



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA/FITOTECNIA

PALOMA RAYANE PINHEIRO

**INFLUÊNCIA DO TRATAMENTO COM SILÍCIO EM SEMENTES DE SORGO
GRANÍFERO SUBMETIDAS A ESTRESSES ABIÓTICOS**

FORTALEZA

2019

PALOMA RAYANE PINHEIRO

INFLUÊNCIA DO TRATAMENTO COM SILÍCIO EM SEMENTES DE SORGO
GRANÍFERO SUBMETIDAS A ESTRESSES ABIÓTICOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia do Departamento de Fitotecnia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como atividade curricular obrigatória para obtenção do título de Mestre em Agronomia/Fitotecnia. Área de concentração: Fitotecnia.

Orientador: Prof. Dr. Alek Sandro Dutra

FORTALEZA

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- P721i Pinheiro, Paloma Rayane.
Influência do tratamento com silício em sementes de sorgo granífero submetidas a estresses abióticos /
Paloma Rayane Pinheiro. – 2019.
40 f.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de
Pós-Graduação em Agronomia (Fitotecnia), Fortaleza, 2019.
Orientação: Prof. Dr. Alek Sandro Dutra.
1. Sorghum bicolor. 2. sifol. 3. silicato de potássio. 4. estresse hídrico. 5. estresse salino. I. Título.
CDD 630
-

PALOMA RAYANE PINHEIRO

INFLUÊNCIA DO TRATAMENTO COM SILÍCIO EM SEMENTES DE SORGO
GRANÍFERO SUBMETIDAS A ESTRESSES ABIÓTICOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia do Departamento de Fitotecnia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como atividade curricular obrigatória para obtenção do título de Mestre em Agronomia/Fitotecnia. Área de concentração: Fitotecnia.

Aprovado (a) em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Alek Sandro Dutra (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^a. Dra. Haynna Fernandes Abud
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Salvador Barros Torres
Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte (EMPARN) e Universidade
Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

A Deus

A minha família,

Ao meu avô (*in memoriam*)

AGRADECIMENTOS

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro com a manutenção da bolsa de pesquisa.

Ao professor Alek Sandro Dutra pela orientação.

Aos professores participantes da banca Haynna Fernandes Abud e Salvador Barros Torres, por seu tempo e por suas valiosas colaborações e sugestões para o trabalho.

Aos meus colegas de laboratório que foram essenciais para que pudesse concluir essa caminhada, vocês são mais que colegas, são uma família.

Ao meu esposo e minha família por todo apoio durante essa caminhada.

RESUMO

Em campo as sementes de sorgo estão expostas a vários fatores ambientais que podem levar a estresses, dentre estes temos o estresse hídrico e o salino. O silício (Si) devido ao seu acúmulo na parede celular pode trazer diversos benefícios as plantas e servir como atenuante a esses estresses. Objetivou-se avaliar a indução de tolerância por silício em sementes de sorgo submetidas aos estresses abióticos. Para os tratamentos com silício foi utilizado a Sifol[®] (silicato de potássio), em cinco doses (0,0, 0,3, 0,6, 0,9 e 1,2 g/L). Para simulação de estresse hídrico, as sementes foram submetidas ao polietilenoglicol (PEG 6000) nas concentrações de 0,0, -0,2, -0,4, -0,6 e -0,8 MPa e, para o estresse salino, utilizou-se o cloreto de sódio (NaCl) nas concentrações de 0, 75, 150 e 225 mM. As variáveis analisadas foram as seguintes: germinação, primeira contagem de germinação, comprimento da parte aérea e da raiz, relação parte aérea/raiz e massa seca de plântulas. Para a germinação, quando submetidas ao estresse salino houve redução para os dois genótipos e quando submetidos ao estresse hídrico os genótipos EA03 e EA955 mantiveram a germinação próximo a 90% até o nível de -0,4 MPa e -0,6 MPa, respectivamente. No estresse salino o tratamento com silício manteve a primeira contagem de germinação do genótipo EA03 acima de 90% e a do genótipo EA955 em torno de 60% na maior concentração de NaCl. Já para o estresse hídrico, os dois genótipos apresentaram redução nos valores da primeira contagem. Houve redução no comprimento da parte aérea para os dois genótipos tanto no estresse salino como no hídrico. Para o comprimento de raiz tanto para o estresse hídrico como o salino os genótipos testados apresentaram os melhores valores na concentração de 0,9 g/L de Si. Com o aumento do estresse salino e do hídrico houve redução na relação parte aérea/raiz. Para a massa seca na concentração de 225mM no genótipo EA03 os melhores valores de massa seca foram verificados na concentração de 0,9 g/L de Si já para o EA955 e em todos os tratamentos com silício ficaram em torno de 6 mg. Para o estresse hídrico os dois genótipos ficaram com massa seca em torno de 6 mg. O silício influenciou de forma positiva a fisiologia de sementes de sorgo granífero, sendo as concentrações de 0,6 e 0,9 g/L as que apresentaram os melhores resultados.

Palavras-chave: *Sorghum bicolor*. Sifol. silicato de potássio. estresse hídrico. estresse salino.

ABSTRACT

In the field sorghum seeds are exposed to various environmental factors that can lead to stress, among which we have water stress and saline. Silicon (Si) due to its accumulation in the cell wall can bring several benefits to plants and serve as an attenuator to these stresses. The objective of this study was to evaluate the induction of silicon tolerance in sorghum seeds submitted to abiotic stress. For silicon treatments, Sifol® (potassium silicate) was used in five doses (0.0, 0.3, 0.6, 0.9 and 1.2 g / L). For water stress simulation, the seeds were submitted to polyethylene glycol (PEG 6000) at concentrations of 0.0, -0.2, -0.4, -0.6 and -0.8 MPa and, for saline stress, sodium chloride (NaCl) was used at concentrations of 0, 75, 150 and 225 mM. The variables analyzed were: germination, first germination count, shoot and root length, shoot / root ratio and seedling dry mass. For germination, when subjected to saline stress there was reduction for both genotypes and when subjected to water stress genotypes EA03 and EA955 maintained germination close to 90% until the level of -0,4 MPa and -0,6 MPa, respectively. . In saline stress silicon treatment maintained the first germination count of genotype EA03 above 90% and genotype EA955 around 60% in the highest NaCl concentration. For water stress, both genotypes showed reduction in the values of the first count. There was a reduction in shoot length for both genotypes in both saline and water stress. For root length for both water and saline stress the tested genotypes presented the best values at the concentration of 0.9 g / L Si. With the increase of saline and water stress there was a reduction in the shoot / root ratio. For the dry mass at 225mM concentration in genotype EA03 the best dry mass values were verified at the concentration of 0.9 g / L Si already for EA955 and in all silicon treatments were around 6 mg. For water stress both genotypes had a dry mass of around 6 mg. Silicon positively influenced the physiology of granular sorghum seeds, with the concentrations of 0.6 and 0.9 g / L presenting the best results.

Keywords: Sorghum bicolor. Syphol. potassium silicate. water stress. saline stress.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Primeira contagem de germinação de sementes de sorgo EA03 (A e C) e EA955 (B e D) tratadas com Si e submetidas ao stress salino e hídrico.....	22
Figura 2	– Germinação de sementes de sorgo EA03 (A e C) e EA955 (B e D) tratadas com Si e submetidas ao stress salino e hídrico.....	24
Figura 3	– Comprimento da parte aérea de sementes de sorgo EA03 (A e C) e EA955 (B e D) tratadas com Si e submetidas ao stress salino e hídrico.....	25
Figura 4	– Comprimento da raiz de sementes de sorgo EA03 (A e C) e EA955 (B e D) tratadas com Si e submetidas ao stress salino e hídrico.....	26
Figura 5	– Relação Parte aérea/raiz de sementes de sorgo EA03 (A e C) e EA955 (B e D) tratadas com Si e submetidas ao stress salino e hídrico.....	28
Figura 6	– Massa seca de plântulas de sementes sorgo EA03 (A e C) e EA955 (B e D) tratadas com Si e submetidas ao stress salino e hídrico.....	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Análise de variância para os efeitos da aplicação de silício em sementes de sorgo submetidas aos estresses salino e hídrico, avaliado através da germinação (G), primeira contagem de germinação (PC), comprimento da parte aérea (PA) e raiz (CR), relação parte aérea/raiz (PA/R) e massa seca (MS) de plântulas de sorgo.....	41
----------	--	----

LISTA DE SÍMBOLOS

- % Porcentagem
- ® Marca Registrada

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1	Aspectos gerais sobre a cultura do sorgo.....	13
2.2	Silício na agricultura.....	14
2.3	Estresses hídrico e salino.....	16
3	ARTIGO.....	18
4	CONCLUSÃO	34
	REFERÊNCIAS.....	35
	APÊNDICE A- TABELA DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA	41

1 INTRODUÇÃO

O silício (Si) pode trazer diversos benefícios as plantas como o aumento da hemicelulose e lignina (ASMAR et al., 2011), aumento da eficiência da capacidade fotossintética, redução da transpiração, crescimento de plantas, aumento da resistência mecânica das células (PASQUAL et al., 2011) e aumento no teor de clorofila (ASMAR et al., 2013).

A maior parte dos benefícios do silício é devido ao seu acúmulo na parede celular abaixo da cutícula das folhas na forma de sílica amorfa ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) (FREITAS et al., 2011). Essa forma uma dupla camada, cutícula-sílica, na epiderme e nos tecidos vasculares do caule, bainha e raízes de algumas plantas (SCHURT et al., 2015; JESUS et al., 2018).

O silício pode ser disponibilizado para as plantas em diferentes fontes como silicato de potássio (K_2SiO_3) que foi recentemente liberado para o uso agrícola, de cálcio (CaSiO_3), de sódio (Na_2SiO_3) e de magnésio (SiMg) (BRAGA et al., 2009; ZANÃO JÚNIOR et al., 2010; NOLLA et al., 2012; CARVALHO et al., 2013).

As espécies vegetais podem ser classificadas de acordo com a concentração de Si nos tecidos, sendo que as gramíneas em geral são classificadas como acumuladoras, como é o caso do sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) (KORNDÖRFER et al., 2010).

O sorgo, família Poaceae, é originário da África e parte da Ásia e atualmente constitui uma das fontes de alimento mais importantes no mundo, sendo cultivado mundialmente devido a sua resistência a fatores ambientais, como seca e temperaturas (SIMONI et al., 2011; LISBOA et al., 2017; VERMA et al., 2017).

Em campo, as sementes estão expostas a diferentes tipos de fatores ambientais, e nem sempre estes são adequados ao cultivo, como é o caso dos solos salinos e o *déficit* hídrico (AZERÊDO et al., 2016).

Diferentes espécies têm sua germinação e desenvolvimento limitados devido ao estresse hídrico ou salino, que variam com a espécie e o estágio de desenvolvimento da planta, e também com o tipo de estresse, duração e intensidade (CARNEIRO et al., 2011).

