióticos e abióticos, especialmente devido as suas funções fisiológicas no sistema antioxidante das plantas, ou seja, atuando no mecanismo de defesa da planta (KORNDÖRFER, 2006; KORNDÖRFER et al., 2004). No caso da salinidade, já foram relatados aumento da atividade fotossintética (HATTORI et al., 2008) e da atividade de enzimas antioxidativas em pimentão (TONIN, 2005), girassol (SILVA et al., 2015), algodão (CURVÊLO et al., 2013) e arroz (SILVA, 2015). Essas enzimas possuem a capacidade de neutralizar as formas reativas de oxigênio que são formadas sob condições estressantes e que oxidam importantes constituintes celulares, levando células à morte e alterando a permeabilidade seletiva e o fluxo de íons das membranas plasmáticas (ALSCHER et al., 1997).

Diante do exposto, objetivou-se avaliar o efeito do silicato de potássio na indução da tolerância das plântulas de soja [*Glycine max* (L.) Merrill.] ao estresse salino.

1.2 MATERIAL E MÉTODOS

1.2.1 Material Vegetal e Tratamentos

Sementes de duas cultivares de soja, sendo uma tolerante (BMX Desafio RR) e outra sensível (CG 67 RR) à salinidade foram esterilizadas com solução de hipoclorito de sódio (NaCl) a 2% (v/v) durante 10 minutos, lavadas por três vezes em água destilada e, então, utilizadas neste estudo. A escolha dessas cultivares de soja baseou-se nos resultados reportados por Zuffo et al. (2020), os quais compararam a tolerância à salinidade de 46 materiais genéticos indicados para o cultivo na região do Cerrado brasileiro. As principais características agronômicas e intrínsecas das sementes de soja são mostradas na Tabela 1.

Tabela 1. Características agronômicas, teor de água, massa de mil sementes e taxa de germinação das duas cultivares de soja utilizadas no estudo.

| Cultivar | Características Agronômicas | | | Teor de água (%) | Peso de mil sementes (g) | Germinação (%) |
|----------------|-----------------------------|-----|---------------------|------------------|--------------------------|----------------|
| | Ciclo médio ¹ | GMR | Tipo de crescimento | | | |
| BMX Desafio RR | 110 | 7,4 | Semideterminado | 9,74 | 168 | 98 |
| CG 67 RR | 125 | 7,4 | Indeterminado | 10,48 | 170 | 99 |

¹ Ciclo médio, em dias, da emergência ao ponto de colheita. GMR: Grupo de maturidade relativa.

Para avaliar o efeito do Si na tolerância das plantas à salinidade, as sementes de soja foram expostas as soluções com potencial osmótico de 0,0; -0,10; -0,40 e -0,80 MPa preparadas com cloreto do sódio (NaCl). A quantidade de NaCl adicionada para obter as soluções salinas com os diferentes níveis de potencial osmótico foi calculada com base na equação de van'tHoff (Hillel, 1971): $\Psi_s = -RTC_i$, onde R é a constante universal do gás nobre ($0,008314 \text{ MPa mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$); T é a temperatura absoluta ($273,15 + ^\circ\text{C}$); C é a concentração molar do soluto (mol L^{-1}); e i é o fator de van'tHoff, ou seja, a razão entre a quantidade de partículas na solução e a quantidade de íons dissolvidos [isto é, para NaCl este valor é 2,0 (Na^+ e Cl^-)]. Como controle foi utilizado água destilada com potencial osmótico $\Psi_s = 0,00$ MPa. As quantidades de NaCl adicionadas nas soluções salinas utilizadas neste estudo são mostradas na Tabela 2.

Tabela 2. Concentração de NaCl adicionado às soluções salinas referente aos níveis de estresse salino utilizados no estudo.

| Nível de NaCl | | Condutividade Elétrica ¹ (dSm^{-1}) | Potencial osmótico ² (MPa) | Nível de estresse salino ³ |
|-------------------|----------------------|---|---------------------------------------|---------------------------------------|
| g L^{-1} | mmol L^{-1} | | | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | Controle (sem estresse) |
| 1,178 | 20,16 | 2,43 | -0,10 | Estresse suave |
| 4,714 | 80,67 | 7,46 | -0,40 | Estresse moderado |
| 9,430 | 161,36 | 14,17 | -0,80 | Estresse severo |

¹ Calculado pela seguinte equação: $\text{CE} (\text{dS m}^{-1}) = 0,7604 + 0,0831 \times [\text{mmol L}^{-1} \text{ de NaCl}]$, elaborada com base nos dados de condutividade elétrica (CE) de soluções puras à 20-25 °C (WEAST, 1975). ² Calculado de acordo com Hillel (1971). ³ Nível de estresse salino.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, em um arranjo fatorial $2 \times 2 \times 4$, com quatro repetições de 50 sementes. Os tratamentos foram constituídos por duas cultivares de soja [uma tolerante (BMX Desafio RR) e outra sensível (CG 67 RR) à salinidade], pela aplicação de $2,0 \text{ mmol L}^{-1}$ de Si (+Si) ou não aplicação de silício (-Si) e por quatro níveis de estresse salino [0 MPa (controle); -0,1 MPa (estresse suave); -0,4 MPa

(estresse moderado) e $-0,8$ MPa (estresse severo)]. O Si foi adicionado na forma de solução comercial de silicato de potássio (K_2SiO_3) contendo 168 g L^{-1} de Si, 210 g L^{-1} de K_2O ; pH 11 e densidade de $1,40 \text{ g cm}^{-3}$.

1.2.2. Germinação e Condições de crescimento

As quatro subamostras de 50 sementes foram colocadas para germinar sobre três folhas de papel-toalha Germitest[®], previamente umedecidas com água destilada (controle) ou com as soluções contendo os diferentes níveis de estresse salino em quantidade equivalente a três vezes a massa seca do papel. Em seguida, foram confeccionados rolos, os quais foram mantidos em câmara de germinação com temperatura constante de $25 \text{ }^\circ\text{C}$ e fotoperíodo de 12 horas, durante 12 dias. Foram consideradas sementes germinadas aquelas que apresentaram protrusão da radícula, com no mínimo $10,0 \text{ mm}$ de comprimento. As avaliações da taxa de germinação foram realizadas aos 5 dias (primeira contagem do teste de germinação) e aos 12 dias (germinação final) após a instalação do teste.

