



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**  
**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO ANIMAL NA AMAZÔNIA**

**LUCIANA INGRID SOUZA DE SOUSA**

**UTILIZAÇÃO DE SILÍCIO NA GERMINAÇÃO DE SEMENTES E CRESCIMENTO  
DE PLÂNTULAS DE MILHO SUBMETIDAS A DEFICIÊNCIA HÍDRICA**

**BELÉM – PA**

**2020**

**LUCIANA INGRID SOUZA DE SOUSA**

**UTILIZAÇÃO DE SILÍCIO NA GERMINAÇÃO DE SEMENTES E CRESCIMENTO  
DE PLÂNTULAS DE MILHO SUBMETIDAS A DEFICIÊNCIA HÍDRICA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Programa de Pós Graduação em Produção Animal na Amazônia, para obtenção de título de mestre.

Área de Concentração: Fisiologia Vegetal.

Orientador: Dr. Cândido Ferreira de Oliveira Neto

**BELÉM – PA**

**2020**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Bibliotecas da Universidade Federal Rural da Amazônia  
Gerada automaticamente mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

S725u Sousa, Luciana Ingrid Souza de

Utilização de silício na germinação de sementes e crescimento de plântulas de milho submetidas a deficiência hídrica / Luciana Ingrid Souza de Sousa. - 2020.

37 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado) - Programa de PÓS-GRADUAÇÃO em Produção Animal na AMAZÔNIA (PPGPAA), Campus Universitário de Parauapebas, Universidade Federal Rural Da Amazônia, Parauapebas, 2020.

Orientador: Prof. Dr. Cândido Ferreira de Oliveira Neto

1. Fisiologia vegetal. 2. Produção vegetal. I. Oliveira Neto, Cândido Ferreira de , *orient.* II. Título

CDD

---

**LUCIANA INGRID SOUZA DE SOUSA**

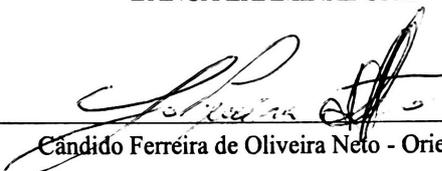
**UTILIZAÇÃO DE SILÍCIO NA GERMINAÇÃO DE SEMENTES E  
CRESCIMENTO DE PLÂNTULAS DE MILHO SUBMETIDAS A DEFICIÊNCIA  
HÍDRICA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Animal na Amazônia, para obtenção de título de mestre.

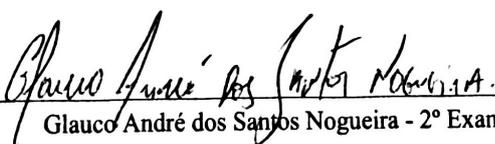
Orientador: Dr. Cândido Ferreira de Oliveira Neto

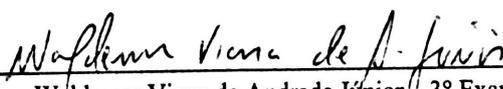
Aprovado em: 28/02/2020

BANCA EXAMINADORA

  
Cândido Ferreira de Oliveira Neto - Orientador  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA – UFRA

  
Perlon Maia dos Santos - 1º Examinador  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA – UFRA

  
Glauco André dos Santos Nogueira - 2º Examinador  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA – UFRA

  
Waldemar Viana de Andrade Júnior - 3º Examinador

SECRETÁRIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE – SEMAS

*Aos meus alicerces, Luci Souza e Luiz Sousa*

*Aos meus familiares e amigos*

**DEDICO!**

## **AGRADECIMENTOS**

**À Deus**, por me mostrar o quão forte sou ao lado Dele e renovar as minhas esperanças a cada adversidade.

**Aos meus pais**, Luci Souza e Luiz Sousa, por toda paciência, apoio, compreensão, orientações, pelos momentos de carinho, e por me fazerem acreditar em mim mesma.

**A minha irmã**, Luana Souza, pela amizade, pela força e pelos momentos de risada, que muitas vezes me fez esquecer os problemas.

**A todos da minha família**, que sempre me apoiaram, me fizeram rir e também me fizeram acreditar em mim mesma e torceram por mim em cada etapa deste trabalho.

**A minha avó**, que sempre com muito carinho, me falou que a caminhada nos estudos era difícil, mas que eu conseguiria. Sempre serás meu exemplo de sabedoria.

**Ao meu namorado, Yan Vieira e família**, pelo interminável apoio, carinho, paciência, compreensão, momentos de alegria e de conselhos.

**A Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA)**, por me acolher por mais dois anos nessa grande casa e me engrandecer não só o lado profissional, mas também sobre o lado humano, em lidar com as pessoas e entender que cada um pensa/age diferente.

**Ao meu orientador, Dr. Cândido Ferreira de Oliveira Neto**, pela paciência, pela orientação, pelas oportunidades, pela amizade e pelos conselhos desde quando ingressei como monitora de Fisiologia Vegetal em 2014.

**A Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas - FAPESPA**, pela bolsa concedida, no qual me ajudou muito permitindo a realização do curso de mestrado.

**Aos meus amigos antigos e aos novos amigos**, Wellington, Gleyce, Ícaro, Aline, Marília, Webest, Dayanna, que me ouviram nos momentos difíceis deste trabalho, me incentivaram a continuando que tudo daria certo.

**A minha equipe**, Ana Ecídia, Diana, Jéssica Suellen, Juscelino, Keila e Gerson, que incansavelmente me ajudaram em cada etapa do trabalho.

**Aos meus amigos do Laboratório de Estudos da Biodiversidade em Plantas Superiores (EBPS)**, Glauco, Valter, Beatriz, Andressa, Anglys, Ana Clara, Guto, Alexandra, Evelyn e Myriam pelos conselhos, pelas risadas, pelo compartilhamento de conhecimento, pelo apoio, pela amizade e confiança.