Durante a absorção de água, potenciais osmóticos negativos causados pelo estresse hídrico no início da embebição podem inviabilizar a sequência dos eventos germinativos da semente (GUEDES et al., 2013).

O estresse salino afeta as plantas através da retenção osmótica da água, diminuindo seu potencial hídrico, causando efeitos semelhantes ao hídrico, e também toxidez, devido ao efeito iônico específico (REGO et al., 2011; TAIZ et al., 2017).

Como o sorgo é acumulador de silício, esta espécie pode expressar os efeitos benéficos que este elemento pode causar. Diante disso, são necessários estudos que possam comprovar a eficiência do tratamento das sementes de sorgo com silício visando mitigar os estresses hídrico e salino.

O presente estudo objetivou avaliar a indução de tolerância por silício em sementes de sorgo submetidas aos estresses abióticos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Aspectos gerais sobre a cultura do sorgo

O sorgo é uma planta com elevado volume de massa verde, constituindo uma alternativa para a alimentação humana e animal, além de ter características de tolerância a seca e a altas temperaturas (SIMONI et al., 2011; VAZQUEZ; BERTOLIN; SPEGIORIN, 2011).

A domesticação do sorgo ocorreu em três fases, sendo a primeira no Saara com um bicolor que migrou para a África, a segunda com a migração do sorgo africano para a Ásia, e a terceira quando o sorgo chegou ao continente europeu no século XVI (FIGUEIREDO et al., 2012).

No Brasil o sorgo chegou no século XX, mas por apresentar dificuldades na comercialização e no armazenamento, torou-se produzido principalmente para a indústria de ração (EMBRAPA, 2017).

O sorgo é uma espécie de fotosistema C₄, o que a torna mais eficiente na fixação de dióxido de carbono em relação as do tipo C₃ (TAIZ et al., 2017). Sendo assim, adapta-se facilmente ao ambiente com altas concentrações de CO₂, como também as diversas condições de fertilidade de solo (KOSERA NETO et al., 2015; VERMA et al., 2017; PRAMONO et al., 2018).

Botanicamente o grão do sorgo é um fruto do tipo cariopse, tendo como características a de que o pericarpo é fundido com o tegumento da semente propriamente dita (EMBRAPA, 2017).

O sorgo é uma importante cultura alimentar da família Poaceae e tribo Andropogoneae, sendo um cereal cultivado globalmente, que se adapta a climas quentes como em regiões tropicais e subtropicais, com temperatura média entre 22° e 32° C (MORADI; YOUNESI, 2009; VERMA et al., 2017; PRAMONO et al., 2018).

Além de fonte alimentícia o sorgo também vem sendo utilizado como matéria prima na produção de álcool anidro, farinhas, bebidas alcoólicas, tintas, vassouras e biocombustíveis (SILVA FLÁVIO et al., 2014; LISBOA et al., 2017).

Na safra 2018/19 tem-se uma estimativa de que o sorgo teve uma área plantada de 39,92 milhões de hectares no mundo, com uma produtividade de 1,49 toneladas por hectare (USDA, 2019). No Brasil para a safra de 2018/19 a cultura do sorgo teve uma área plantada de 727,1 mil hectares e uma produtividade de 3.008 kg/há, tornando-se o 9º maior produtor de sorgo granífero no mundo (CONAB, 2019).

A formação de estande denso de plantio é de grande importância para a produção do sorgo, sendo a fase mais crítica para garantir esta produção o período entre a semeadura e o estabelecimento de plântulas em campo (SIMONI et al., 2011).

A qualidade das sementes influencia diretamente no estabelecimento do estande, o que faz com que elas hoje sejam um veículo de transporte de tecnologia com alto valor agregado (VAZQUEZ; BERTOLIN; SPEGIORIN, 2011; MOKHTARI; EMEKLIER, 2018). No entanto quando comparado a outras culturas como o milho a qualidade das sementes de sorgo ainda não se encontra satisfatória diante da importação dessa cultura.

Qualidade de sementes é definida como um conjunto de características que expressam o potencial das sementes de maneira consistente de acordo com a interação de atributos genéticos, físicos, fisiológicos e a sanidade (Marcos-Filho 2015). Assim pode-se dizer que um lote de alta qualidade é aquele que atende a todos esses atributos com excelência, caso contrário, este lote não pode ser classificado como tal (França-Neto, 2009).

As sementes são uns dos principais insumos para a agricultura, pois são um importante veículo de tecnologia, trazendo benefícios como: aumento na produtividade e produção, melhor aproveitamento de insumos como fertilizantes, irrigação e agroquímicos, menor ataque de plantas invasoras, dentre outros (PESKE; ROSENTHAL; ROTA, 2003; MARCOS-FILHO, 2015b).

2.2 Silício na agricultura

O silício (Si) é o segundo elemento químico mais abundante na terra, sendo encontrado em diversas plantas, onde algumas destas são acumuladoras deste elemento (CARVALHO et al., 2013).

Este elemento pode ser disponibilizado para as planta em diferentes fontes como silicato de potássio (K_2SiO_3) que foi recentemente liberado para o uso agrícola, de cálcio ($CaSiO_3$), de sódio (Na_2SiO_3) e de magnésio ($SiMg$) (BRAGA et al., 2009; ZANÃO JÚNIOR et al., 2010; NOLLA et al., 2012; CARVALHO et al., 2013), e também como caulim, cinza de casca de arroz, escórias de siderurgia dentre outros produtos comerciais que são fonte desse elemento (MARAFFON; ENDRES, 2011; BRUNES et al., 2015).

O silício presente no solo é o monômero H_4SiO_4 que é absorvido pelas raízes por transportadores de membranas específicos, as aquaporinas, e são exportadas via transporte de efluxo, provavelmente por transporte ativo secundário, se depositado principalmente no retículo endoplasmático, nas paredes celulares e nos espaços intercelulares, como sílica amorfa hidratada ($SiO_2 \cdot nH_2O$) (TAIZ et al.; 2017).

Os benefícios do silício têm sido comprovados em diversas culturas agrícolas como batata inglesa (GOMES; MORAES; NERI, 2009), forrageiras (KORNDÖRFER et al., 2010), o arroz (SCHURT et al., 2015), cevada (BRUNES et al., 2015), soja (RODRIGUES; FIDÉLIS; TAVARES, 2017), e além de, e espécies florestais e ornamentais (DALASTRA et al., 2011; NAVAS; NUNES; VASCONCELLOS JUNIOR, 2016). Mesmo assim o Si, este ainda não é considerado elemento essencial às plantas superiores (FREITAS et al., 2011).

Mesmo não sendo elemento essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas, este proporciona benéficos como regulação da transpiração, dificulta ataque de pragas, reduz a toxidez de elementos como alumínio e sódio, e controla doenças em plantas (NAVAS; NUNES; VASCONCELLOS JUNIOR, 2016). Além desses benefícios, a presença de silício pode levar ao aumento na taxa fotossintética, devido a sua interseção na arquitetura das plantas levando a formação de folhas mais eretas o que favorece a fotossíntese (BRAGA et al., 2009).

A maior parte dos benefícios do silício é devido ao seu acúmulo na parede celular abaixo da cutícula das folhas na forma de sílica amorfa ($SiO_2 \cdot nH_2O$) (FREITAS et al., 2011). Esse forma uma dupla camada, cutícula-sílica, podendo também ser observadas células silicatadas na epiderme e nos tecidos vasculares do caule, bainha e raízes de algumas plantas (SCHURT et al., 2015; JESUS et al., 2018).

Esse acúmulo de Si leva a formação de uma barreira protetora que acarreta na diminuição da perda de água da planta pela evapotranspiração (BRAGA et al., 2009). Essa camada também proporciona um endurecimento da parede celular o que dificulta a

penetração de estilete e a mastigação por insetos, além de ter ação para ativação de processos de resistência induzida, (DALASTRA et al., 2011).

Esta dupla camada também está associada à proteção das folhas contra o ataque de alguns fungos e bactérias devido servir de barreira física, além da ativação de enzimas de defesa e a ação tóxica contra determinadas espécies de fungos (FREITAS et al., 2011; RODRIGUES; FIDÉLIS; TAVARES, 2017).

As espécies vegetais podem ser classificadas de diferentes formas em relação ao acúmulo deste elemento, de acordo com a relação Si:Ca ou pelos seus teores na matéria seca das folhas. Sendo assim, são classificadas como acumuladoras as que apresentam teores acima de 4%, intermediárias quando estão entre 2 e 4% e não acumuladoras quando os valores são menores que 2% (KORNDÖRFER et al., 2010).

Quando classificadas pela relação Si:Ca são consideradas acumuladoras quando apresentam uma relação acima de 1, intermediárias entre 1 e 0,5 e não acumuladoras abaixo de 0,5 (LIMA et al., 2011). Essa eficiência foi demonstrada mesmo em culturas consideradas não acumuladoras deste elemento como as dicotiledôneas (SÁ et al., 2015).

O sorgo é considerada uma planta acumuladora de silício (RESENDE et al., 2009). Sendo assim, responde as adubações com Si, expressando as características benéficas atribuídas a este elemento (BRUNES et al., 2015; KORNDÖRFER et al., 2010).

2.3 Estresses hídrico e salino

Em campo as sementes estão expostas a diferentes tipos de fatores ambientais, e nem sempre estão em condições adequadas, como ocorre em solos salinos e com deficiência hídrica (AZERÊDO et al., 2016).

Quando há algum desvio das condições ótimas, diz-se que as plantas estão em condições de estresse, o que induz a alterações morfológicas, anatômicas, celulares, bioquímicas e moleculares em diferentes níveis que podem ser reversíveis ou tornar-se permanentes e variam com a espécie e o estágio de desenvolvimento da planta (CARNEIRO et al., 2011; PELEGRINI, et al., 2013).

A água está envolvida direta ou indiretamente em todas as etapas do metabolismo germinativo, o que a faz essencial para a germinação, estando envolvida em etapas como 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 (MARCOS-FILHO, 2015).

Durante a absorção de água, potenciais osmóticos negativos no início da embebição podem inviabilizar a sequência dos eventos germinativos da semente o que pode acarretar em um retardo e diminuição da porcentagem e velocidade de germinação (GUEDES, et al., 2013).

O estresse salino afeta as plantas devido aos efeitos de retenção osmótica da água, diminuindo seu potencial hídrico e sua disponibilidade para as plantas, causando assim efeitos similares ao estresse hídrico, além do efeito osmótico o estresse salino também causa toxidez, devido ao efeito iônico específico sobre o protoplasma que pode inativar enzimas e a síntese proteica (REGO et al., 2011; TAIZ et al., 2017).

Os estresses hídrico e salino levam ao estresse oxidativo em várias plantas, em que espécies reativas de oxigênio (EROs), tais como o radical superóxido ($O_2^{\cdot-}$), radical hidroxila (OH^{\cdot}), peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e oxigênio singlete (1O_2), são produzidos (CARNEIRO et al., 2011).