1.2.3. Mensuração do crescimento e do vigor das plântulas

Aos 14 dias, após a determinação da germinação final, 10 plântulas foram escolhidas aleatoriamente para a mensuração do comprimento e da matéria seca da parte aérea e das raízes. O comprimento da parte aérea (CPA) e o comprimento das raízes (CR) foram mensurados com auxílio de uma régua graduada em milímetros. O acúmulo de matéria seca da parte aérea (MSPA) e das raízes (MSR) foi determinado em balança analítica após secagem do material vegetal em estufa a $85 \text{ }^\circ\text{C}$, por 48 h.

A partir dos dados de germinação, comprimento total e acúmulo de matéria seca total foram calculados os índices de vigor de plântula em condições controle e de estresse salino. Os índices de vigor de comprimento de plântula (IVC) e os índices de vigor de matéria seca de plântula (IVMS) foram calculados utilizando-se as Equações 1 e 2 propostas por Abdul-Baki e Anderson (1973):

$$\text{IVC} = \text{Comprimento total da plântula (cm)} \times \text{Germinação (\%)} \quad [1]$$

$$\text{IVMS} = \text{Matéria seca total da plântula (mg)} \times \text{Germinação (\%)} \quad [2]$$

1.2.4. Análises Estatísticas

Os dados foram previamente testados para satisfazer as hipóteses estatísticas de homoscedasticidade das variâncias (Teste de Levene; $p > 0,05$) e de normalidade dos resíduos (teste de Shapiro-Wilk; $p > 0,05$), sendo realizados no Microsoft Office Excel[®]. Em seguida,

os dados foram submetidos à análise de variância e, quando significativas, as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o software estatístico Sisvar[®] versão 5.6 para Windows (FERREIRA, 2011). Os gráficos foram elaborados por meio do pacote estatístico do Microsoft Office Excel[®] 2016 (Microsoft Office 365TM).

1.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise de variância não reportaram efeitos significativos ($p > 0,05$) da interação tripla entre os fatores cultivares, aplicação de silício e níveis de salinidade para nenhuma das características das plântulas de soja (Tabela 3). Os efeitos da interação entre os fatores cultivares e aplicação silício ($C \times Si$) também não foram significativos ($p > 0,05$) para nenhuma das características das plântulas de soja (Tabela 3). No entanto, os efeitos das interações entre cultivares e níveis de salinidade ($C \times S$) e entre os fatores aplicação de silício e níveis de salinidade ($Si \times S$) foram significativos ($p \leq 0,05$) para a maioria das características das plântulas de soja (Tabela 3).

Os coeficientes de variação (CV) obtidos para a todas as características das plântulas de soja são classificados como baixos, uma vez que foram inferiores a 15% (Tabela 3). Estes resultados indicam a alta homogeneidade para a maioria dos dados obtidos neste estudo, como reportado por Pimentel-Gomes (2000).

Tabela 3. Resumo da análise de variância para as mensurações de germinação, crescimento inicial e do vigor das plântulas das cultivares de soja para efeitos da aplicação de silício e dos níveis de salinidade. UEMS/Cassilândia, 2021.

| Causas de variação | Probabilidade > F | | | | | | | | | |
|-----------------------|-------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | G | PCG | CPA | CR | CT | MSPA | MSR | MST | IVC | IVMS |
| Cultivar (C) | <0,000 | <0,000 | <0,000 | <0,000 | <0,000 | <0,000 | <0,000 | <0,000 | <0,000 | <0,000 |
| Silício (Si) | <0,000 | <0,000 | <0,000 | 0,080 | <0,000 | <0,000 | <0,000 | <0,000 | <0,000 | <0,000 |
| Salinidade (S) | <0,000 | <0,000 | <0,000 | <0,000 | <0,000 | <0,000 | <0,000 | <0,000 | <0,000 | <0,000 |
| C × Si | 0,135 | 0,255 | 0,889 | 0,418 | 0,555 | 0,150 | 0,451 | 0,117 | 0,258 | 0,338 |
| C × S | <0,000 | <0,000 | 0,024 | 0,043 | 0,003 | 0,063 | 0,003 | 0,366 | <0,000 | <0,000 |
| Si × S | <0,000 | 0,005 | 0,001 | 0,345 | 0,011 | 0,185 | 0,183 | 0,031 | 0,027 | 0,043 |
| C × Si × S | 0,061 | 0,425 | 0,334 | 0,492 | 0,710 | 0,055 | 0,192 | 0,056 | 0,552 | 0,178 |
| CV (%) | 5,16 | 6,88 | 10,64 | 12,15 | 10,33 | 7,34 | 10,69 | 7,14 | 11,20 | 8,68 |

G: germinação; PCG: primeira contagem do teste de germinação; CPA: comprimento da parte aérea; CR: comprimento da radícula; CT: comprimento total das plântulas; MSPA: matéria seca da parte aérea; MSR: matéria seca das raízes; MST: matéria seca total das plântulas; IVC: índice de vigor de comprimento de plântulas; IVMS: índice de vigor de matéria seca de plântulas.

Na figura 1A é possível observar que não houve diferença estatística na primeira contagem de germinação para a cultivar de soja sensível (CG 67 RR) com aplicação de silício quando o nível de estresse salino foi suave e no controle. Com o aumento da salinidade a aplicação de Si foi favorável, sendo significativo tanto para o nível moderado como para o severo. Por sua vez, para a cultivar tolerante (BMX Desafio RR) a primeira contagem do teste de germinação não diferiu estatisticamente com a aplicação de Si no controle e nos níveis suave e moderado, sendo significativo apenas quando o nível foi severo, o que pode ser explicado pelo fato da cultivar já apresentar determinada tolerância ao estresse salino e reforçando a função do Si de proteção contra estresses abióticos (KORNDÖRFER, 2006). Santos et al. (2020) também observaram atenuação dos efeitos negativos da salinidade na germinação quando utilizado o silício em sementes de pimenta.