**À todos** que mesmo indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

**MUITO OBRIGADA!**

## RESUMO

A deficiência hídrica compromete a germinação adequada e conseqüentemente crescimento e desenvolvimento da planta. O silício é capaz de atenuar o efeito da deficiência hídrica em plantas. Objetivou-se avaliar o efeito do silicato de cálcio na germinação e no crescimento de plântulas de milho submetidas a deficiência hídrica. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 3 x 4, sendo três concentrações de silicato de cálcio (0,0; 1,0 e 2,0 mM) e 4 níveis de deficiência hídrica simulados por diferentes potenciais osmóticos (0,0; -0,3; -0,6; -0,9 MPa) gerados pelo PEG-6000. Foram avaliados a porcentagem de germinação, o índice de velocidade de germinação, o tempo médio de germinação, a porcentagem de não germinadas e de germinadas anormais, o comprimento e matéria seca da parte aérea, raiz e total das plântulas. A deficiência hídrica afetou negativamente o teste de germinação, reduziu a velocidade e aumentou o tempo médio, pois as sementes sem deficiência germinaram normalmente enquanto que as submetidas a deficiência não houve germinação normal. Também reduziu a produção de massa seca da parte aérea, da raiz e total em aproximadamente 93%, 81% e 87%, respectivamente das plântulas submetidas a deficiência em comparação as plântulas sem deficiência. Quanto ao comprimento da parte aérea, da raiz e total houve redução de aproximadamente 87%, 70% e 77%, respectivamente entre as plântulas submetidas a deficiência em comparação as plântulas sem deficiência. A utilização de silicato de cálcio em sementes de milho não atenuou o estresse causado pela deficiência hídrica simulada quanto aos parâmetros germinativos e quanto aos parâmetros de crescimento e produção de massa seca.

Palavras-chave: *Zea mays*, silicato, déficit hídrico, processo germinativo.

## ABSTRACT

ABSTRACT - Water deficiency compromises adequate germination and, consequently, plant growth and development. Studies attest how silicon is able to mitigate the effect of water deficiency in plants. The objective was to evaluate the effect of silicon on the germination and growth of corn seedlings submitted to water deficiency. The experimental design was completely randomized (DIC) (factorial 3x4), with three concentrations of calcium silicate (0.0; 1.0 and 2.0 mM) and 4 water deficiency levels simulated by different osmotic potentials (0.0; -0.3; -0.6; -0.9 MPa) generated by PEG-6000. The germination percentage, the germination speed index, the average germination time, the percentage of non-germinated and abnormal germinated, the length and dry matter of the aerial part, root and total seedlings were evaluated. The water deficiency negatively affected the germination test, reduced the speed and increased the average time, since the seeds without deficiency germinated normally while those submitted to deficiency did not have normal germination. It also reduced the production of shoot, root and total dry matter by approximately 93%, 81% and 87%, respectively of seedlings subjected to deficiency compared to seedlings without deficiency. As for the length of the aerial part, root and total, there was a reduction of approximately 87%, 70% and 77%, respectively among seedlings submitted to deficiency in comparison to seedlings without deficiency. The use of calcium silicate in corn seeds did not alleviate the stress caused by water deficiency in terms of germination parameters and in terms of growth and dry mass production parameters.

Keywords: *Zea mays*, silicate, water deficit, germination process.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1** - Embebição das sementes de milho em diferentes concentrações de silicato de cálcio em caixas gerboxs. ....21
- Figura 2** - Disposição vertical dos sacos plásticos contendo os rolos de papel dentro dos copos plásticos. ....22
- Figura 3** - Comprimento da parte aérea em plântulas de milho submetidas as concentrações de silicato de cálcio (0,0; 1,0 e 2,0 mM) e aos níveis de deficiência hídrica gerados potenciais osmóticos de PEG-6000 (0,0; -0,3; -0,6; -0,9 MPa). ....25
- Figura 4** - Teste de Germinação (A); Índice de Velocidade de Germinação (B) e Tempo médio de germinação (C) em sementes de milho submetidas as concentrações de silicato de cálcio (0,0; 1,0 e 2,0 mM) e aos níveis de deficiência hídrica gerados potenciais osmóticos de PEG-6000 (0,0; -0,3; -0,6; -0,9 MPa). ....28
- Figura 5** - Porcentagem de plântulas anormais (A) e de sementes não germinadas (B) de submetidas as concentrações de silicato de cálcio (0,0; 1,0 e 2,0 mM) e aos níveis de deficiência hídrica gerados potenciais osmóticos de PEG-6000 (0,0; -0,3; -0,6; -0,9 MPa). ..29
- Figura 6** - Massa seca da raiz (A), Massa seca da parte aérea (B) e Massa seca total (C) em plântulas de milho submetidas as concentrações de silicato de cálcio (0,0; 1,0 e 2,0 mM) e aos níveis de deficiência hídrica gerados potenciais osmóticos de PEG-6000 (0,0; -0,3; -0,6; -0,9 MPa). ....30
- Figura 7** - Comprimento da raiz (A) e Comprimento total (B) em plântulas de milho submetidas as concentrações de silicato de cálcio (0,0; 1,0 e 2,0 mM) e aos níveis de deficiência hídrica gerados potenciais osmóticos de PEG-6000 (0,0; -0,3; -0,6; -0,9 MPa). ..31
- Figura 8** - Plântulas de milho submetidas a concentração de silicato de cálcio de 0 mM e aos níveis de deficiência hídrica gerados potenciais osmóticos de PEG-6000 (0,0; -0,3; -0,6; -0,9 MPa). ....36
- Figura 9** - Plântulas de milho submetidas a concentração de silicato de cálcio de 1 mM e aos níveis de deficiência hídrica gerados potenciais osmóticos de PEG-6000 (0,0; -0,3; -0,6; -0,9 MPa). ....36
- Figura 10** - Plântulas de milho submetidas a concentração de silicato de cálcio de 2 mM e aos níveis de deficiência hídrica gerados potenciais osmóticos de PEG-6000 (0,0; -0,3; -0,6; -0,9 MPa). ....37