As EROs podem causar danos celulares, no entanto, as plantas possuem mecanismos enzimáticos e não enzimáticos que neutralizam os radicais livres gerados pelo estresse, como a superóxido dismutase (SOD) que catalisa a dismutação do radical superóxido em H_2O_2 e O_2 , a catalase (CAT) e a ascorbato peroxidase (APX) que podem quebrar o H_2O_2 em H_2O e O_2 (CARNEIRO et al., 2011; BARBOSA et al., 2014).

As plantas com tolerância ao estresse hídrico apresentam um sistema radicular principal e lateral mais desenvolvido, para que possa haver o fornecimento contínuo de água para a planta, No entanto, em situações severas de estresse pode resultar na diminuição das defesas da planta, reduzindo o crescimento e a fotossíntese, e na germinação pode afetar o alongamento celular e a síntese de parede (AZERÊDO et al., 2016).

3 ARTIGO

SILÍCIO COMO INDUTOR DE RESISTENCIA AOS ESTRESSES ABIÓTICOS EM SEMENTES DE SORGO GRANÍFERO

RESUMO - O silício traz diversos benefícios às plantas, como a regulação da transpiração, dificulta ataque de pragas e aumento da taxa fotossintética. A maior parte desses benefícios é devido ao acúmulo desse elemento nas folhas, cujo sorgo é considerado uma espécie acumuladora. Assim, objetivou-se avaliar os efeitos do tratamento com diferentes doses de silício na qualidade fisiológica de sementes de sorgo granífero submetida aos estresses salino e hídrico. Sementes de duas cultivares de sorgo (EA03 e EA955) foram embebidas em solução de silicato de potássio nas concentrações de 0,3; 0,6; 0,9, e 1,2 g/L, e submetidas aos estresses hídricos e salino por meio de PEG 6000 (-0,2, -0,4, -0,6 e -0,8 MPa) e NaCl (75, 150 e 225 mM). Foram analisadas a germinação, primeira contagem de geminação, comprimento de parte aérea e raiz, relação parte aérea/raiz e massa seca de plântulas. Para o genótipo EA03 quando submetido a estresse salino a presença do silício foi benéfica, não influenciando apenas a germinação, já no estresse hídrico apenas a primeira contagem e a massa seca de plântulas não expressaram os benefícios do Si. Para o genótipo EA955 em condição de estresse salino o silício não apresentou efeito apenas para a geminação e o comprimento de raiz, no estresse hídrico apenas a primeira contagem e a massa seca não foram afetadas pela presença do silício, sendo que para os dois genótipos as concentrações de 0,6 e 0,9 g/L de Si apresentaram os melhores resultados.

Palavras-chave: *Sorghum bicolor*, silicato de potássio, qualidade fisiológica, estresse hídrico, estresse salino.

ABSTRACT - Silicon brings many benefits to plants, such as regulating perspiration, making pests more difficult and increasing the photosynthetic rate. Most of these benefits are due to the accumulation of this element in the leaves, whose sorghum is considered an accumulator species. Thus, the objective of this study was to evaluate the effects of treatment with different doses of silicon on the physiological quality of sorghum seeds submitted to saline and water stress. Seeds of two sorghum cultivars (EA03 and EA955) were soaked in potassium silicate solution at concentrations of 0.3; 0.6; 0.9, and 1.2 g / L, and subjected to water and saline stress by PEG 6000 (-0.2, -0.4, -0.6 and -0.8 MPa) and NaCl (75 150 and 225

mM). Germination, first twinning count, shoot and root length, shoot / root ratio and seedling dry mass were analyzed. For the EA03 genotype when subjected to saline stress the presence of silicon was beneficial, not only influencing germination, whereas in water stress only the first count and seedling dry mass did not express the benefits of Si. saline stress silicon showed no effect only for twinning and root length, in water stress only the first count and dry mass were not affected by the presence of silicon, and for both genotypes the concentrations of 0.6 and 0.9 g / L Si showed the best results.

Keywords: *Sorghum bicolor*, potassium silicate, physiological quality, water stress, salt stress.

INTRODUÇÃO

Sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) - Poaceae é um cereal cultivado globalmente, que se adapta a climas quentes como regiões tropicais e subtropicais, com temperatura média entre 22° e 32° C (MORADI; YOUNESI, 2009; PRAMONO et al., 2018; VERMA et al., 2017).

A estimativa de produtividade mundial do sorgo na safra de 2018/19 é de 1,49 toneladas por hectare, sendo que destes, o Brasil é responsável pela produtividade de 3.008 kg/ha, tornando-se o 9º maior produtor de sorgo granífero no mundo (CONAB, 2019; USDA, 2019).

Apesar de ser uma planta que se adapta a diferentes condições ambientais, as sementes de sorgo podem se deparar com condições adversas como os estresses hídrico e salino (PELEGRINI et al., 2013).

A água é essencial para que ocorra a germinação, estando envolvida direta ou indiretamente em todas as etapas do metabolismo germinativo (MARCOS-FILHO, 2015). Assim, o estresse hídrico no início da embebição pode inviabilizar a sequência dos eventos germinativos da semente durante a absorção de água, o que leva ao retardo e diminuição tanto da porcentagem quanto da velocidade de germinação (GUEDES, et al., 2013).

O estresse salino afeta as plantas devido aos efeitos de retenção osmótica da água, causando efeitos similares ao estresse hídrico, além de também causar toxidez, devido ao efeito iônico específico sobre o protoplasma que pode inativar enzimas e inativar a síntese proteica (REGO, et al. 2011; TAIZ et al. 2017).

Diferentes espécies têm sua germinação e desenvolvimento limitados devido ao estresse salino, o que leva a necessidade de alterações morfológicas, anatômicas, celulares, bioquímicas e moleculares que variam com a espécie e o estágio de desenvolvimento da planta além e variar com o tipo de estresse a duração e a intensidade (CARNEIRO et al., 2011).

Uma alternativa para amenizar os danos causados pelo estresse hídrico e salino pode ser o uso de atenuantes como o silício, já que o sorgo assim como a maioria das gramíneas é considerado acumulador de silício, desta forma esta espécie responde as adubações deste elemento por meio da expressão de características benéficas atribuídas (KORNDÖRFER et al., 2010; BRUNES et al., 2015).

O silício (Si) é o segundo elemento químico mais abundante na terra, sendo encontrado em diversas plantas, onde algumas destas são acumuladoras deste elemento (CARVALHO et al., 2013). Mesmo não sendo elemento essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas este elemento traz benefícios como regulação da transpiração, dificulta ataque de pragas, reduz toxidez a alguns elementos como alumínio e sódio, controla doenças na planta e aumento na taxa fotossintética (NAVAS; NUNES; VASCONCELLOS JUNIOR, 2016; BRAGA et al., 2009).

A maior parte dos benefícios do silício é devido ao mesmo se deposita na parede celular abaixo da cutícula das folhas na forma de sílica amorfa ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) (FREITAS et al., 2011), formando uma dupla camada, cutícula-sílica, formando uma barreira protetora que acarreta a diminuição da perda de água da planta pela evapotranspiração (BRAGA et al., 2009).

Dessa forma, objetivou-se avaliar os efeitos do tratamento com diferentes doses de silício na qualidade fisiológica de sementes de sorgo granífero submetida aos estresses salino e hídrico.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada no Laboratório da Análise de Sementes do Departamento de Fitotecnia, Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal do Ceará (UFC), Campus do Pici, Fortaleza, CE.

Sementes de duas cultivares de sorgo (EA03 e EA955), não tratadas foram adquiridas no Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal do Ceará (UFC)

das safras 2015 e 2017 respectivamente. Para o tratamento com silício, as sementes foram embebidas em solução nas concentrações de 0,3; 0,6; 0,9, e 1,2 g/L, por duas horas.

Como fonte de silício, utilizou-se o adubo foliar Sifol[®], composto por silicato de potássio (12% de silício -Si e 15% de potássio - K₂O). Em seguida, retirou-se as sementes da solução e o excesso foi removido por meio de secagem em papel toalha. Em seguida, as sementes foram colocadas para secar em estufa de circulação de ar forçado, a 40 °C por três horas, até atingirem 12% de grau de umidade (ULLMANN et al., 2015).

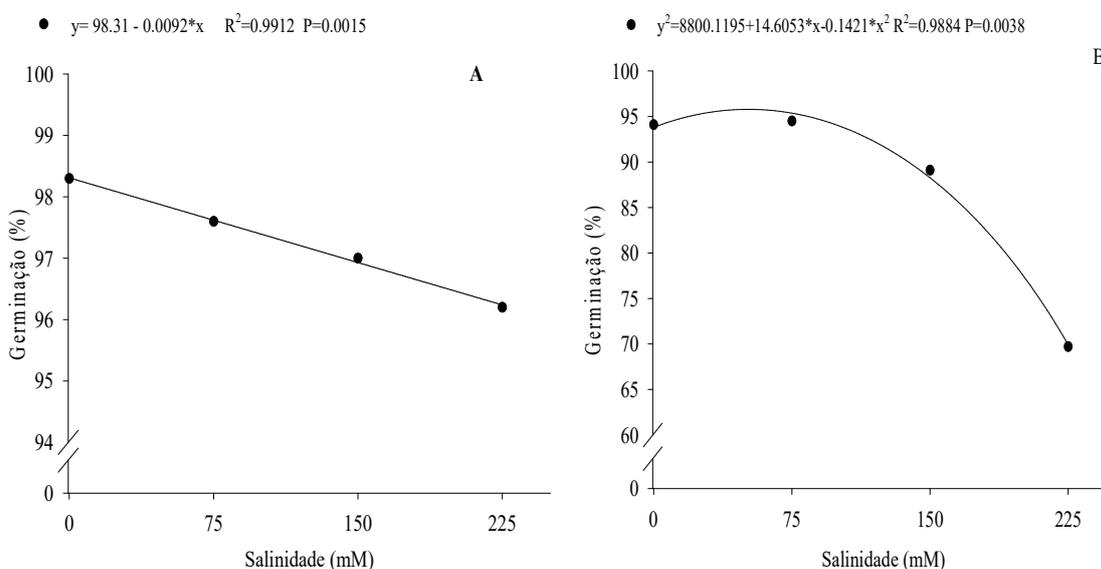
Para simulação do estresse hídrico, as sementes de sorgo foram semeadas sobre duas folhas de papel toalha (Germitest[®]), umedecidas com água destilada (controle) ou com soluções de PEG 6000 de modo a fornecer os potenciais hídricos de -0,2, -0,4, -0,6 e -0,8 MPa ou com soluções de NaCl de modo a fornecer os níveis salinos de 75, 150 e 225 mM na proporção de 2,5 vezes o peso seco do papel e submetidas às seguintes análises: **germinação** – utilizou-se 200 sementes divididas em quatro repetições, com a semeadura realizada sobre três folhas de papel toalha (Germitest[®]), umedecidas com água destilada ou solução de PEG 6000 ou NaCl na proporção de 2,5 vezes o peso do papel seco, sendo em seguida colocadas em germinador do tipo *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) com temperatura de 25 °C com as avaliações aos quatro e 10 dias, após a semeadura; **comprimento da parte aérea e da raiz** - realizado em conjunto com o teste de germinação, onde após 10 dias da semeadura, mediu-se o comprimento (mm) da parte aérea e da raiz de dez plântulas normais com auxílio de régua graduada em milímetros . O comprimento médio foi obtido somando-se as medidas de cada repetição e dividido pelo número de plântulas normais avaliadas (KRZYZANOWSKI, VIEIRA; FRANÇA NETO, 1999); **relação parte aérea/raiz** - realizado em conjunto com o comprimento da parte aérea e da raiz, através da divisão do comprimento médio da parte aérea pelo comprimento médio da raiz primária; **matéria seca de plântulas** - dez plântulas de cada repetição foram colocadas em sacos de papel e levadas para estufa com circulação de ar forçado, a 65 °C até atingir peso constante após 48 horas. O material seco foi pesado em balança com precisão (0,001 g) e o resultado dividido pelo número de plântulas.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5 x 5 x 4 (cinco doses de silício x cinco níveis de estresse hídrico x quatro níveis de estresse salino) para dois lotes de sementes de sorgo. Os dados foram submetidos à análise de variância, ao nível de 5% significância, no software estatístico Sisvar[®]. A escolha dos modelos baseou-se na significância estatística (teste F) e no ajuste do coeficiente de