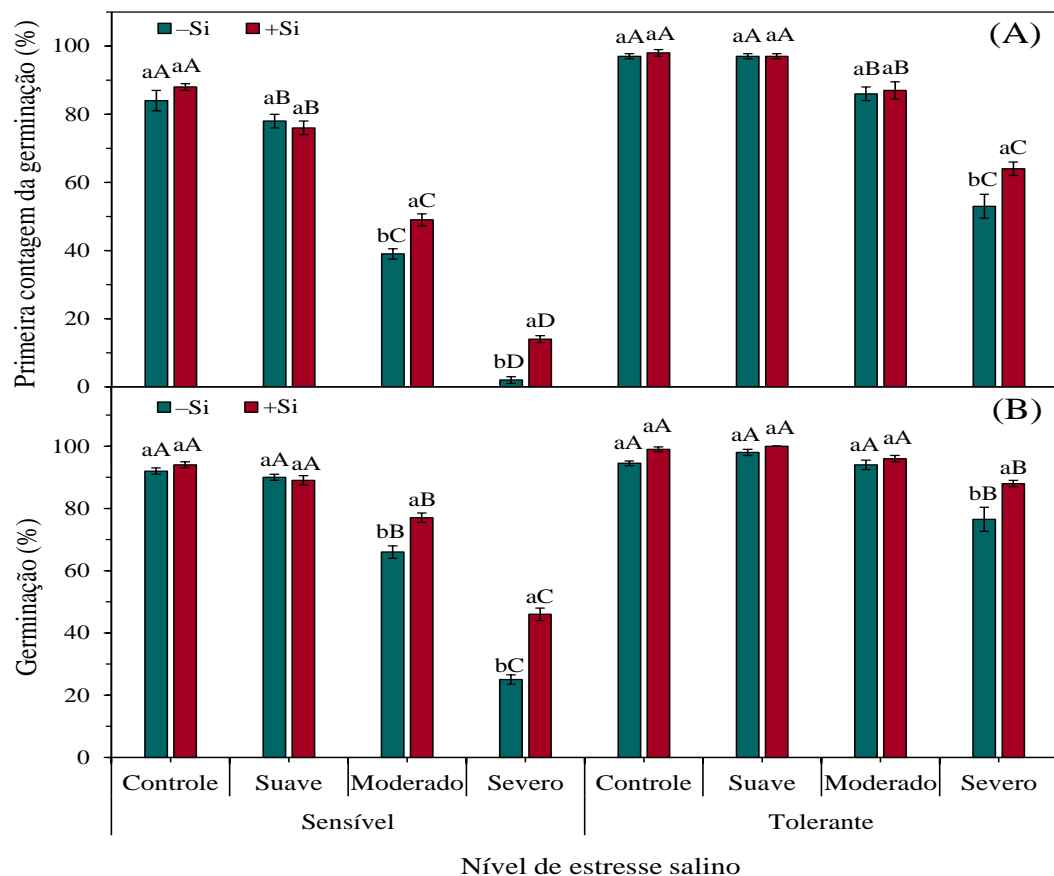


Figura 1. Efeito da adição (+Si) ou não de silício (-Si) e dos níveis de estresse salino na primeira contagem do teste de germinação (A) e na germinação final (B) das sementes das duas cultivares de soja [*Glycine max* (L.) Merrill.], sendo uma sensível (CG 67 RR) e outra tolerante (BMX Desafio RR) à salinidade. Barras seguidas por letras distintas, minúsculas para a adição ou não de Si ou letras maiúsculas para os níveis de salinidade mostram diferenças significativas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Os dados referem-se aos valores médios ($n = 4$) \pm erro padrão da média. UEMS/Cassilândia, 2021.

Em relação à salinidade, houve notável redução na primeira contagem de germinação da cultivar sensível com o aumento do nível de estresse salino, tanto com ou sem aplicação de silício, tendo o nível severo a porcentagem mais baixa de germinação (Figura 1A). Para a cultivar tolerante, tanto com como sem a aplicação de silício, houve redução significativa na porcentagem de germinação. Tais resultados corroboram com outros obtidos para as culturas de soja (BERTAGNOLLI et al., 2004), arroz (LIMA et al., 2005) e amendoim (BRITO et al., 2010). Segundo Taiz e Zeiger (2017), com a alteração do potencial hídrico do solo ocorre diminuição da absorção de água pela semente, interferindo assim no processo de germinação, podendo assim explicar os resultados observados neste estudo.

Na avaliação da germinação da cultivar sensível, não houve diferença significativa para aplicação de silício no controle e no nível suave de estresse salino, sendo significativo apenas com o incremento da salinidade, como já era esperado. Para a cultivar tolerante, a aplicação de silício não diferiu os resultados, sendo expressivo apenas no nível severo, apresentando os melhores resultados quando aplicado silício (Figura 1B). Isso pode indicar uma maior proteção concedida pelo silício à semente sob condições adversas para favorecimento do processo germinativo, assim como observado por Harter e Barros (2011) em sementes de soja.

Analisando a salinidade, tanto com como sem a aplicação de silício, os resultados não diferiram no controle e nível suave, sendo divergente no nível moderado e apresentando a mais baixa porcentagem quando severo para a cultivar sensível. Já na cultivar tolerante, os resultados diferiram apenas quando o nível foi severo. Moraes e Menezes (2003) relataram redução da germinação em soja superior a 20% com o aumento do potencial osmótico. Além de afetar a disponibilidade hídrica no processo germinativo, o alto nível de sais pode provocar toxicidade à semente (DIAS et al., 2016).

Para o comprimento de parte aérea (Figura 2A), comprimento de radícula (Figura 2B) e comprimento total das plântulas (Figura 2C) a aplicação de silício apresentou diferença estatística apenas no nível moderado onde a aplicação se mostrou favorável. Na cultivar tolerante, os mesmos resultados foram observados no comprimento de parte aérea e comprimento total, onde a aplicação diferiu no controle, estresse suave e moderado, apresentando maiores médias quando aplicado silício. Para o comprimento radicular houve diferença significativa no nível moderado com a aplicação de silício. Calzada (2021) observou redução no crescimento de plantas de soja cultivadas em condição salina e sem aplicação de silício tanto via foliar como radicular. Nessas mesmas condições também foi relatado a

diminuição do conteúdo e uso eficiência da água, o que pode ser a explicação para a limitação do crescimento das plantas.