## LISTA DE TABELAS

**Tabela 1** - Análise de Variância (ANOVA) do efeito do silício (Si) e da deficiência hídrica (DH) nos parâmetros germinativos de sementes de milho. ....24

**Tabela 2** - Análise de Variância (ANOVA) do efeito do silício (Si) e da deficiência hídrica (DH) nos parâmetros de matéria seca e comprimento de plântulas de milho. ....24

## LISTA DE ABREVIATURAS

ABA – Ácido Abscísico  
ANOVA – Análise de Variância  
ATP – Adenosina trifosfato  
 $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$ – Silicato de cálcio  
 $\text{CO}_2$  – Dióxido de Carbono  
CPA – Comprimento da parte aérea  
CR – Comprimento da raiz  
CT – Comprimento total  
CV – Coeficiente de variação  
DIC – Delineamento Inteiramente Casualizado  
DH – Deficiência Hídrica  
FV – Fontes de variação  
GL – Grau de liberdade  
IVG –Índice de Velocidade de Germinação  
mM - Milimol  
MPa – Mega Pascal  
MSPA – Massa seca da parte aérea  
MSR – Massa seca da raiz  
MST – Massa seca total  
PEG-6000 - Polietilenoglicol 6000  
Si – Silício  
TG – Teste de Germinação  
TMG – Tempo Médio de Germinação  
 $\Psi_w$  – Potencial hídrico  
 $\Psi_p$  – Potencial de pressão

## SUMÁRIO

1	CONTEXTUALIZAÇÃO .....	13
	REFERÊNCIAS .....	15
2	HIPÓTESE E OBJETIVOS.....	18
2.1	Hipótese.....	18
2.2	Objetivos .....	18
2.2.1	Objetivo Geral.....	18
2.2.2	Objetivos específicos .....	18
3	GERMINAÇÃO DE SEMENTES E CRESCIMENTO DE PLÂNTULAS DE MILHO SUBMETIDAS A DEFICIÊNCIA HÍDRICA E SILÍCIO .....	19
3.1	Introdução.....	19
3.2	Material e métodos .....	20
3.2.1	Local do experimento e sementes utilizadas.....	20
3.2.2	Assepsia e esterilização dos materiais.....	20
3.2.3	Embebição com silicato de cálcio .....	21
3.2.4	Aplicação do PEG-6000 e execução dos testes germinativos.....	21
3.2.5	Delineamento experimental e análise estatística.....	22
3.2.6	Variáveis analisadas .....	22
3.3	Resultados e discussão .....	24
3.4	Conclusão .....	32
	REFERÊNCIAS .....	33
4	ANEXOS .....	36

## 1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A baixa disponibilidade de água no solo, ocasionada pelo período seco, causa um déficit hídrico nas plantas (DESHMUKH et al., 2017). Conseqüentemente reduz a produção de biomassa e a produtividade das forrageiras (THIRUMALAIKUMAR et al., 2018). No futuro, sabe-se que essa condição estressante possivelmente irá aumentar devido às mudanças climáticas a nível global, o que ocasionaria efeitos negativos na agricultura e no meio ambiente (ETESAMI; RYONG, 2018).

A deficiência hídrica é um desequilíbrio entre a água disponível no solo e a demanda evaporativa, ou seja, a planta exige pela transpiração de uma quantidade hídrica maior do que a água presente no solo (MAGALHÃES et al., 2012). É um estresse abiótico que afeta significativamente os processos fisiológicos de plantas, ocasionando alterações nas suas atividades metabólicas em vários estádios fenológicos: desde a germinação, por necessitar de água para quebrar o amido em glicose e por fim gerar a ATP, até a fase de florescimento e enchimento de grãos (LIMA et al., 2015).

Mesmo uma cultura importante produzida no Brasil, como o milho, também sofre alterações fisiológicas e metabólicas quando submetido a deficiência hídrica na tentativa de aclimatar essa condição estressante (HERNÁNDEZ et al., 2015) como por exemplo: a redução da turgescência celular e paralisação da expansão celular, o que afeta o crescimento vegetal; e perdas quanto ao desenvolvimento da planta, em consequência do fechamento estomático, na restrição a transpiração e na capacidade fotossintética da planta (PADILHA et al., 2016; NASCIMENTO et al., 2017).

Mediante a esses prejuízos acarretados pela deficiência em milho, a utilização do silício no estágio vegetativo está bem estabelecida na agricultura por atuar como um atenuador do estresse hídrico, desempenhando papel importante na atividade metabólica, fisiológica e estrutural das plantas (LIANG et al., 2015), como por exemplo propiciar o aumento da absorção de potássio e reduzir a absorção de sódio; melhorar os atributos de trocas gasosas, ajuste osmótico, na redução do estresse oxidativo; melhorar a expressão gênica e regulação de solutos compatíveis e na síntese de fitohormônios, contornando assim a deficiência hídrica e auxiliando no crescimento vegetal (DEBONA et al., 2017).

Além dos efeitos positivos no milho, alguns trabalhos atestam como o silício atenuou a deficiência hídrica em parâmetros de crescimento, produção de biomassa, atividade das enzimas do sistema antioxidante e parâmetros de trocas gasosas e fluorescência da clorofila a, em culturas como sorgo (AHMED et al. 2011), soja (SHEN et al., 2010), trigo (AHMAD et al., 2007), arroz (CHEN et al., 2011).