determinação (R^2). Para a representação gráfica dos resultados, utilizou-se o software Sigmaplot, versão 12.5.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na germinação das sementes não houve interação dos tratamentos quando submetidos ao estresse salino (Figura 1 A e B), mas houve interação quando submetidos ao estresse hídrico (Figura 1 C e D). Sendo possível observar uma redução da germinação nos dois genótipos, sendo que o EA03 (Figura 1 A) ficou em torno em 96%, já o EA955 (Figura 1 B) teve uma redução maior ficando com menos de 70 %. Coelho et al. (2014) destaca que o fato de certos níveis de salinidade não afetar a germinação pode indicar tolerância á salinidade, sendo que o efeito dos sais pode estar ligado tanto a redução do potencial osmótico da solução o que dificulta a absorção de água como também a ação dos íons específicos. assim pode-se inferir que há uma maior resistência do EA03 em relação ao EA955.



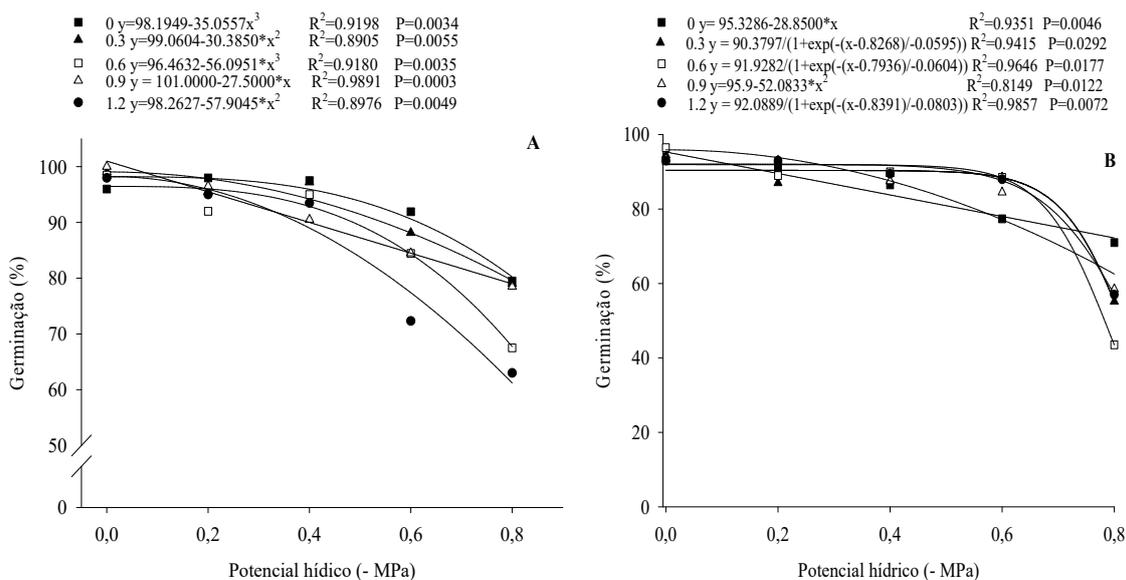


Figura 1. Germinação de sementes de sorgo EA03 (A e C) e EA955 (B e D) tratadas com Si e submetidas ao stress salino e hídrico.

Quando submetidos ao estresse hídrico o genótipo EA03 (Figura 1 C) manteve a germinação próximo a 90% até o nível de -0,4 MPa, já o genótipo EA955 (Figura 1 D) manteve a germinação próximo a 90% quando tratadas com silício até a dose de -0,6 MPa, sendo que as sementes não tratadas na mesma concentração se encontravam em torno de 80%. Esse comportamento pode ocorrer devido uma melhor resposta do genótipo EA955 ao acúmulo de silício em relação ao EA03, já que quanto maior o acúmulo de Si mais fácil de verificar os benefícios que o mesmo pode trazer (KORNDÖRFER et al., 2010).

Para a primeira contagem houve interação significativa entres o tratamento com silício e o stress salino (Figura 2 A e B), já no estresse hídrico (Figura 2 C e D) não foi observada essa interação. Para o estresse salino é possível observar que o genótipo EA03 (Figura 2 A) manteve a porcentagem de plântulas acima de 90% a partir da concentração de 0,6 g/L de Si, mesmo nos níveis mais altos de estresse. Segundo Lima et al. (2011) o sorgo é uma planta acumuladora de silício, assim esse acúmulo pode ter levado uma recuperação nos valores de PC com o aumento dos níveis de silício.

O genótipo EA955 (Figura 2 B) apresentou uma redução com o aumento dos níveis de estresse salino, no entanto o tratamento com silício manteve as porcentagens de primeira contagem em torno de 60% no maior nível de estresse (225 mM), já as sementes não tratadas tiveram porcentagens abaixo de 40%. Resultados semelhantes foram encontrados por Gordín et al. (2012), onde os mesmos observaram um atraso no processo germinativo de sementes de *Guizotia abyssinica* (L.f.) Cass. Quando submetidos ao estresse salino.

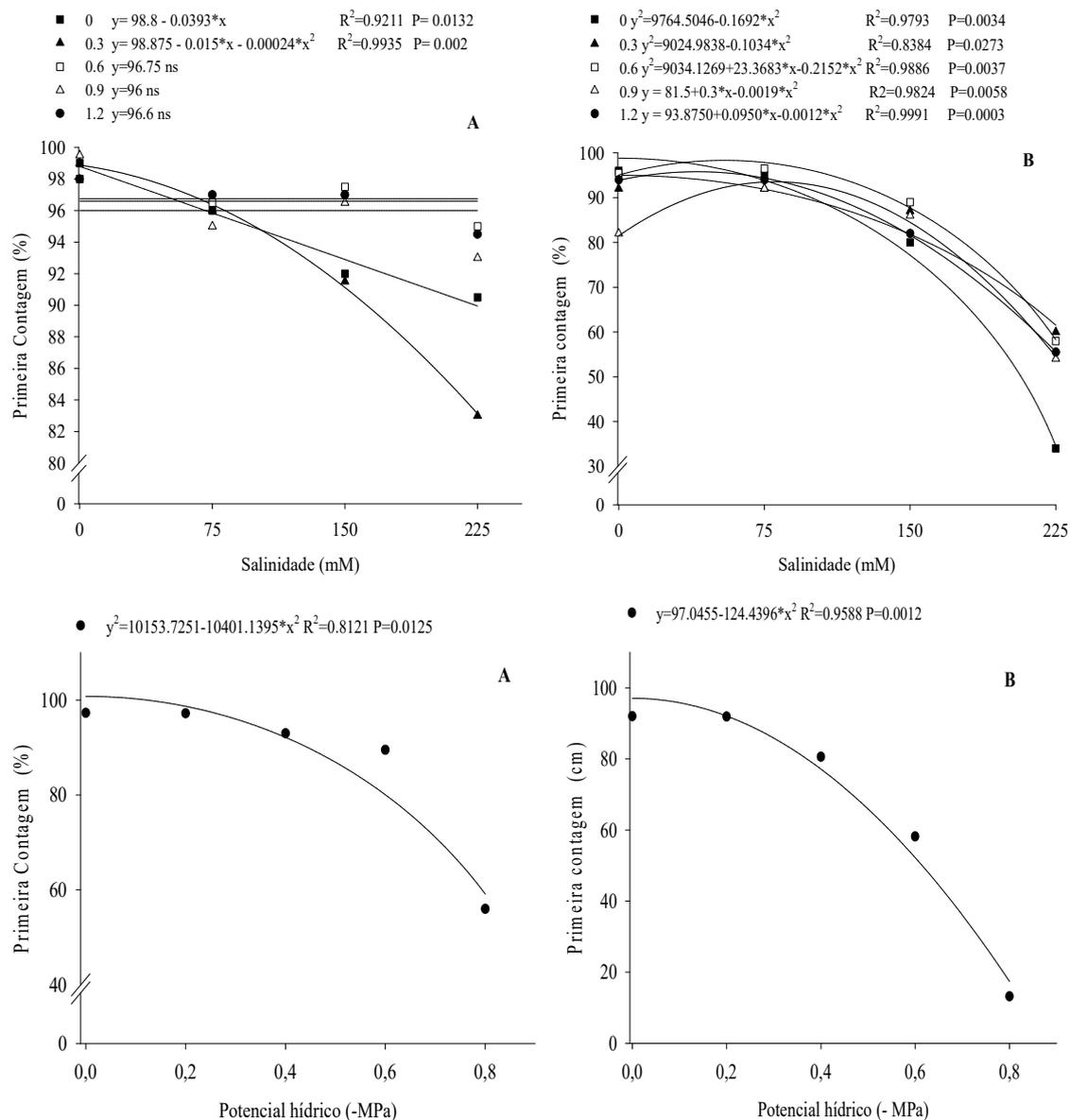


Figura 2. Primeira contagem de germinação de sementes de sorgo EA03 (A e C) e EA955 (B e D) tratadas com Si e submetidas ao stress salino e hídrico.

Quando submetidas ao estresse hídrico os dois genótipos apresentaram uma redução na primeira contagem de germinação, sendo que no EA03 (Figura 1C) a germinação ficou próximo aos 50%, já o EA955 (Figura 1D) ficou abaixo de 20%. Resultados semelhantes foram encontrados por Pereira et al. (2012), onde houve uma redução nos valores de primeira contagem de germinação em sementes de *Urochloa decumbens* e *Urochloa ruziziensis* quando submetidos ao estresse hídrico. Essa redução pode ter ocorrido devido a um prolongamento da fase III descrita por Bewley e Black (1994), já que nessa fase a semente tem uma maior necessidade de água e o PEG interfere na viscosidade da água e na solubilidade de oxigênio necessários a germinação (GUEDES et al., 2013).