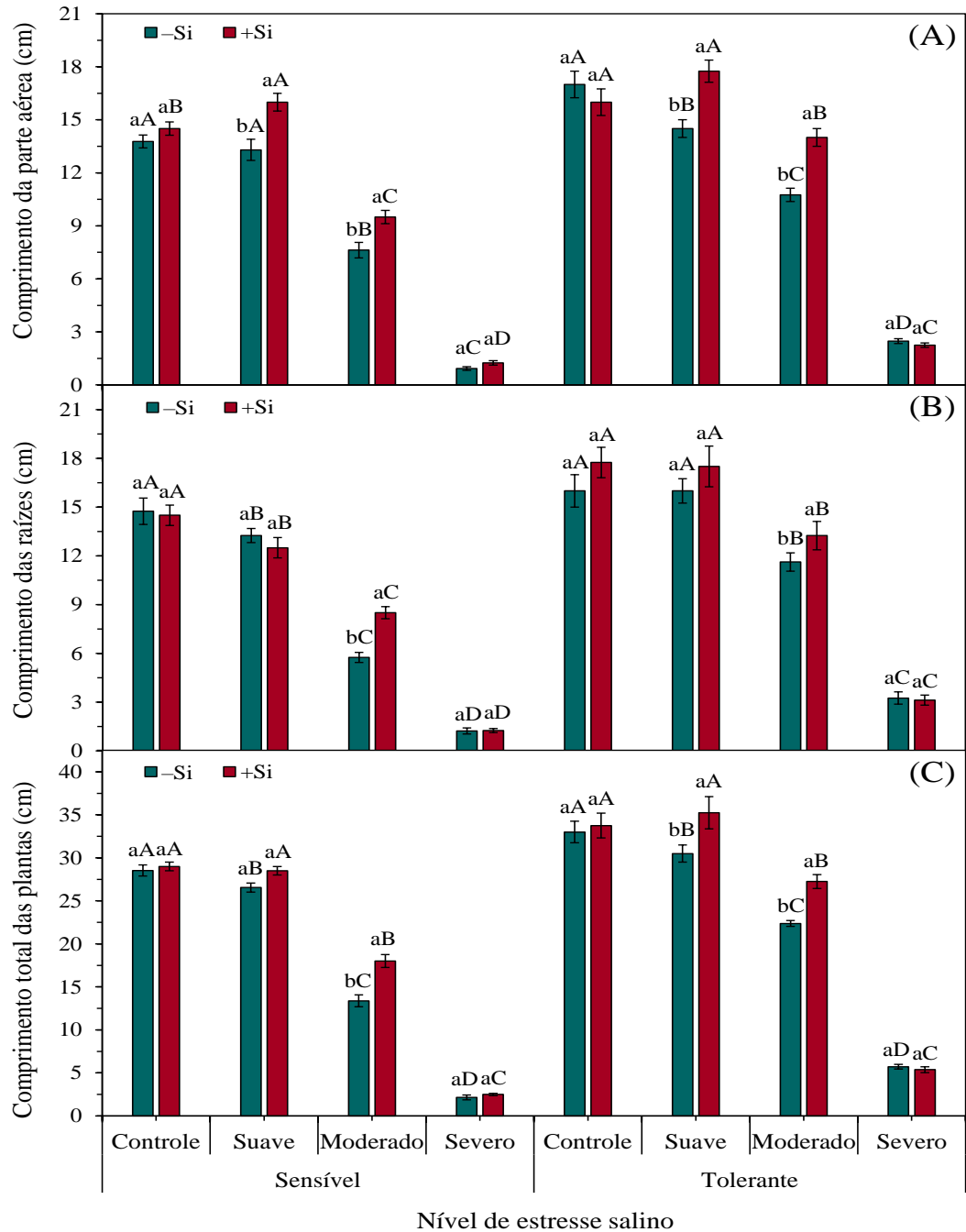


Figura 2. Efeito da adição (+Si) ou não de silício (-Si) e dos níveis de estresse salino no comprimento da parte aérea (A), comprimento das raízes (B) e comprimento total das plântulas das duas cultivares de soja [*Glycine max* (L.) Merrill.], sendo uma sensível (CG 67 RR) e outra tolerante (BMX Desafio RR) à salinidade. Barras seguidas por letras distintas, minúsculas para a adição ou não de Si ou letras maiúsculas para os níveis de salinidade mostram diferenças significativas pelo teste Tukey à 5% de probabilidade. Os dados referem-se aos valores médios ($n = 4$) \pm erro padrão da média. UEMS/Cassilândia, 2021.

Analisando a salinidade, com ou sem aplicação de silício na cultivar sensível, o comprimento de parte aérea e comprimento de raízes apresentou menores médias com o incremento da salinidade. No comprimento total de plantas esse resultado se repetiu quando não houve aplicação de silício. Com a aplicação o decréscimo das médias iniciou-se no controle moderado, estendendo para o severo. Reduções nos comprimentos de plântulas sob estresse salino foram observadas em soja (LIMA, 2019; CARVALHO et al., 2012), feijão (DALCHIAVON et al., 2016), feijão-caupi (COELHO et al., 2017) e crotalária (NUNES et al., 2009).

Com a cultivar tolerante os níveis salinos promoveram diferenças estatísticas no comprimento de parte aérea e total, decrescendo com o aumento da salinidade quando não aplicado silício. Já quando realizada a aplicação os dados foram semelhantes no controle e nível suave, diferindo no nível moderado e severo. Na avaliação do comprimento de raízes, a salinidade promoveu diferença significativa no nível moderado e severo, tanto com ou sem aplicação de silício. Esses resultados corroboram com Carvalho et al. (2012), onde observaram redução no crescimento de plântulas de soja convencional e RR com o aumento da quantidade de sais. Nunes et al. (2013) relataram diminuição do crescimento de variáveis agronômicas em feijão com aumento dos níveis salinos, sendo reduzidos esses efeitos com o aumento das concentrações de silício.