Um dos trabalhos que avaliou o efeito do silício em plantas de milho em estufa foi o de Gao et al. (2005). Esses autores verificaram que as concentrações de 1 a 2 mM de Si melhoraram as trocas gasosas e o uso eficiente de água propiciando maior crescimento das plantas estressadas tratadas com silício em comparação as plantas que não receberam Si.

No entanto, quanto a sua utilização na germinação de sementes e crescimento de plântulas de milho, a literatura ainda carece de pesquisas elucidando os mecanismos de ação do Si sob deficiência hídrica nos estágios iniciais (PANG et al., 2019).

A germinação de sementes é afetada negativamente pela deficiência hídrica, ocasionando decréscimos significativos no rendimento da cultura (GUO et al., 2017). Em sementes, o polietilenoglicol 6000 (PEG-6000) é um dos solutos mais utilizados como indutor da deficiência hídrica. É um soluto que não é absorvido pelas sementes, porém afeta a absorção de água por gerar potenciais osmóticos negativos, conseqüentemente é prejudicial ao processo germinativo (MENESES et al., 2011).

Quando submetidas a deficiência hídrica, as sementes apresentam redução na velocidade de germinação, produzindo plântulas com crescimento reduzido, lotes desuniformes, com baixa produção de matéria seca, influenciando diretamente na produtividade final da cultura (MARCOS FILHO et al., 2009). O que fez com que pesquisadores avaliassem a utilização do silício em sementes.

Alguns trabalhos encontraram efeito positivo do silício na germinação como mitigador de estresses. Por exemplo, o silício mitigou o efeito da deficiência hídrica em sementes de tomate (SHI et al., 2014) e de lentilha (BIJU et al., 2017). Também foi obtido o mesmo resultando quanto ao estresse salino em milho (KHAN et al., 2015), em tomate (ALMUTAIRI, 2016) e em feijão-fava (QADOS; MOFTAH, 2015).

Portanto, a justificativa do presente trabalho é avaliar se o silicato de cálcio, utilizado como fertilizante em plantas a campo, é capaz de desempenhar efeito positivo nos parâmetros de germinação, crescimento e produção de biomassa em sementes de milho submetidas a deficiência hídrica.

## REFERÊNCIAS

- AHMAD, F.; RAHMATULLAH, A. T.; MAQSOOD, M. A.; TAHIR, M.A.; KANWAL, S. Effect of silicon application on wheat (*Triticumaestivum* L.) growth under water deficiency stress. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, v.19, n. 2, p.01 – 07, 2007.
- AHMED, M., QADEER, U., ASLAM, M. A. Silicon application and drought tolerance mechanism of sorghum. **African Journal of Agricultural Research**, v. 6, n. 3, p. 594 - 607, 2011.
- ALMUTAIRI, Z. M. Effect of nano-silicon application on the expression of salt tolerance genes in germinating tomato ('*Solanumlycopersicum*'L.) seedlings under salt stress. **Plant Omics Journal**, v. 9, n. 1, p. 106, 2016.
- BIJU, S.; FUENTES, S.; GUPTA, D. Silicon improves seed germination and alleviates drought stress in lentil crops by regulating osmolytes, hydrolytic enzymes and antioxidant defense system. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 119, n. 10, p. 250-264, 2017.
- CHEN, W., YAO, X., CAI, K., CHEN, J. Silicon alleviates drought stress of rice plants by improving plant water status, photosynthesis and mineral nutrient absorption. **Biological Trace Element Research** v.142, n. 1, p.67 - 76, 2011.
- DEBONA, D.; RODRIGUES, A.; DATNOFF, L. E. Silicon ' s Role in Abiotic and Biotic Plant Stresses. **Annual Review of Phytopathology**, v. 55, n. 1, p. 85 – 107, 2017.
- DESHMUKH, R. K.; MA, J. F.; BÉLANGER, R. R. Editorial : Role of Silicon in Plants. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, n. 10, p. 1 – 3, 2017.
- ETESAMI, H.; RYONG, B. Silicon (Si): Review and future prospects on the action mechanisms in alleviating biotic and abiotic stresses in plants. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 147, n. 9, p. 881 – 896, 2018.
- GAO, X.; ZOU, C.; WANG, L.; ZHANG, F. Silicon improves water use efficiency in maize plants. **Journal of Plant Nutrition**, v. 27, n. 8, p. 1457-1470, 2005.
- GUO, Q.; WANG, Y.; ZHANG, H.; QU, G.; WANG, T.; SUN, Q.; LIANG, D. Alleviation of adverse effects of drought stress on wheat seed germination using atmospheric dielectric barrier discharge plasma treatment. **Scientific Reports**, v. 7, n.1, p. 16680 – 16693, 2017.
- HERNÁNDEZ, M.; ECHARTE, L.; DELLA MAGGIORA, A.; CAMBARERI, M.; BARBIERI, P.; CERRUDO, D. Maize water use efficiency and evapotranspiration response to N supply under contrasting soil water availability. **Fields Crops Research**, v. 178, n. 1, p. 8 -15, 2015.