Para a variável comprimento da parte aérea houve interação entre os tratamentos para os dois genótipos quando submetidos aos dois estresses (Figura 3). Houve uma redução no comprimento da parte aérea quando submetidos ao estresse salino sendo que o EA03 (Figura 3A) chegou a aproximadamente 2 cm, e o EA955 (Figura 3B) a 5 cm, essa redução pode ocorrer devido aos efeitos osmóticos causado pela presença do sal. Segundo Taiz et al. (2017) a redução do potencial hídrico tem como primeiro efeito mensurável a redução do crescimento, devido a redução da expansão celular.

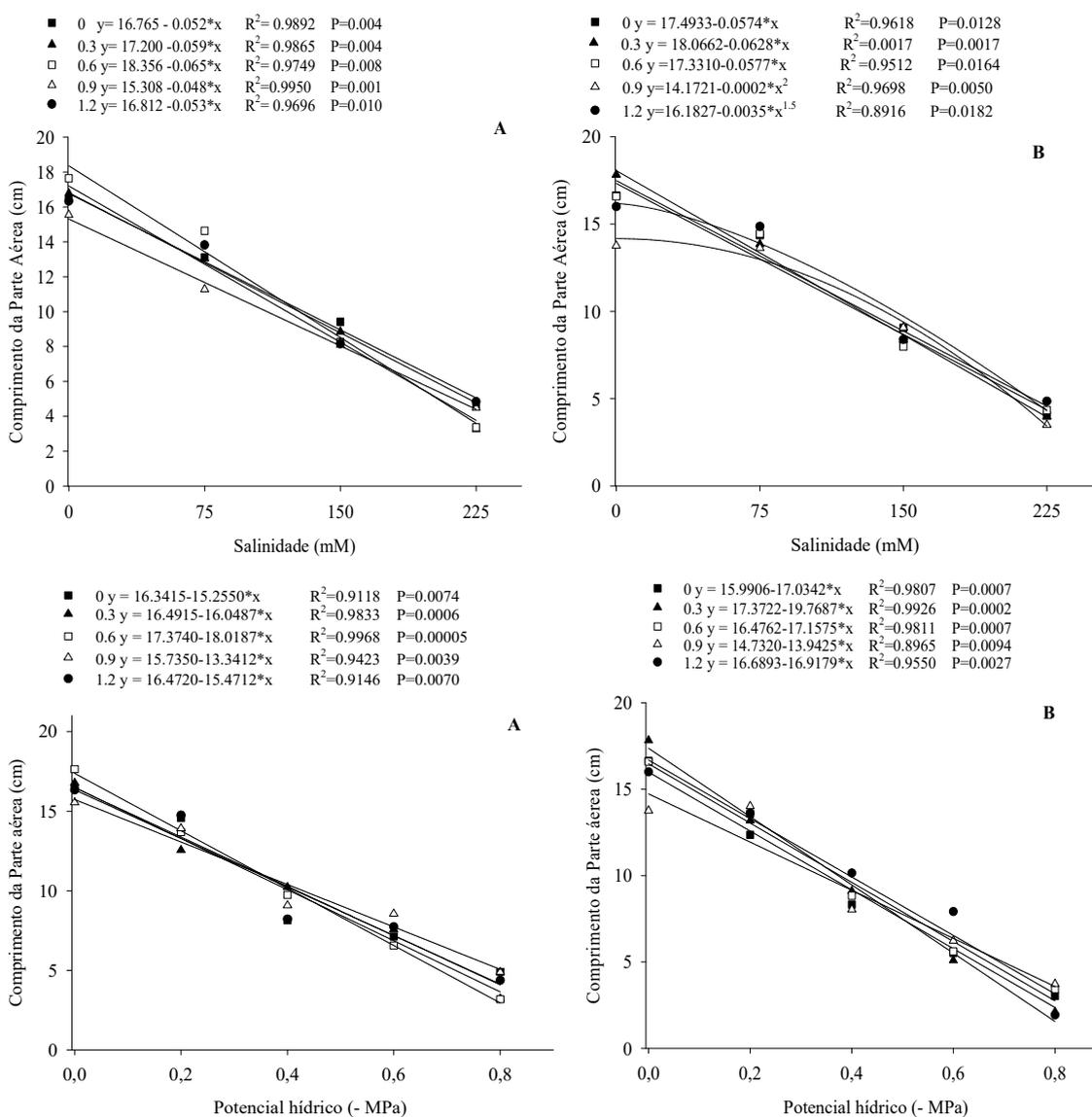


Figura 3. Comprimento da Parte aérea de sementes de sorgo EA03 (A e C) e EA955 (B e D) tratadas com Si e submetidas ao stress salino e hídrico.

Na figura 3C (EA03) e D (EA955), podemos observar os efeitos do estresse hídrico onde houve uma redução do comprimento da parte aérea nos dois genótipos ficando abaixo de 5 cm, semelhante ao que ocorreu no estresse salino. Resultados semelhantes foram

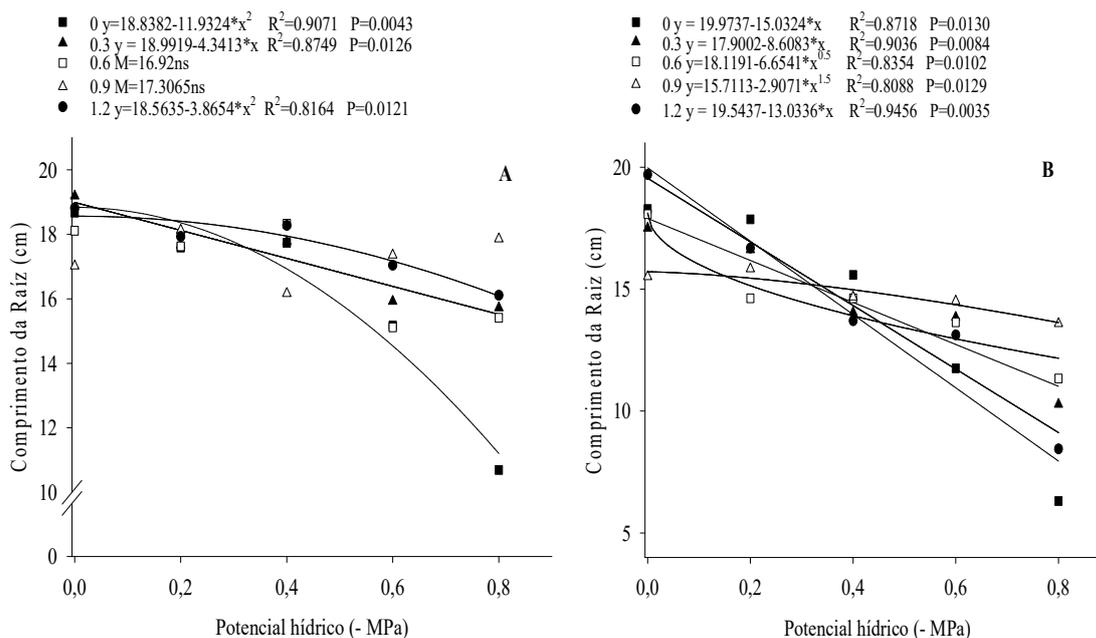


Figura 4. Comprimento da Raiz de sementes de sorgo EA03 (A e C) e EA955 (B e D) tratadas com Si e submetidas ao stress salino e hídrico.

Quando submetidos ao estresse hídrico as sementes dos dois genótipos apresentaram redução nos comprimentos da raiz, sendo que para o EA03 (Figura 4C) no menor potencial hídrico (-0,8 MPa) as sementes tratadas em todas as concentrações se mantiveram acima do tratamento 0 (10 cm), sendo que na concentração de 0,9 g/L de Si as raízes se mantiveram com 18 cm, resultado semelhante pode ser observado pelo genótipo EA955 (Figura 4D) sendo que no tratamento 0 o comprimento das raízes se aproximaram a 5 cm, enquanto no tratamento 0,9 g/L de Si se mantiveram próximo a 15 cm, assim indicando que o genótipo EA955 pode ser mais sensível ao estresse hídrico do que o genótipo EA03. Sá et al (2015) observaram que o uso de silicato de potássio proporcionou o acúmulo de Si e o crescimento da raiz em mamoeiro, resultando em maior resistência a estresses abióticos.

Houve uma redução na relação parte aérea/raiz, com o aumento do estresse salino, onde o EA03 (Figura 5A) sendo as maiores reduções nas concentrações de 0,3 e 0,6 g/L de Si, já o EA955 (Figura 5 B) os menores valores da relação são encontrados nas concentrações de 0,6 e 0,9 g/L de Si, essas reduções nas relações parte aérea/raiz pode indicar que nessas concentrações de Si as plântulas conseguiram priorizar o crescimento radicular em detrimento ao crescimento da parte aérea. Esse incremento é explicado por Taiz et al (2017) onde em condições de stress com a diminuição da parte aérea da planta, uma maior quantidade de assimilados das plantas pode ser alocada para o crescimento radicular.