A matéria seca da parte aérea (Figura 3A) e a matéria seca total (Figura 3C) obtiveram desempenho semelhante em relação à aplicação de silício para a cultivar sensível, onde houve incremento de matéria seca sob nível de estresse suave e moderado. Já no caso de matéria seca das raízes (Figura 3B) esse incremento também ocorreu sob estresse severo. Na cultivar tolerante, o silício favoreceu a matéria seca da parte aérea e matéria seca total quando o estresse foi moderado e severo e para a matéria seca radicular no nível moderado. Esse resultado foi semelhante ao encontrado por Nunes et al. (2013), onde houve incremento de matéria seca em plantas de feijoeiro submetidas à aplicação de silício sob estresse salino. Em plantas de milho também foi observado por Lima et al. (2011) maiores valores nos parâmetros de crescimento com a utilização de silício sob estresse salino.

Analisando o desempenho segundo a salinidade, para a cultivar sensível houve um decréscimo no acúmulo de matéria seca na parte aérea, raízes e total quando não houve aplicação de silício e com aumento do nível de salinidade. Plantas de milho submetidas ao estresse salino também apresentaram redução no acúmulo de matéria seca, como foi observado por Conus et al. (2009). A matéria seca da parte aérea diferiu estatisticamente em

todos os níveis de salinidade e no controle nas plântulas da cultivar sensível submetidas à aplicação de silício, apresentando os melhores resultados quando o estresse foi suave. Teodoro et al. (2015) observou incremento de matéria seca em plantas de soja submetidas a déficit hídrico sob aplicação de silício. Korndörfer e Datnoff (1995) explica que tal efeito se dá pelo fato do silício proporcionar melhor eficiência no uso da água. O acúmulo de silício nas folhas proporciona diminuição da abertura dos estômatos, com isso reduzindo a perda de água pela planta, tornando-a menos exigente à água sob estresse (PEREIRA JÚNIOR et al., 2010; TEODORO et al., 2015; FERREIRA, 2008).

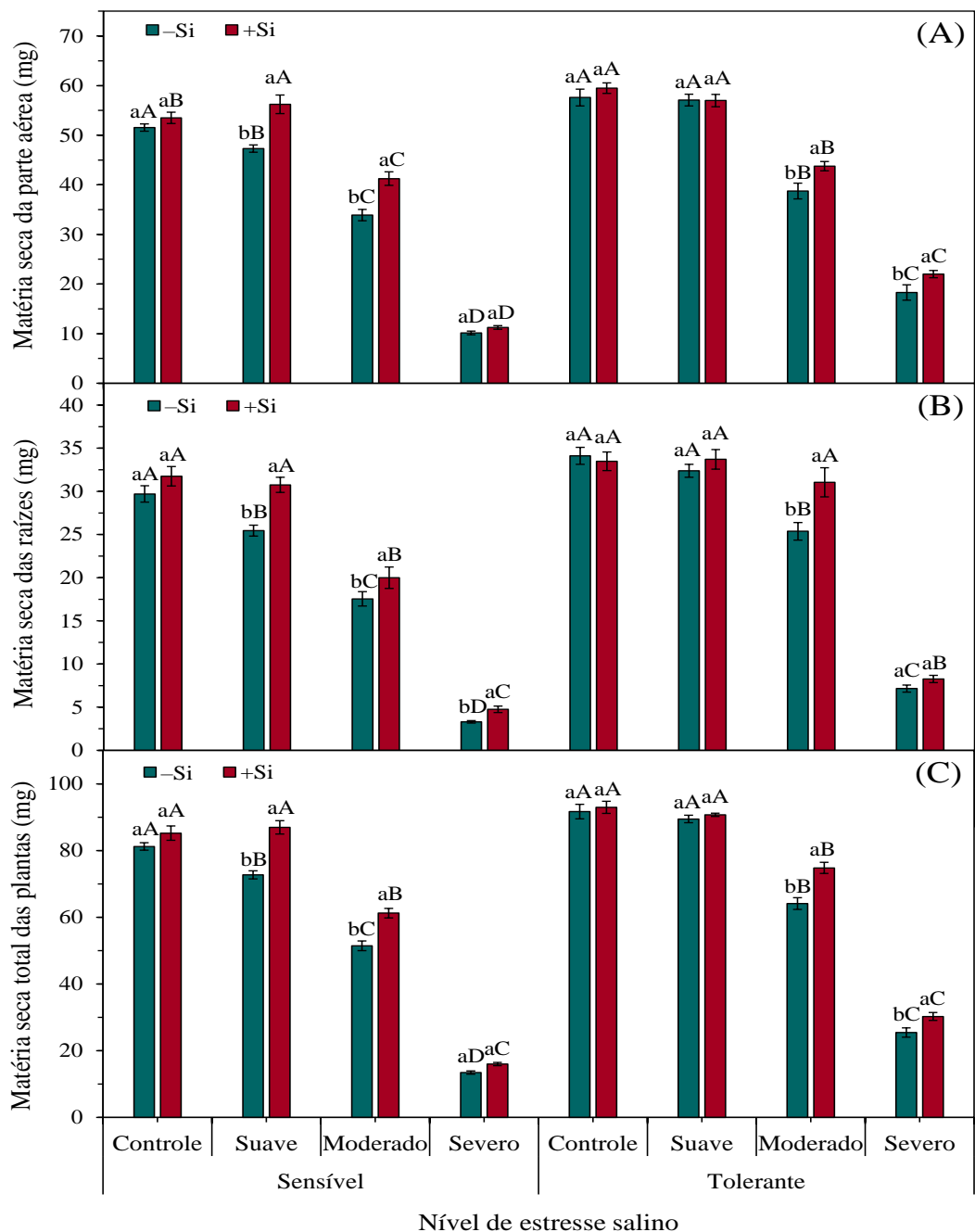


Figura 3. Efeito da adição (+Si) ou não de silício (-Si) e dos níveis de estresse salino no acúmulo de matéria seca da parte aérea (A), matéria seca das raízes (B) e matéria seca total das plântulas das duas cultivares de soja [*Glycine max* (L.) Merrill.], sendo uma sensível (CG 67 RR) e outra tolerante (BMX Desafio RR) à salinidade. Barras seguidas por letras distintas, minúsculas para a adição ou não de Si ou letras maiúsculas para os níveis de salinidade mostram diferenças significativas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Os dados referem-se aos valores médios ($n = 4$) \pm erro padrão da média. UEMS/Cassilândia, 2021.