- KHAN, W.; AZIZ, T.; WARAICH, E. A.; KHALID, M. Silicon application improves germination and vegetative growth in maize grown under salt stress. **Pakistan Journal of Agricultural Sciences**, v. 52, n. 4, 2015.
- LIANG, Y.; NIKOLIC, M.; BÉLANGER, R.; GONG, H.; SONG, A. **Silicon in Agriculture: From Theory to Practice**. p.1–235, 2015.
- LIMA, J. M.; NATH, M.; DOKKU, P.; RAMAN, K. V.; KULKARNI, K. P.; VISHWAKARMA, C.; SAHOO, S. P.; MOHAPATRA, U. B.; MITHRA, S. V.; CHINNUSAMY, V.; ROBIN, S.; SARLA, N.; SESHASHAYEE, M.; SINGH, K.; SINGH, A. K.; SINGH, N. K.; SHARMA, R. P.; MOHAPATRA, T. Physiological, anatomical and transcriptional alterations in a rice mutante leading to enhanced water stress tolerance. **AoB PLANTS**, v. 7, n. 23, p. 1 – 19, 2015.
- MAGALHÃES, P. C.; ALBUQUERQUE, P. E. P.; VIANA, J. H. M. **Resposta fisiológica do sorgo ao estresse hídrico em casa de vegetação**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2012. 21 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Milho e Sorgo, ISSN 1679-0154; 46).
- MARCOS FILHO, J.; KIKUTI, A. L. P.; LIMA, L. B. Métodos para avaliação do vigor de sementes de soja, incluindo análise computadorizada de imagens. **Revista Brasileira de Sementes**, Lavras, v. 31, n. 1, p. 102-112, 2009.
- MENESES, C. H. S. G.; BRUNO, R. L. A.; FERNANDES, P. D.; PEREIRA, W. E.; LIMA, L. H. G. M.; LIMA, M. M. D. A.; VIDAL, M. S. Germination of cotton cultivar seeds under water stress induced by polyethyleneglycol-6000. **Scientia Agricola**, v. 68, n. 2, p. 131 - 138, 2011.
- NASCIMENTO, F. N.; BASTOS, E. A.; CARDOSO, M. J.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; RAMOS, H. M. Desempenho da produtividade de espigas de milho verde sob diferentes regimes hídricos. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 16, n. 1, p. 94 - 108, 2017.
- PADILHA, N. S.; SILVA, C. J.; PEREIRA, S. B.; SILVA, J. A. N.; HEID, D. M.; BOTTEGA, S. P.; SCALON, S. P. Q. Crescimento inicial do pinhão-mansão submetido a diferentes regimes hídricos em Latossolo vermelho distrófico. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 2, p. 513 - 521, 2016.
- PANG, Z.; TAYYAB, M.; ISLAM, W.; TARIN, M. W. K.; SARFARAZ, R.; NAVEED, H.; ZAMAN, S.; ZHANG, B.; YUAN, Z.; ZHANG, H. Silicon-mediated improvement in tolerance of economically important crops under drought stress. **Applied Ecology and Environmental Research**, v. 17, n. 3, p. 6151 - 6170, 2019.

- QADOS, A. M. A.; MOFTAH, A. E. Influence of silicon and nano-silicon on germination, growth and yield of faba bean (*Vicia faba* L.) under salt stress conditions. **Journal of Experimental Agriculture International**, v. 5, n. 6, p. 509-524, 2015.
- SHEN, X.; ZHOU, Y.; DUAN, L.; LI, Z.; ENEJI, A. E.; LI, J. Silicon effects on photosynthesis and antioxidant parameters of soybean seedlings under drought and ultraviolet-B radiation. **Journal of Plant Physiology**, v.167, n. 15, p. 1248–1252, 2010.
- SHI, Y.; ZHANG, Y.; YAO, H.; WU, J.; SUN, H.; GONG, H. Silicon improves seed germination and alleviates oxidative stress of bud seedlings in tomato under water deficit stress. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 78, n. 3, p. 27–36, 2014.
- THIRUMALAIKUMAR, V. P.; DEVKAR, V.; MEHTEROV, N.; ALI, S.; OZGUR, R.; TURKAN, I.; MUELLER-ROEBER, B.; BALAZADEH, S. NAC transcription factor JUNGBRUNNEN 1 enhances drought tolerance in tomato. **PlantBiotechnologyJournal**, v. 16, n. 2, p. 354-366, 2018.

## **2 HIPÓTESE E OBJETIVOS**

### **2.1 Hipótese**

A utilização de silicato de cálcio em sementes de milho atenua o estresse causado pela deficiência hídrica nos parâmetros germinativos, crescimento e produção de biomassa.

### **2.2 Objetivos**

#### **2.2.1 Objetivo Geral**

Analisar o efeito do silicato de cálcio na germinação de sementes e crescimento de plântulas de milho submetidas a deficiência hídrica.

#### **2.2.2 Objetivos específicos**

Avaliar o efeito do silicato de cálcio na germinação de sementes (porcentagem de germinação, índice de velocidade, tempo médio, porcentagem de sementes não germinadas e porcentagem de sementes germinadas anormais) sob deficiência hídrica.

Analisar os efeitos do silicato de cálcio sobre o crescimento (comprimento da parte aérea, da raiz e total) de plântulas de milho sob deficiência hídrica.

Avaliar os efeitos do silicato de cálcio sobre a produção de biomassa (matéria seca da parte aérea, da raiz e total) de plântulas de milho sob deficiência hídrica.

### 3 GERMINAÇÃO DE SEMENTES E CRESCIMENTO DE PLÂNTULAS DE MILHO SUBMETIDAS A DEFICIÊNCIA HÍDRICA E SILÍCIO

#### 3.1 Introdução

A germinação inicia com a embebição das sementes, ou seja, após a captação de água. Essa embebição acontece em decorrência da diferença de potencial hídrico ( $\Psi_w$ ) entre a semente e a água presente no substrato da germinação (areia ou papel germitest) (BEWLEY et al., 2013).

Após a captação de água, a germinação obedece um padrão trifásico de embebição, onde na fase I ocorre rápida absorção direcionada pelo gradiente de  $\Psi_w$  do substrato para a semente e a ativação da respiração. Na fase II declina a absorção de água, e o metabolismo é reiniciado, há mobilização de reservas energéticas, transcrição e tradução de RNA preparando-se para posterior crescimento da plântula. Na fase III ocorre a protusão da radícula e aumenta novamente a taxa de embebição devido redução do  $\Psi_w$  à medida que ocorrem as divisões mitóticas e expansão celular (PINHEIRO et al., 2018; NONOGAKI et al., 2010).