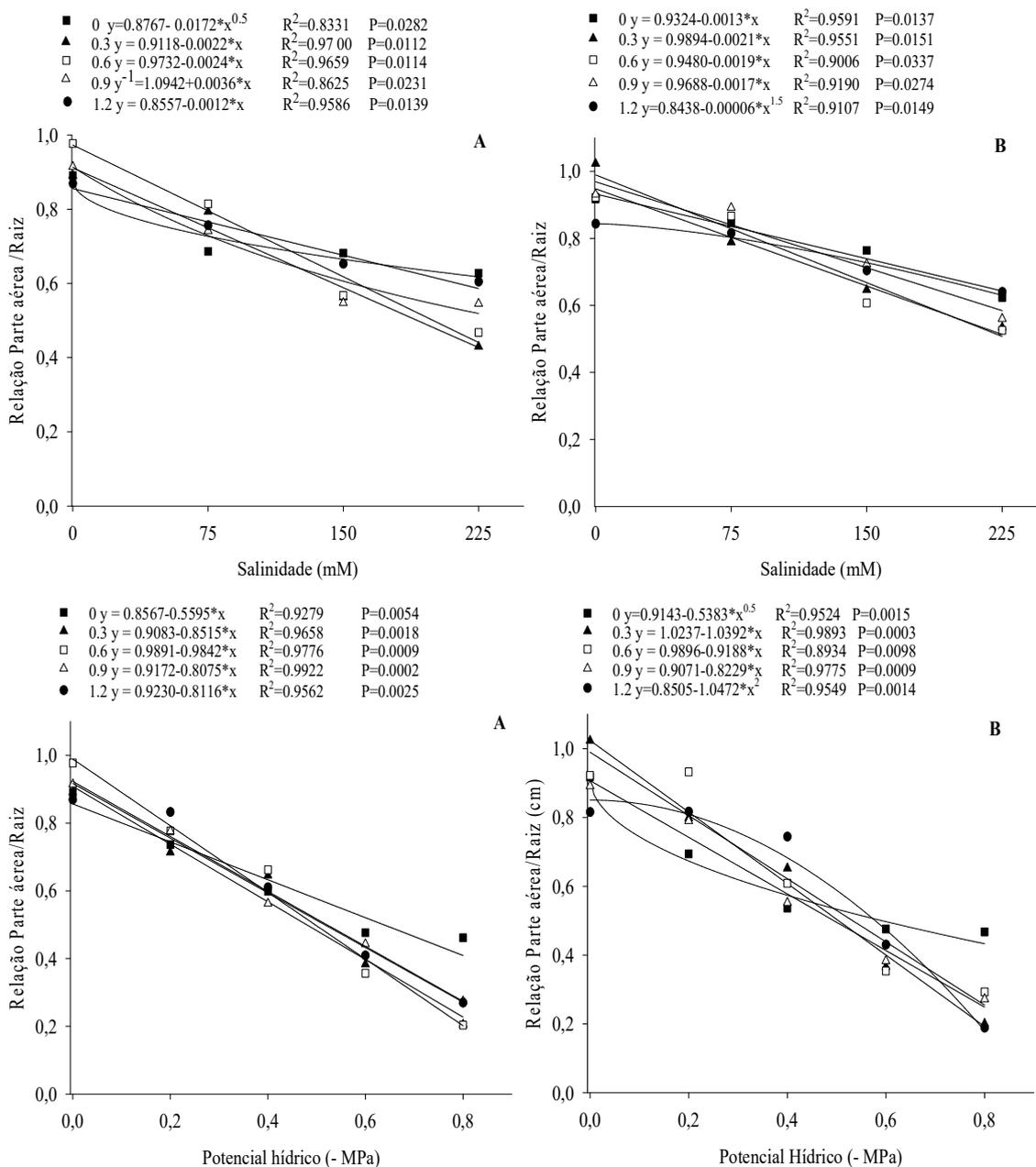
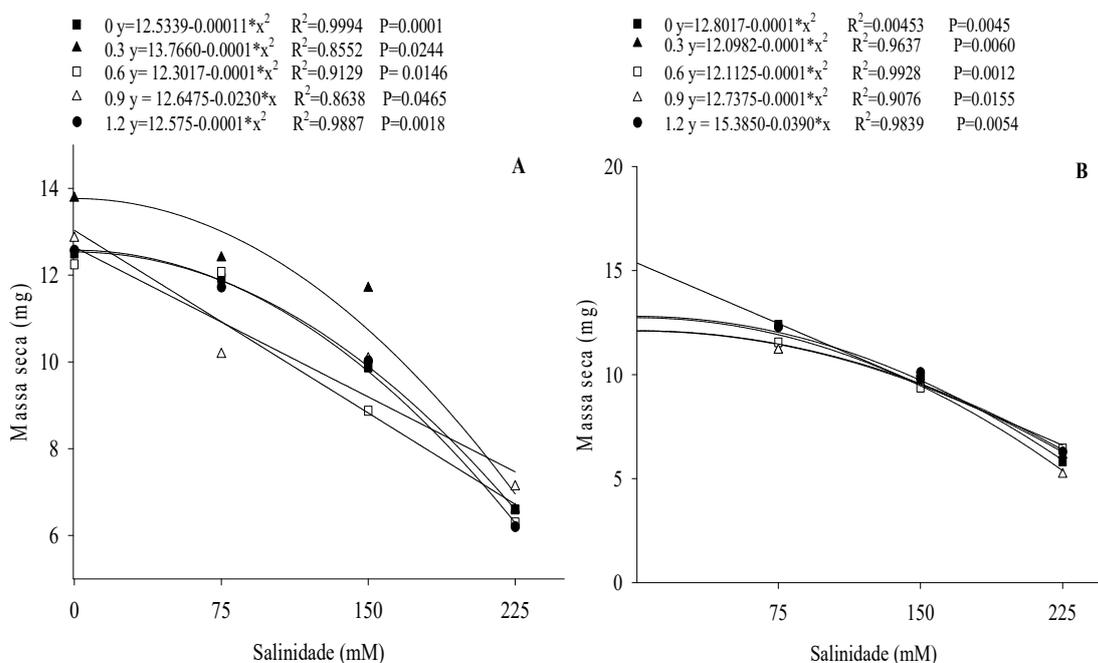


Figura 5. Relação Parte aérea/Raiz de sementes de sorgo EA03 (A e C) e EA955 (B e D) tratadas com Si e submetidas ao stress salino e hídrico.

Assim como para o estresse salino o estresse hídrico (Figura 5 C e D) também levou a uma redução na variável relação parte aérea /raiz, sendo que para o genótipo EA03 (Figura 5C) a maior redução (0,2) foi observada na contração de 0,6 g/L de Si e o genótipo EA955 (Figura 5D) teve a maior redução na concentração de 1,2 g/L. Resultado semelhantes foram encontrados por Kappes et al. (2010) em sementes de milho submetidas ao estresse hídrico, onde o mesmo destaca que o crescimento radicular está intimamente ligado a parte aérea e que a relação PA/R e de grande importância para determinar o potencial produtivo.

Para a variável massa seca, notasse uma redução tanto para o genótipo EA03 (Figura 6A) quanto para o genótipo EA955 (Figura 6B) sendo que no genótipo EA03 na maior concentração (225mM) os melhores valores de massa seca foram verificados na concentração de 0,9 g/L de Si (7 mg). Moraes et al. (2011) observaram um incremento na MS de cana-de-açúcar, na concentração de 40 g. L-1 de silicato de potássio, esse incremento pode ter ocorrido devido ao acúmulo de silício.

Já para o EA955 na mesma concentração (255 mM) os valores de massa seca em todos os tratamentos com silício ficaram em torno de 6 mg, essa redução pode ser reflexo da diminuição do tamanho das plântulas como visto nas variáveis anteriores. Resultados semelhantes foram observados por Korndörfer et al. (2010) onde os mesmos também não verificaram aumento na massa seca de plantas de *Brachiaria brizantha* cv. *Marandu* e *Panicum maximum* cv. *Mombaça* com o aumento das concentrações de Si.



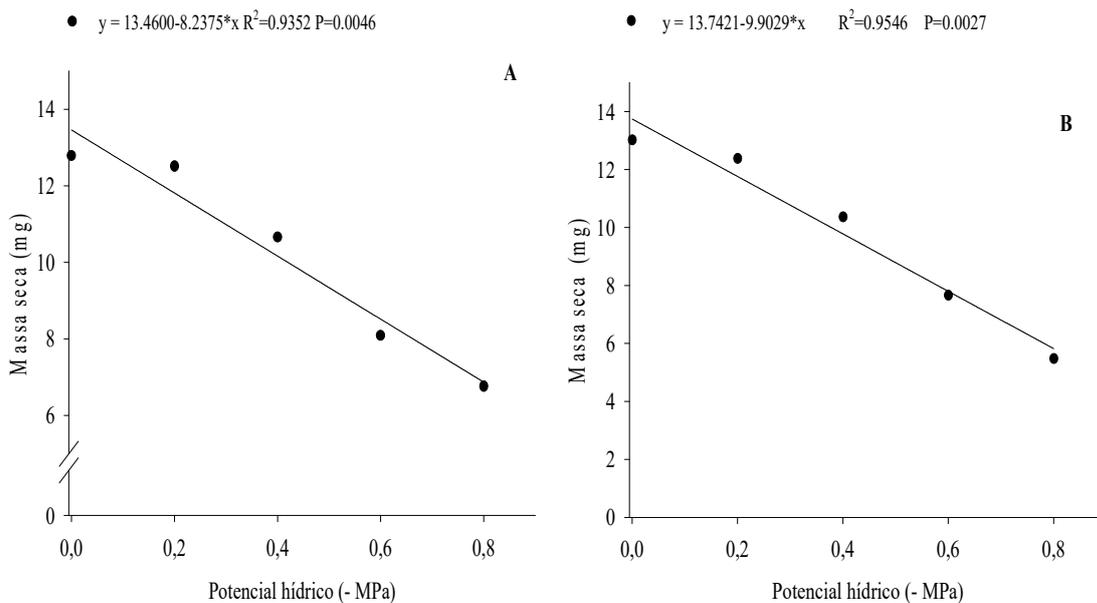


Figura 6. Massa seca de plântulas de sementes sorgo EA03 (A e C) e EA955 (B e D) tratadas com Si e submetidas ao estresse salino e hídrico

Para o estresse hídrico (Figura 6 C e D) foram encontrados resultados semelhantes aos do estresse salino onde também houve uma redução nos valores de massa seca, no entanto não apresentou diferença entre os tratamentos com silício, sendo que tanto o EA03 (Figura 6 C) como o EA955 (Figura 6 D) ficaram em massa seca em torno de 6 mg. Segundo Larré et al (2011), estudando salinidade em sementes de arroz, a diminuição da massa seca pode ocorrer devido ao gasto energético necessário para a adaptação das sementes a salinidade.

CONCLUSÃO

O silício influencia de forma positiva a fisiologia de sementes de sorgo granífero, sendo as concentrações de 0,6 e 0,9 g/L as que apresentaram os melhores resultados.

REFERENCIAS

- BEWLEY, J. D.; BLACK, M. **Seeds: physiology of development and germination**. New York: Plenum Press, 1994. 445 p.
- BRAGA, F. T. et al. Características anatômicas de mudas de morangueiro micropropagadas com diferentes fontes de silício. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 2, p. 128-132, 2009.
- BRUNES, A. P. et al. Adubação silicatada via solo em cevada: rendimento e qualidade fisiológica de sementes. **Magistra**, v. 27, n. 3/4, p. 433-441, 2015.
- CARVALHO, P. R. et al. Efeito do silício na qualidade de flores de *Dendrobium nobile* (Orchidaceae). *Semina: Ciências Agrárias*, v. 34, n. 4, p. 1615–1622, 2013.
- CARNEIRO, M. M. L. C. et al. Atividade antioxidante e viabilidade de sementes de girassol após estresse hídrico e salino. *Revista Brasileira de Sementes*, v. 33, n. 4 p. 755 - 764, 2011
- COELHO, D. S. et al. Germinação e crescimento inicial de variedades de sorgo forrageiro submetidas ao estresse salino. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.18, n.1, p.25-30, 2014.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grão**. Brasília, CONAB, 2019, 119p.
- FREITAS, L. B. et al. Adubação foliar com silício na cultura do milho. **Revista Ceres**. v. 58, n. 2, p. 262-267, 2011.
- GORDIN, C. R. B. et al. Estresse salino na germinação de sementes e desenvolvimento de plântulas de niger (*Guizotia abyssinica* (L.f.) Cass.). **Acta Botanica Brasílica** v. 26, n. 4, p. 966-972, 2012.
- GUEDES, R. S. et al. Germinação e vigor de sementes de *Apeiba tibourbou* submetidas ao estresse hídrico e diferentes temperaturas. **Ciência Florestal**, v. 23, n. 1, p. 45-53, 2013.
- SÁ, F. V. S. et al. Influence of silicon in papaya plant growth. **Científica**, v. 43, n. 1, p. 77–83, 2015.
- KAPPES, C. Germinação, vigor de sementes e crescimento de plântulas de milho sob condições de déficit hídrico. **Scientia Agraria**, v. 11, n. 2, p. 125-134, 2010.
- KORNDÖRFER, P. H. et al. Efeito da adubação silicatada sobre gramíneas forrageiras e características químicas do solo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 40, n. 2, p. 119-125, 2010.