Por sua vez, para a matéria seca das raízes e na matéria seca total os resultados foram semelhantes, apresentando o nível severo as menores médias. O mesmo pôde ser observado nas três avaliações das plântulas da cultivar tolerante sem silício e na matéria seca da parte aérea e total daquelas em que foram aplicadas o silício. No caso da matéria seca das raízes não houve diferença significativa no incremento para o controle e os níveis suave e moderado, apresentando decréscimo apenas no nível de estresse severo. Da mesma forma, Conus et al. (2009) e Azevedo Neto e Tabosa (2000) observaram redução na matéria seca da raiz em milho conforme aumento da concentração de sais. Plântulas de flamboyant também obtiveram esse decréscimo nessa variável com incremento de sais na solução do solo (NOGUEIRA et al., 2012).

Para o índice de vigor de comprimento (IVC) (Figura 4A), tanto no controle como no nível severo não houve diferença estatística em relação à aplicação de silício para a cultivar sensível, divergindo apenas no nível moderado, com incremento nas plântulas submetidas à aplicação de silício. Esse mesmo incremento pôde ser observado na avaliação do índice de vigor de matéria seca (IVMS) (Figura 4B) para os três níveis de estresse salino, não havendo diferença apenas no controle. Com a cultivar tolerante não houve diferença estatística no IVC entre plântulas com ou sem silício para o controle e nível severo, sendo observado divergências apenas no nível suave e moderado, onde as plântulas em que foram aplicadas o silício apresentaram melhores valores quando comparadas às que não possuíam aplicação. Na avaliação do IVMS não houve diferença significativa no controle e nível suave para aplicação, apenas no nível moderado e suave, tendo os melhores índices as que foram submetidas à aplicação de silício.

Avaliando o efeito da salinidade no IVC e IVMS para cultivar sensível sem aplicação de silício, houve decréscimo dos resultados com o incremento da salinidade, apresentando melhores valores no controle. Com a aplicação de silício para o IVC houve diferença significativa no controle e em todos os níveis, apresentando os melhores resultados no controle e piores no maior nível de estresse salino. Para o IVMS não houve diferença significativa no controle e nível suave, divergindo apenas no nível moderado e severo, tendo

este os menores valores para o índice. Para a cultivar tolerante, seja com ou sem aplicação de silício, os resultados obtidos se assemelharam, não havendo diferença significativa entre o controle e nível suave, decrescendo os valores com o aumento do nível de estresse salino, tendo o nível severo os menores resultados.

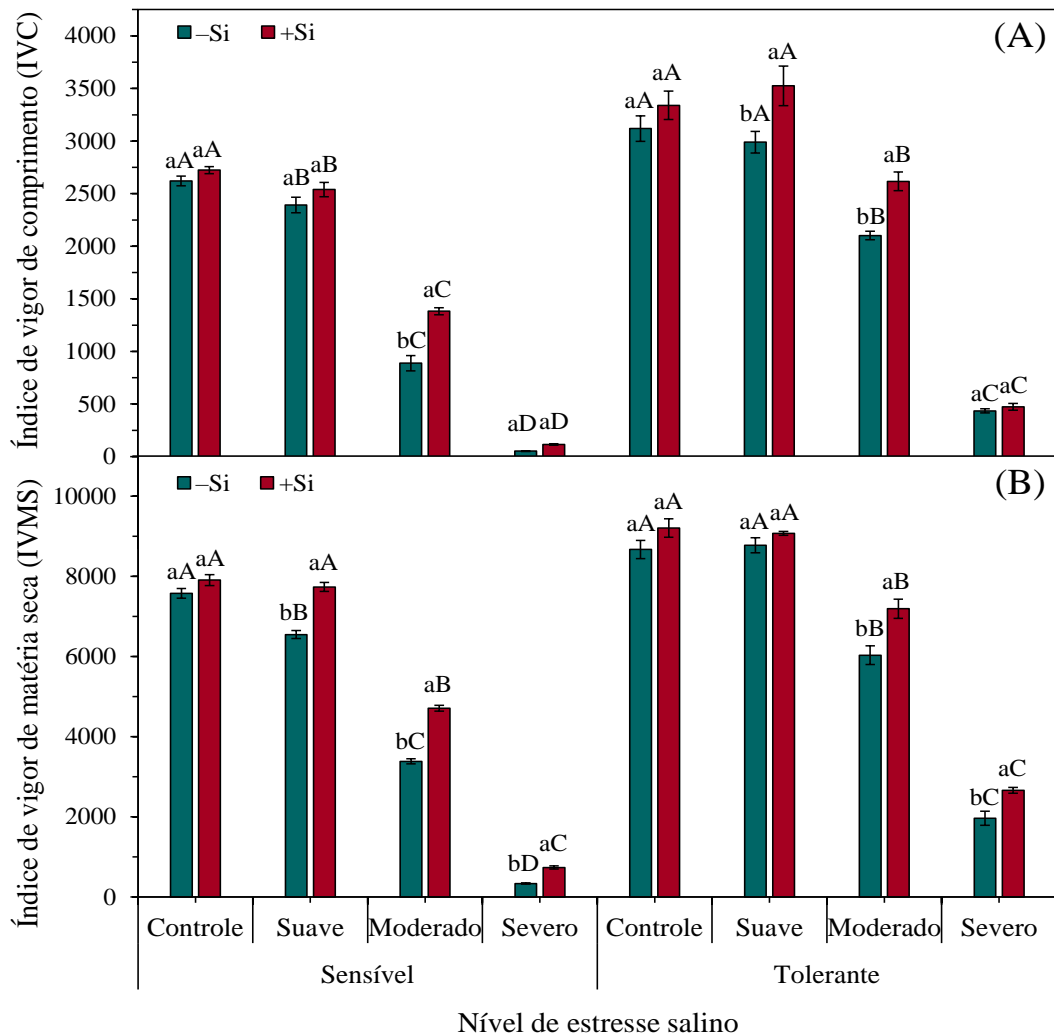


Figura 4. Efeito da adição (+Si) ou não de silício (-Si) e dos níveis de estresse salino no índice de vigor de comprimento das plântulas (A) e no índice de vigor de matéria seca das plântulas (B) das duas cultivares de soja [*Glycine max* (L.) Merrill.], sendo uma sensível (CG 67 RR) e outra tolerante (BMX Desafio RR) à salinidade. Barras seguidas por letras distintas, minúsculas para a adição ou não de Si ou letras maiúsculas para os níveis de salinidade mostram diferenças significativas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Os dados referem-se aos valores médios ($n = 4$) \pm erro padrão da média. UEMS/Cassilândia, 2021.