Portanto, a água é um fator essencial para o processo germinativo e a ocorrência da deficiência hídrica em sementes além de comprometer a germinação adequada, pode reduzir o crescimento e desenvolvimento da planta (SHI et al., 2014).

Trabalhos foram realizados utilizando potenciais osmóticos de polietilenoglicol como simulador da deficiência hídrica em milho, principalmente na faixa de -0,2 a -1,2MPa. Como, por exemplo, o trabalho de Farias et al. (2003) com milho, que utilizando potenciais de -0,4 a -1,0 MPa, encontram 69% de redução na porcentagem de sementes germinadas entre o menor e o maior potencial osmótico.

Melo et al. (2012), utilizando milho-pipoca submetidos sob potenciais de 0 a -0,8 MPa, encontraram que do potencial de -0,4 a -0,8MPa além da porcentagem de germinação reduzir, houve redução do crescimento e na produção de matéria fresca das plântulas.

Pesquisadores no mundo todo têm avaliado o efeito de diferentes fontes silicatadas na germinação e crescimento inicial de plântulas sob deficiência hídrica. Por exemplo, Ma et al (2002) trabalhando com sementes de milho verificaram que o silício exógeno propiciou a atividade de enzimas (diástase, protease e lipases) que degradam as reservas energéticas presentes nas sementes durante a germinação, além de acelerar o crescimento e a taxa de respiração das plântulas.

Também avaliando o efeito do silício exógeno em sementes de tomate sob deficiência, Shi et al. (2014) encontraram aumento na porcentagem de germinação das sementes estressadas quando o Si foi aplicado. Além disso, observaram que houve redução do estresse oxidativo, melhorando o sistema antioxidante, a partir do aumento da atividade da superóxido dismutase e catalase, da diminuição da concentração de fenol e conseqüentemente da diminuição da atividade da peroxidase e do acúmulo de radical hidroxila.

As nanopartículas de silício ( $n\text{SiO}_2$ ) quando testado em sementes de tomate por Siddiqui e Al-Whaibi (2014), foi verificado que essa fonte silicatada aumentou a porcentagem de germinação, o tempo médio, o índice de velocidade e a massa seca das plântulas em comparação as plântulas sem Si. Em feijão-fava, Roohizadeh et al. (2015) também encontraram efeito positivo do nanosilício e do silicato de sódio quanto aos parâmetros germinativos e de crescimento das plântulas.

Hameed et al. (2013), trabalhando com trigo sob deficiência hídrica previamente tratado com silicato de sódio observou que o silício colaborou no processo germinativo em comparação com as sementes que não foram tratadas.

Portanto, objetivou-se analisar o efeito do silicato de cálcio na germinação de sementes e crescimento de plântulas de milho submetidas a deficiência hídrica.

## **3.2 Material e métodos**

### **3.2.1 Local do experimento e sementes utilizadas**

O trabalho foi desenvolvido na Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA – Campus Belém), no Laboratório de Estudos da Biodiversidade em Plantas Superiores (EBPS), com coordenadas geográficas 27°21'S, 30°16' W e altitude média de 10 metros. O experimento foi realizado em outubro de 2019 com duração de sete dias. A temperatura da sala de germinação foi de  $25 \pm 2$  °C e umidade relativa variando durante o dia entre 50 a 85%. Foram utilizadas sementes de milho (*Zeamays* L.) cultivar K9960 da KWSementes.

### **3.2.2 Assepsia e esterilização dos materiais**

Foi realizada a assepsia e esterilização dos materiais utilizados na embebição com silicato de cálcio. Foram utilizadas caixas gerboxs, transparentes e com tampa contendo duas folhas de papel mata-borrão. Os materiais utilizados no teste de germinação foram copos plásticos, sacos plásticos e duas folhas de papel germitest. Os gerboxs, os copos e sacos plásticos foram desinfetados com solução de álcool a 70% a fim de inibir possíveis

proliferações de fungos (TOMAZI et al., 2019) e as folhas de papel mata-borrão e de papel germitest foram esterilizadas em estufa a 105 °C por 1 hora (BRASIL, 2009).

### 3.2.3 Embebição com silicato de cálcio

Para a embebição com silicato de cálcio, as sementes foram alocadas entre duas folhas de papel mata-borrão, dentro de caixas gerboxs (Figura 1). As folhas de mata-borrão foram previamente umedecidas com as soluções de silicato de cálcio na proporção de 2,5 vezes o peso do substrato seco e a embebição seguiu por 24 horas (BRASIL, 2009).

Figura 1 - Embebição das sementes de milho em diferentes concentrações de silicato de cálcio em caixas gerboxs.



### 3.2.4 Aplicação do PEG-6000 e execução dos testes germinativos

Após o período de embebição, as sementes foram transferidas para as folhas de papel germitest para a execução do teste germinativo. Previamente, as folhas de papel germitest foram umedecidas com as soluções de PEG-6000 na proporção equivalente a 2,5 vezes o peso do substrato seco. As folhas umedecidas contendo as sementes foram dobradas formando rolos de papel, que em seguida, foram alocados dentro de sacos plásticos e presos com ligas elásticas, a fim de evitar a evaporação da solução e qualquer tipo de contaminação (BRASIL, 2009).

Os sacos contendo os rolos de papel foram colocados verticalmente dentro de copos plásticos (Figura 2) possibilitando que o geotropismo ocorresse de forma natural, o que posteriormente facilitaria as avaliações das plântulas geradas (COELHO et al., 2014). A sala de germinação permaneceu sob temperatura de 25°C e fotoperíodo de 8 horas de luz e 16 horas no escuro durante os sete dias de condução do teste de germinação (BRASIL, 2009).