- KRZYŻANOWSKI, F. C. VIEIRA, R. D.; FRANÇA-NETO, J. B. **Vigor de sementes: conceitos e testes.** 1999, 218p.
- LARRÉ, C.F.; MORAES, D.M. & LOPES, N.F. Qualidade fisiológica de sementes de arroz tratadas com solução salina e 24-epibrassinolídeo. **Revista Brasileira de Sementes**, v 1 n. 331, p. 86-94, 2011.
- LIMA, M. D. A. et al. Aplicação de silício em milho e feijão-de-corda sob estresse salino. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 2, p. 398–403, 2011.
- MARCOS-FILHO, J. **Vigor e desempenho de sementes.** In: Fisiologia de plantas cultivadas. 2015. p. 215-228.
- MORADI, A.; YOUNESI, O. Effects of osmo-and hydro-priming on seed parameters of grain sorghum (*Sorghum bicolor* L.). **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, v. 3, n. 3, p. 1696-1700, 2009.
- MORAES, W. B. Aplicação de silicato de potássio e crescimento foliar da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 6, n. 1, p. 59-64, 2011.
- NAVAS, R.; NUNES, J. M. C.; VASCONCELLOS JUNIOR, J. B. Aplicação de ferro e silício na produção de mudas de eucalipto. **Revista Agrarian**, v. 9, n. 32, p. 137–142, 2016.
- PEREIRA, M. R. R. et al. Influência do estresse hídrico e salino na germinação de *Urochloa decumbens* e *Urochloa ruziziensis*. **Bioscience Journal**, v. 28, n. 4, p. 537-545, 2012.
- PELEGRINI, L. L. et al. Efeito do estresse hídrico simulado com NaCl, manitol e PEG (6000) na germinação de sementes de *Erythrina falcata* Benth. **Ciência Florestal**, v. 23, n. 2, p. 511-519, 2013.
- PRAMONO, E. et al. Seed yield of various genotypes of sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) harvested from intercropping with cassava (*Manihot utilisima* L.) compared to monoculture and ratoon. **Journal of Agricultural Science**, v. 2, p. 1-12, 2018.
- REGO, S. S. et al. Estresse hídrico e salino na germinação de sementes de *Anadenanthera colubrina* (Veloso) Brenan. **Journal Biotechnology and Biodiversity**, v. 2, n. 4, p. 37-42, 2011.
- TAIZ, L. et al. **Fisiologia vegetal.** 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888p.
- ULLMANN, R. et al. Qualidade fisiológica das sementes de sorgo sacarino submetidas à secagem em diferentes condições de ar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 1, p. 64-69, 2015.
- USDA. United States Department of Agriculture. **World Agricultural Production: Foreign Agricultural Service.** 2019. Disponível em:

<https://usda.library.cornell.edu/concern/publications/5q47rn72z?locale=en>. Acesso em: 18 jun. 2019.

VERMA, R. et al. Characterization of sorghum germplasm for various qualitative traits. **Journal of Applied and Natural Science**, v. 9, n. 2, p. 1002–1007, 2017.

4 CONCLUSÃO

O silício influencia na fisiologia de sementes de sorgo, tanto quando são submetidas aos estresses abióticos, como quando não estão na presença dos mesmos, no entanto as concentrações de Si utilizadas não foram suficientes para evitar os danos que os estresses causam as sementes, sendo necessários estudos que possam elucidar sobre concentrações mais adequadas.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, F. A.; ANDRADE, C. G. T.; MIGLIORANZA, E. Detecção de sílica em folha bandeira de trigo. **Semina: Cadencias Agrárias**, v. 33, supl. 1, p. 2555–2562, 2012. Disponível em: <http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/view/8065/11755>. Acesso em: 9 dez. 2019.
- ASMAR, S. A. et al. Fontes de silício no desenvolvimento de plântulas de bananeira “Maçã” micropropagadas. **Ciência Rural**, v. 41, n. 7, p. 1127–1131, 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/cr/v41n7/a3811cr4590.pdf>. Acesso em: 9 dez. 2019.
- ASMAR, S. A. et al. Características morfofisiológicas de bananeiras “Grande Naine” aclimatizadas em resposta a utilização de silício in vitro. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 1, p. 73–82, 2013. Disponível em: <http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/viewFile/9566/12012>. Acesso em: 9 dez. 2019.
- AZERÊDO, G. A.; PAULA, R. C.; VALERI, S. V. Germinação de sementes de *Piptadenia moniliformis* Benth. sob estresse hídrico. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 1, p. 193–202, 2016. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/cflo/v26n1/0103-9954-cflo-26-01-00193.pdf>. Acesso em: 9 dez. 2019.
- BARBOSA, M. R. et al. Geração e desintoxicação enzimática de espécies reativas de oxigênio em plantas. **Ciência Rural**, v. 44, n. 3, p. 453–460, 2014. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/cr/v44n3/a7914cr2013-0032.pdf>. Acesso em: 9 dez. 2019.
- BRAGA, F. T. et al. Características anatômicas de mudas de morangueiro micropropagadas com diferentes fontes de silício. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 2, p. 128–132, 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/pab/v44n2/v44n02a03.pdf>. Acesso em: 9 dez. 2019.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para Análise de Sementes**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. – Brasília: Mapa/ACS, 2009. 395p.
- BRUNES, A. P. et al. Adubação silicatada via solo em cevada: rendimento e qualidade fisiológica de sementes. **Magistra**, v. 27, n. 3/4, p. 433–441, 2015. Disponível em: <https://magistraonline.ufrb.edu.br/index.php/magistra/article/view/411/220>. Acesso em: 9 dez. 2019.
- CARVALHO, P. R. et al. Efeito do silício na qualidade de flores de *Dendrobium nobile* (Orchidaceae). **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 4, p. 1615–1622, 2013. Disponível em: <http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/viewFile/10735/13107>. Acesso em: 9 dez. 2019.
- CARNEIRO, M. M. L. C. et al. Atividade antioxidante e viabilidade de sementes de girassol após estresse hídrico e salino. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 33, n. 4 p. 75–764, 2011.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grão**. Brasília, CONAB, 2019, 119p. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbs/v33n4/17.pdf>. Acesso em: 9 dez. 2019.

DALASTRA, C. et al. Silício como indutor de resistência no controle do tripses do prateamento (thysanoptera: thripidae) e seus reflexos na produtividade do amendoineiro. **Ciência Agrotécnica**, v. 35, n. 3, p. 531–538, 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/cagro/v35n3/14.pdf>. Acesso em: 9 dez. 2019.

EMBRAPA (Org.). Indicações Técnicas para o Cultivo de Milho e de Sorgo no Rio Grande do Sul Safras 2017/2018 e 2018/2019. Brasília, Embrapa, 2017. 211 p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/trigo/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1084535/indicacoes-tecnicas-para-o-cultivo-de-milho-e-de-sorgo-no-rio-grande-do-sul-safras-20172018-e-20182019>. Acesso em: 9 dez. 2019.

FIGUEIREDO, L. F. A. et al. Utilização do polimorfismo de sequencias de DNA de uma coleção de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) para estudos de filogeografia e estudos de associação. **Heríngieriana Brasilica**, v. 6, n. 1, p. 39-41, 2012. Disponível em: <http://revistas.jardimbotanico.ibict.br/index.php/heringeriana/article/view/32/37>. Acesso em: 9 dez. 2019.

FRANÇA NETO, J. B. Evolução do conceito de qualidade de sementes. **Informativo ABRATES**, v. 19, n. 2, p. 76–80, 2009. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/98570/1/Evolucao-do-conceito-de-qualidade-de-sementes.pdf>. Acesso em: 9 dez. 2019.

FREITAS, L. B. et al. Adubação foliar com silício na cultura do milho. **Revista Ceres**, v. 58, n. 2, p. 262–267, 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rceres/v58n2/a20v58n2.pdf>. Acesso em: 9 dez. 2019.

GUEDES, R. S. et al. Germinação e vigor de sementes de *Apeiba tibourbou* submetidas ao estresse hídrico e diferentes temperaturas. **Ciência Florestal**, v. 23, n. 1, p. 45-53, 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/cflo/v23n1/1980-5098-cflo-23-01-00045.pdf>. Acesso em: 9 dez. 2019.

GOMES, F. B.; MORAES, J. C.; NERI, D. K. P. Adubação com silício como fator de resistência a Insetos-praga e promotor de produtividade em cultura de batata inglesa em sistema orgânico. **Ciência Agrotécnica**, v. 33, n. 1, p. 18–23, 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/cagro/v33n1/v33n1a02.pdf>. Acesso em: 9 dez. 2019.

JESUS, E. G. et al. Growth and gas exchanges of arugula plants under silicon fertilization and water restriction. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 2, p. 119–124, 2018. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v22n2/1415-4366-rbeaa-22-02-0119.pdf>. Acesso em: 9 dez. 2019.

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; NOLLA, A. **Análise de silício**: solo planta e fertilizante. Boletim técnico, 2004, 54p.

KORNDÖRFER, P. H. et al. Efeito da adubação silicatada sobre gramíneas forrageiras e características químicas do solo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 40, n. 2, p. 119–125,

2010. Disponível em: <https://www.revistas.ufg.br/pat/article/view/3922/6784>. Acesso em: 9 dez. 2019.

KOSERA NETO, C. et al. Métodos para superação de dormência em sementes de tomateiro arbóreo (*Solanum betaceum*). **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, n. 4, p. 420–425, 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/pat/v45n4/1517-6398-pat-45-04-0420.pdf>. Acesso em: 09 de dez. 2019.

KRZYŻANOWSKI, F. C. VIEIRA, R. D.; FRANÇA-NETO, J. B. **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999, 218p.

LIMA, M. D. A. et al. Aplicação de silício em milho e feijão-de-corda sob estresse salino. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 2, p. 398–403, 2011. Disponível em: <http://ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/1742/554>. Acesso em: 9 dez. 2019.