1.4. CONCLUSÕES

A aplicação de silício pode ser utilizada para atenuar os efeitos negativos do estresse salino no processo de germinação das sementes e no crescimento inicial das plântulas de soja.

No entanto, a aplicação de silício não tem capacidade de melhorar o crescimento inicial das plantas de soja em condições de estresse salino severo.

O aumento do nível do estresse salino reduziu drasticamente a taxa de germinação e o crescimento inicial das plantas de soja.

1.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDUL-BAKI, A. A.; ANDERSON, J. D. Vigor determination in soybean seed by multiple criteria 1. **Crop science**, v. 13, n. 6, p. 630-633, 1973.

ALSCHER, R.G., DONAHUE, J.L.; CRAMER, C.L. Reative oxygen species and antioxidants: Relationships in green cells. **Physiology Plantarum**, v. 100, n. 2, p. 224-233, 1997.

AZEVEDO NETO, A. D.; TABOSA, J. N. Estresse salino em plântulas de milho: Parte I análise do crescimento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, n. 2, p. 159-164, 2000.

BERTAGNOLLI, C. M.; CUNHA, C. S. M.; MENEZES, S. M. de; MORAES, D. M. de; LOPES, N. F.; ABREU, C. M. Qualidade fisiológica e composição química de sementes de soja submetidas ao estresse salino. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 10, n. 3, p. 287-291, 2004.

BRITO, D. R.; SOUZA, V. C.; OLIVEIRA, A. C. S.; SILVA, C. K. C.; ARAUJO, C. A. Efeitos de diferentes níveis de estresse salino na germinação fisiológica de sementes de amendoim da cultivar BR-1. **Revista Ambientale**, v. 2, n. 2, p. 10-16, 2010.

BRUNES, A.P.; FONSECA, D.A.R.; RUFINO, C.A.; TAVARES, L.C.; TUNES, L.M.; VILLELA, F.A. Crescimento de plântulas de aveia branca submetidas ao estresse salino. **Semina: Ciências Agrárias**, v.34, n.6, p.3455-3462, 2013.

BUSTINGORRI, C.; LAVADO, R. S. Soybean growth under stable versus peak salinity. **Scientia Agricola**, v. 68, n. 1, p. 102-108, 2011.

CALZADA, K. P. **Silício como atenuante dos efeitos da salinidade em plantas de soja**. 2021. 84 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, São Paulo, 2021.

CARVALHO, T. C.; SILVA, S. S.; SILVA, R. C.; PANOBIANCO, M. Germinação e desenvolvimento inicial de plântulas de soja convencional e sua derivada transgênica RR em condições de estresse salino. **Revista Ciência Rural**, v. 42, n. 8, p. 1366-1371, 2012.

COELHO, D. S.; SILVA, J. A. B.; NASCIMENTO, R. L.; COSTA, J. D. S.; SEABRA, T. X. Germinação e crescimento inicial de variedades de feijão-caupi submetidas a diferentes concentrações salinas. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 12, n. 2, p. 261-266, 2017.

CONUS, L. A.; CARDOSO, P. C.; VENTUROSOS, L. R.; SCALON, S. P. Q. Germinação de sementes e vigor de plântulas de milho submetidas ao estresse salino induzido por diferentes sais. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 31, n. 4, p. 67-74, 2009.

CURVÊLO, C. R. S.; RODRIGUES, F. A.; PEREIRA, L. F.; SILVA, L. C.; DAMATTA, F. M.; BERGER, P. G. Trocas gasosas e estresse oxidativo em plantas de algodoeiro suprimidas com silício e infectadas por *Ramularia aréola*. **Bragantia**, v. 72, n. 4, p. 346-359, 2013.

DALCHIAVON, F. C.; NEVES, G.; HAGA, K. I. Efeito do estresse salino em sementes de *Phaseolus vulgaris*. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 39, n. 3, p. 404-412, 2016.

DEBOUBA, M.; GOUIA, H.; VALADIER, M.H.; GHORBEL, M.H.; SUZUKI, A. Salinity-induced tissue-specific diurnal changes in nitrogen assimilatory enzymes in tomato seedlings grown under high or low nitrate medium. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.44, p.409-419, 2006.

DIAS, N. S.; BLANCO, F. F.; SOUZA, E. R.; FERREIRA, J. F. S.; SOUSA NETO, O. N.; QUEIROZ, I. S. R. Efeitos dos sais na planta e tolerância das culturas à salinidade. IN: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.; GOMES FILHO, E. ed. **Manejo da salinidade na agricultura**: Estudo básico e aplicado. Fortaleza, CE: INCTSal, 2016. p. 151-161. Cap. 11.

DIAS, N. S.; DUARTE, S. N.; TELES FILHO, J. F.; YOSHINAGA, R. T. Salinização do solo por aplicação de fertilizantes em ambiente protegido. **Irriga**, v.12, n.1, p.135-143, 2007.

FAO- Food and Agriculture Organization of the United Nations. **The state of the world's land and water resources for food and agriculture**. Roma: FAO. 2011. 50p.

FERREIRA, S. M. **Efeito do silício na cultura do algodoeiro (*Gossipium hirsutum* L.): Aspectos bioquímicos, qualidade de fibra e produtividade.** 2008. 68f. Tese (Doutorado em Ecologia Aplicada) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Piracicaba, SP, 2008.

FERREIRA, D. F. Sisvar: um sistema computacional de análise estatística. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FREIRE, M. B. G. S.; FREIRE, F. J. Fertilidade do solo e seu manejo em solos afetados por sais. IN: In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F. de; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. ed. **Fertilidade do solo.** Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 929-954. Cap.XVI.

GOMES, E. M.; GHEYI, H. R.; SILVA, E. F. F. Melhorias nas propriedades químicas de um solo salino-sódico e rendimento de arroz, sob diferentes tratamentos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, n. 3, p. 355-361, 2000.