Figura 2 - Disposição vertical dos sacos plásticos contendo os rolos de papel dentro dos copos plásticos.



### 3.2.5 Delineamento experimental e análise estatística

O experimento foi instalado em delineamento inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial 3x4, sendo composto por três concentrações de Silicato de cálcio (0,0; 1,0 e 2,0 mM de  $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$ ), de acordo com o descrito por Gao et al., (2005) e 4 níveis de deficiência hídrica simulados por diferentes potenciais osmóticos (0,0; -0,3; -0,6; -0,9 MPa) gerados pelo PEG-6000. Essas soluções de PEG-6000 foram preparadas de acordo com Villela et al., (1991).

Cada tratamento contou com 4 repetições e 50 sementes por rolo de papel de acordo com o recomendado por Brasil (2009). Os resultados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) ao nível de 5% de significância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O modelo matemático geral referente a cada resposta avaliada pôde ser representado pelo modelo linear aditivo:  $Y_{ijkl} = \mu + S_i + P_j + (SP)_{jk} + \epsilon_{ijkl}$ . Em que:  $Y_{ijkl}$  = resposta de cada variável dependente;  $\mu$  = média inerente as observações de cada resposta;  $S_i$  = efeito da  $i$ -ésima concentração de silicato de cálcio (0, 1 e 2 mM);  $P_j$  = efeito do  $j$ -ésimo potencial osmótico simulando a deficiência hídrica (0,0; -0,3; -0,6; -0,9 MPa);  $SP_{ji}$  = efeito da interação Silício x Potencial osmótico;  $\epsilon_{ijkl}$  = erro aleatório residual (variação do acaso sobre as observações).

### 3.2.6 Variáveis analisadas

Para avaliar os parâmetros germinativos foram consideradas as seguintes variáveis:

Teste de Germinação (TG): As avaliações foram realizadas do quarto ao sétimo dia após a implantação do teste germinativo, contabilizando somente as sementes que apresentaram germinação normal. Foi considerado como sementes com germinação normal as

que geraram plântulas com sistema radicular composto por raiz primária e raízes secundárias bem desenvolvidas e parte aérea bem formada contendo mesocótilo e coleótilo desenvolvidos, com plúmula estendida, como preconizado nas Regras de Análises de Sementes (BRASIL, 2009).

Porcentagem de plântulas anormais: Foi contabilizado apenas ao final dos sete dias de teste. Foi considerado como sementes com germinação anormalas que desenvolveram plântulas apresentando as seguintes características: sementes com dano ou ausência das estruturas essenciais; plântulas com desenvolvimento fraco das raízes e/ou da parte aérea, ou com estruturas deformadas desproporcionais de forma que não possa ocorrer seu desenvolvimento normal posteriormente, como por exemplo raiz primária ausente ou fina e fraca ou sem raízes secundárias, além de hipocótilo, mesocótilo e epicótilo ausentes, ou curvados ou retorcidos e com folhas primárias ausentes ou fendida por mais de um terço do comprimento a partir do ápice (BRASIL, 2009).

Porcentagem de sementes não germinadas: Foram contabilizadas as sementes que dentro do período de execução do teste (sete dias) não apresentaram emissão de radícula ou parte aérea, mesmo apresentando viabilidade para germinar (BRASIL, 2009).

Índice de Velocidade de Germinação (IVG): foi calculado de acordo com a fórmula proposta por Maguire (1962):

$$IVG = \frac{G1}{N1} + \frac{G2}{N2} + \dots + \frac{Gn}{Nn}$$

Onde G1, G2, Gn = número de sementes normais germinadas na primeira, segunda, até a última contagem e N1, N2, Nn = número de dias desde a primeira, segunda, até a última contagem.

Tempo Médio de Germinação (TMG): foi calculado de acordo com a fórmula proposta por Labouriau (1983):

$$TMG = \frac{\sum n_i t_i}{\sum n_i}$$

Onde n<sub>i</sub> = número de sementes normais germinadas por dia e t<sub>i</sub> = tempo de incubação (dias).

Para avaliação do comprimento da parte aérea e da raiz foram selecionadas aleatoriamente 15 plântulas oriundas do teste de germinação e o comprimento verificado com auxílio de régua milimetrada, calculando-se ainda o comprimento total, a partir do somatório do comprimento da parte aérea e da raiz (COELHO et al., 2014).

Para avaliação da massa seca(da parte aérea e da raiz) todo o material vegetal oriundo do teste de germinação foi acondicionado em sacos de papel kraft e levado a estufa com circulação forçada de ar à 65 °C, durante 72 horas. Posteriormente, o material foi pesado e os resultados expressos em gramas. Foi calculado ainda a massa seca total, a partir do somatório da massa seca da parte aérea e da raiz.

### 3.3 Resultados e discussão

Não houve efeito significativo do silicato de cálcio isoladamente para nenhum dos parâmetros germinativos, de matéria seca, comprimento da raiz e comprimento total.Houve efeito significativo da deficiência hídrica para todas as variáveis analisadas. (Tabela 1 e Tabela 2).Houve efeito significativo da interação silicato e deficiência hídrica somente para a variável comprimento da parte aérea (Tabela 2).

Tabela 1 - Análise de Variância (ANOVA) do efeito do silício (Si) e da deficiência hídrica (DH) nos parâmetros germinativos de sementes de milho.