LISBOA, L. A. M. et al. Influência do ácido salicílico no processo germinativo de sementes de cultivares de sorgo sacarino. **Acta Iguazu**, v. 6, n. 2, p. 37–49, 2017. Disponível em: <http://e-revista.unioeste.br/index.php/actaiguazu/article/view/17446/11633>. Acesso em: 9 dez. 2019.

MARAFON, A. C.; ENDRES, L. **Adubação silicatada em cana-de-açúcar**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2011. Disponível em: http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes_2011/doc_165.pdf. Acesso em: 9 dez. 2019.

MARCOS-FILHO, J. **Vigor e desempenho de sementes**. In: Fisiologia de plantas cultivadas. Londrina: ABRATES, 2015. p. 215–228.

MARCOS-FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Londrina: ABRATES, 2015. 659p.

MARQUES, A. R.; DUTRA, A. S. Metodologia do teste de condutividade elétrica em sementes de sorgo granífero. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 17, n. 1, p. 147–156, 2018. Disponível em: http://rbms.cnpms.embrapa.br/index.php/ojs/article/view/928/pdf_1. Acesso em: 9 dez. 2019.

MOKHTARI, N. E. P.; EMEKLIER, H. Y. Influence of different priming materials on germination of sorghum hybrids (*Sorghum bicolor* L. Moench x *Sorghum sudanense* Staph.). **Fresenius Environmental Bulletin**, v. 27, n. 5, p. 3081–3086, 2018. Disponível em: https://www.prt-parlar.de/download_feb_2019/. Acesso em: 9 dez. 2019.

MORADI, A.; YOUNESI, O. Effects of osmo and hydro-priming on seed parameters of grain *Sorghum* (*Sorghum bicolor* L.). **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, v. 3, n. 3, p. 1696–1700, 2009. Disponível em: <http://www.ajbasweb.com/old/ajbas/2009/1696-1700.pdf>. Acesso em: 9 dez. 2019.

MUROVEC, J.; DRAŠLAR, K.; BOHANEK, B. Detailed analysis of *Cucurbita pepo* seed coat types and structures with scanning electron microscopy. **Botany**, v. 90, n. 11, p. 1161–1169, 2012. Disponível em: web-a-

ebscohost.ez11.periodicos.capes.gov.br/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=1&sid=0510d669-50f2-4768-80b7-a833d0494536%40sessionmgr4008. Acesso em: 9 dez. 2019.

NAVAS, R.; NUNES, J. M. C.; VASCONCELLOS JUNIOR, J. B. Aplicação de ferro e silício na produção de mudas de eucalipto. **Revista Agrarian**, v. 9, n. 32, p. 137–142, 2016. Disponível em: <http://ojs.ufgd.edu.br/index.php/agrarian/article/view/4261/3646>. Acesso em: 9 dez. 2019.

NOLLA, A. et al. Concentração de silício no solo e na cultura do arroz afetada pela adubação nitrogenada e silicatada. **Journal of Agronomic Sciences**, v. 1, n. 1, p. 181–186, 2012. Disponível em: <http://www.dca.uem.br/V1N1/19-Nolla.pdf>. Acesso em: 9 dez. 2019.

OLIVEIRA, J. A. et al. Secagem e armazenamento de sementes de sorgo com alto e baixo teor de tanino. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 33, n. 4, p. 699–710, 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbs/v33n4/12.pdf>. Acesso em: 9 dez. 2019.

PASQUAL, M. et al. Influência da qualidade de luz e silício no crescimento in vitro de orquídeas nativas e híbridas. **Horticultura Brasileira**, v. 29, n. 3, p. 324–329, 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/hb/v29n3/v29n3a11>. Acesso em: 9 dez. 2019.

PESKE, S. T.; ROSENTHAL, M. D.; ROTA, G. R. M. **Sementes: fundamentos científicos e tecnológicos**. 3 ed. Pelotas, Editora Universitária / UFPel, 2012. 573 p.

PELEGRINI, L. L. et al. Efeito do estresse hídrico simulado com NaCl, manitol e PEG (6000) na germinação de sementes de *Erythrina falcata* Benth. **Ciência Florestal**, v. 23, n. 2, p. 511–519, 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/cflo/v23n2/1980-5098-cflo-23-02-00511.pdf>. Acesso em: 9 dez. 2019.

PRAMONO, E. et al. Seed yield of various genotypes of *Sorghum* (*Sorghum bicolor* L. Moench) harvested from intercropping with cassava (*Manihot utilisima* L.) compared to monoculture and ratoon. **MAYFEB Journal of Agricultural Science**, v. 2, n. 1, p. 1–12, 2018. Disponível em: <http://www.mayfeb.com/OJS/index.php/AGR/article/view/613/284>. Acesso em: 9 dez. 2019.

REGO, S. S. et al. Estresse hídrico e salino na germinação de sementes de *Anadenanthera colubrina* (Velloso) Brenan. **Journal Biotechnology and Biodiversity**, v. 2, n. 4, p. 37–42, 2011. Disponível em: <https://sistemas.uft.edu.br/periodicos/index.php/JBB/article/view/212/146>. Acesso em: 9 dez. 2019.

RESENDE, R. S. et al. Influence of silicon on some components of resistance to anthracnose in susceptible and resistant sorghum lines. **European Journal of Plant Pathology**, v. 124, n. 3, p. 533–541, 2009. Disponível em: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs10658-009-9430-6.pdf>. Acesso em: 10 de dez. 2019.

RODRIGUES, L. U.; FIDÉLIS, R. R.; TAVARES, T. C. O. Silício e microrganismos antagonistas no controle de *Fusarium sp.* na soja. **Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science**, v. 10, n. 3, p. 47–55, 2017. Disponível em:

<https://pdfs.semanticscholar.org/e1f0/7d757e63ad6d9496913d3ef962b849a7e81c.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2019.

SÁ, F. V. S. et al. Influence of silicon in papaya plant growth. **Científica**, v. 43, n. 1, p. 77–83, 2015. Disponível em: <http://cientifica.org.br/index.php/cientifica/article/view/621/375>. Acesso em: 10 dez. 2019.

SCHURT, D. A. et al. Análise microscópica da resistência do arroz à queima das bainhas mediada pelo silício. **Bragantia**, v. 74, n. 1, p. 93–101, 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/brag/v74n1/0006-8705-brag-74-1-93.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2019.

SILVA FLÁVIO, N. S. D. et al. Qualidade sanitária e fisiológica de sementes de sorgo tratadas com extratos aquosos e óleos essenciais. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 1, p. 7–20, 2014. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/558f/57d9dd3ae1f9347ef47c3f8ee03828a43522.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2019.

SIMONI, F. et al. Sementes de *Sorghum bicolor* L – Gramineae, submetidas ao estresse hídrico simulado com PEG (6000). **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 11, n. 1, p. 188–192, 2011. Disponível em: http://joaootavio.com.br/bioterra/workspace/uploads/artigos/artigo_bioterra_v11_n1_2011_2-5155fdc33a349.pdf. Acesso em: 10 dez. 2019.

TAIZ, L. et al. **Fisiologia vegetal**. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888p.

ULLMANN, R. et al. Qualidade fisiológica das sementes de sorgo sacarino submetidas à secagem em diferentes condições de ar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 1, p. 64–69, 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v19n1/1807-1929-rbeaa-19-01-0064.pdf>. Acesso em: 10 de dez. 2019.

USDA. United States Department of Agriculture. **World Agricultural Production**: Foreign Agricultural Service. 2019. Disponível em: <https://usda.library.cornell.edu/concern/publications/5q47rn72z?locale=en>. Acesso em: 18 jun. 2019.

VAZQUEZ, G. H.; BERTOLIN, D. C.; SPEGIORIN, C. N. Testes de envelhecimento acelerado e de condutividade elétrica para avaliar a qualidade fisiológica de sementes de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). **Revista Brasileira de Biociências**, v. 9, n. 1, p. 18–24, 2011. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/seerbio/ojs/index.php/rbb/article/view/1504/993>. Acesso em: 10 dez. 2019.

VERMA, R. et al. Characterization of *Sorghum* germplasm for various qualitative traits. **Journal of Applied and Natural Science**, v. 9, n. 2, p. 1002–1007, 2017. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/55a4/d39f68fa27f6c79267557a730218c0b9b612.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2019.

ZANÃO JÚNIOR, L. A. et al. Rice grown in nutrient solution with doses of manganese and silicon rice grown in nutrient solution with doses of manganese and silicon. **Revista**

Brasileira de Ciência do Solo, v. 34, n. 5, p. 1629–1639, 2010. Disponível em:
<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v34n5/16.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2019.

APÊNDICE A- TABELA DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA

Tabela 1. Análise de variância para os efeitos da aplicação de silício em sementes de sorgo submetidas aos estresses salino e hídrico, avaliado através da germinação (G), primeira contagem de germinação (PC), comprimento da parte aérea (PA) e raiz (CR), relação parte aérea/raiz (PA/R) e massa seca (MS) de plântulas.

Estresse salino							
FV	GL	QM					
		PC	G	PA	PR	PA/PR	MS
EA03							
STRES	3	162.716**	15.916*	588.23**	476.84**	6.62**	147.327**
SI	4	54.92**	2.42	3.37**	2.43	8.15**	10.59**
STRES*SI	12	34.258**	5.958	2.876**	4.36**	8.197**	5.058**
Erro	60	12.616	4.55	0.58	1.479	0.89	0.856
CV (%)		3.73	2.19	7.21	8.40	93.01	8.87
EA955							
STRES	3	7469.466**	2735.13**	599.417**	504.31**	0.415**	188.2**
SI	4	176.57**	69.92	3.18**	10.619*	0.004	4.588**
STRES*SI	12	153.01**	35.92	2.88**	3.28	0.0207*	6.16**
Erro	60	36.9	30.83	0.67	4.147	0.008	0.967
CV (%)		7.52	6.39	7.61	14.96	12.08	9.51
Estresse hídrico							
FV	GL	QM					
		PC	G	PA	PR	PA/PR	MS
EA03							
STRES	4	6062.9**	2158.56**	497.35**	45.62**	1.33**	76.94*
SI	4	39.4	77.36	0.30	9.767*	0.008	32.548
STRES*SI	16	33.67	92.31*	3.387*	11.02**	0.022**	36.06
Erro	75	69.546	42.29	1.81	2.73	0.009	36.54
CV (%)		9.63	7.11	13.14	9.70	16.20	56.18
EA955							
STRES	4	22008.44**	8258.96**	578.62**	180.59**	1.4**	203.048**
SI	4	306.64**	363.86**	2.05	8.559*	0.0062	22.95**
STRES*SI	16	103.71	207.86**	4.64**	16.368**	0.0337**	1.34
Erro	75	59.85	56.08	1.03	3.18	0.0062	0.95
CV (%)		11.52	9.29	10.75	12.01	13.09	9.99

* ou ** – significativo ao nível de 5% ou 1% pelo teste F respectivamente. CV- coeficiente de variação.