HARTER, F. S.; BARROS, A. C. S. A. Cálcio e silício na produção e qualidade de sementes de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 33, n. 1, p. 54-60, 2011.

HARTER, L. S. H.; HARTER, F. S.; DEUNER, C.; MENEGHELLO, G. E.; VILLELA, F. A. Salinidade e desempenho fisiológico de sementes e plântulas de mogango. **Horticultura Brasileira**, v. 32, n. 1, p. 80-85, 2014.

HATTORI, T.; SONOBE, K.; INANAGA, S.; AN, P.; MORITA, S. Effects of silicon on photosynthesis of young cucumber seedlings under osmotic stress. **Journal of Plant Nutrition**, v.31, n. 6, p. 1046-1058, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1080/01904160801928380>.

HILLEL, D. **Soil and water:** physical principles and process. New York: Academic Press, 1971. 288p.

KORNDÖRFER, G. H. Elementos benéficos. In: FERNANDES, M. S. (ed.). **Nutrição mineral de plantas.** Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. Cap. XIV, p. 355-374.

KORNDÖRFER, G. H.; DATNOFF, L. E. Adubação com silício: uma alternativa no controle de doenças da cana-de-açúcar e do arroz. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, v. 70, p. 1-5, 1995.

KORNDÖRFER, G. H.; NOLLA, A.; OLIVEIRA, L. A. **Silício no solo e na planta**. Uberlândia - MG: GPSi – ICIAG - UFU, 2004. 24p. (Boletim Técnico, 3).

LARCHER, W. **Physiological Plant Ecology**: ecophysiology and stress physiology of functional groups. 4 ed. Springer: New York. 2003. 513p.

LIMA, R. K. O. **Germinação e vigor de sementes de soja em condições de estresses térmico e salino**. 2019, 43f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Fortaleza, CE, 2019.

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

LIMA, M. A.; CASTRO, V. F.; VIDAL, J. B.; ENÉAS-FILHO, J. Aplicação de silício em milho e feijão-de-corda sob estresse salino. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 2, p. 398-403, 2011.

MA, J.F. & YAMAJI, N. Silicon uptake and accumulation in higher plants. **Trends Plant Sci.**, v. 11, p. 342-397, 2006.

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

MUNNS, R. Comparative physiology of salt and water stress. **Plant, Cell and Environment**, v.25, n. 2, p.239-250, 2002.

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

NOGUEIRA, N. W.; LIMA, J. S. S.; FREITAS, R. M. O.; RIBEIRO, M. C. C.; LEAL, C. C. P.; PINTO, J. R. S. Efeito da salinidade na emergência e crescimento inicial de plântulas de flamboyant. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 34, n. 3, p. 466-472, 2012.

NUNES, A. S.; LOURENÇÃO, A. L. F.; PEZARICO, C. G.; SCALON, S. P. Q.; GONÇALVES, M. C. Fontes e níveis de salinidade na germinação de sementes de *Crotalaria juncea* L. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, n. 3, p. 753-757, 2009.

NUNES, M. F. P. N.; RODRIGUES, C. B.; SILVA, M. A. V.; RODRIGUES, T. M.; HÉLCIAS, R. P.; SANTANA, M. D. Redução dos efeitos deletérios do NaCl no crescimento inicial do feijoeiro comum cultivados com Si. In: XXXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 34, Florianópolis - SC, **Anais ...**Florianópolis: SBCS, 2013.

PEREIRA JÚNIOR, P.; REZENDE, P. M.; MALFITANO, S. C.; LIMA, R. K.; CORRÊA, L. V. T.; CARVALHO, E. R. Efeito de doses de silício sobre a produtividade e características agronômicas da soja [*Glycine max* (L.) Merrill]. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 4, p. 908-913, 2010.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 14 ed. Degaspari: Piracicaba, 2000. 477p.

SANTOS, C. M. G.; TROVATO, V. W.; MATOS, A. M. N.; MAR, G. D.; CAPRISTO, D. P.; SILVA, J. A. S.; SILVA, B. N. P. Efeito da aplicação de silício na germinação de sementes de pimenta sob estresse salino. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 8, p. 1-14, 2020.

SCHEEREN, B. R.; PESKE, S. T.; SCHUCH, L. O. B.; BARROS, A. C. A. Qualidade fisiológica e produtividade de sementes de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 32, n. 3, p. 035-041, 2010.

SILVA, M. L. S.; SILVA, M. L. S.; RUPPENTHAL, V.; OLIVEIRA, A. B.; ENÉAS FILHO, J. Influência da suplementação com silício na atividade de enzimas antioxidantes em plantas de girassol sob estresse salino. In: II Simpósio Brasileiro de Recursos Naturais do Semiárido, 2, Quixadá – CE, **Anais ...** Quixadá: SBRNS, 2015.

SILVA, M. L. S. **Respostas fisiológicas e bioquímicas de plantas jovens de arroz tratadas com silício submetidas ao estresse salino**. 2015. 79 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 6 ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858p.

TEODORO, P. E.; RIBEIRO, L. P.; OLIVEIRA, E. P.; CÔRREA, C. C. G.; TORRES, F. E. Acúmulo de massa seca na soja em resposta a aplicação foliar com silício sob condições de déficit hídrico. **Bioscience Journal**, v. 31, n. 1, p. 161-170, 2015.

TESTER, M.; DAVENPORT, R. Na⁺ tolerance and Na⁺ transport in higher plants. **Annals of Botany**, v.91, n.5, p.503-527, 2003.

TONIN, F. B. **Atividade de enzimas antioxidativas e absorção de silício em plantas de pimentão submetidas a estresse salino**. 2005. 93f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu – SP, 2005.

WEAST, R. C. **Handbook of Chemistry and Physics: A Ready-Reference Book of Chemical and Physical Data**. 55 ed. Crc. Press Inc: Boca Raton, Flórida, 1975, 2368p.

ZUFFO, A. M.; STEINER, F.; SOUSA, T. O.; AGUILERA, J. J.; TEODORO, P. E.; ALCÂNTARA-NETO, F.; RATKE, R. F. How does water and salt stress affect the germination and initial growth of Brazilian soya bean cultivars? **Journal of Agronomy and Crop Science**. v.206, p.837-850, 2020. DOI:<https://doi.org/10.1111/jac.12434>