FV	GL	Germinação	Não germinadas	Plântulas anormais	TMG	IVG
		------(%)-----			(dias)	
Silício	2	0.333 <sup>ns</sup>	2.729 <sup>ns</sup>	40.583 <sup>ns</sup>	0.001 <sup>ns</sup>	0.003 <sup>ns</sup>
Def. Hídrica	3	23674.083*	1224.300*	18261.889*	51.400*	351.619*
Si x DH	6	0.333 <sup>ns</sup>	3.585 <sup>ns</sup>	50.806 <sup>ns</sup>	0.001 <sup>ns</sup>	0.003 <sup>ns</sup>
Resíduo	36	7.583	7.523	64.111	0.001	0.099
Média	-	22.208	35.208	42.583	1.035	2.707
CV (%)	-	12.4	20.8	18.8	3.3	11.6

FV- Fontes de variação; GL – Grau de liberdade; TMG – Tempo médio de germinação; IVG – Índice de velocidade de germinação; CV(%) – Coeficiente de Variação; \* Significativo ao nível de 5% de significância; ns Não significativo ao nível de 5% de significância.

Tabela 2 - Análise de Variância (ANOVA) do efeito do silício (Si) e da deficiência hídrica (DH) nos parâmetros de matéria seca e comprimento de plântulas de milho.

FV	GL	MSR	MSPA	MST	CR	CPA	CT
		------(mg)-----			------(cm)-----		
Silício	2	0.002 <sup>ns</sup>	0.002 <sup>ns</sup>	0.000 <sup>ns</sup>	0.077 <sup>ns</sup>	0.078*	0.316 <sup>ns</sup>
Def. Hídrica	3	2.571*	1.979*	9.343*	75.058*	31.041*	122.210*
Si x DH	6	0.002 <sup>ns</sup>	0.001 <sup>ns</sup>	0.003 <sup>ns</sup>	0.071 <sup>ns</sup>	0.063*	0.114 <sup>ns</sup>
Resíduo	36	0.003	0.003	0.006	0.086	0.013	0.129
Média	-	5.157	4.455	9.612	4.454	0.953	5.277
CV (%)	-	7.1	22.7	9.3	25.3	12.1	20.4

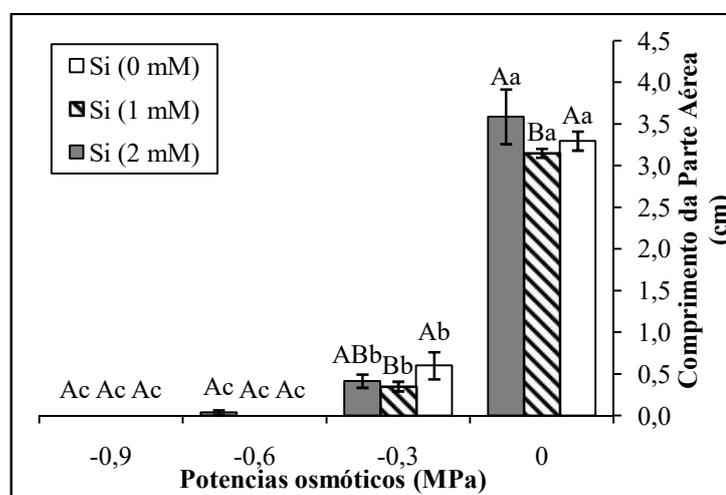
FV – Fonte de variação; GL – Grau de liberdade; MSR – Massa seca das raízes; MSPA – Massa seca da parte aérea; MST – Massa seca total; CR – Comprimento da raiz; CPA – Comprimento da parte aérea; CT – Comprimento Total; CV(%) – Coeficiente de Variação; \* Significativo ao nível de 5% de significância; ns Não significativo ao nível de 5% de significância.

Quanto ao comprimento de parte aérea (Figura 3), as plântulas sem deficiência hídrica (potencial osmótico de 0 MPa), sem silicato (0 mM Si) e com concentração de 2 mM apresentaram maior comprimento (3.29 e 3.58 cm respectivamente), seguidas das plântulas com 1 mM de silicato (3.15 cm).

Quando as plântulas foram submetidas ao menor nível de deficiência (potencial de -0,3 MPa) sofreram redução de aproximadamente 87% em comparação as plântulas sem deficiência (0 MPa), onde as plântulas sem silicato (0 mM) apresentaram comprimento superior com 0.6 cm, seguidas pelas plântulas com 2 mM de silicato (0.41 cm) e o menor comprimento foi das plântulas com 1 mM Si (0.35 cm).

Nos níveis de deficiência hídrica mais elevados (potencial de -0.6 e -0.9 MPa) o desenvolvimento de parte aérea foi altamente prejudicado pela deficiência hídrica (aproximadamente 0 cm), sem diferença entre as concentrações de silicato entre as plântulas (Figura 3).

Figura 3 - Comprimento da parte aérea em plântulas de milho submetidas as concentrações de silicato de cálcio (0,0; 1,0 e 2,0 mM) e aos níveis de deficiência hídrica gerados potenciais osmóticos de PEG-6000 (0,0; -0,3; -0,6; -0,9 MPa).



Letras maiúsculas iguais não diferem entre si dentro do mesmo potencial osmótico.  
Letras minúsculas iguais não diferem entre si dentro da mesma concentração de silício.

Portanto, o silicato de cálcio não promoveu aumento significativo no comprimento da parte aérea das plântulas (com e sem deficiência hídrica). Possivelmente, essa fonte silicatada não foi mais eficiente em virtude de apresentar liberação e ação do Si mais lenta e por ter propriedades físicas, como tamanho da molécula e densidade maior do que outras fontes que já foram testadas em sementes, como nanossilício, silício endógeno ou silicato de sódio (QUEIROZ et al., 2018).

Além disso, quanto a redução do comprimento da parte aérea das plântulas sob deficiência, a justificativa possivelmente seja devido ao baixo potencial de pressão celular e a produção do hormônio ácido abscísico (ABA) em condição de estresse. Sob deficiência, as células vegetais apresentam baixo conteúdo de água e baixo potencial de pressão celular, fator primordial para a expansão e divisão celular, prejudicando o crescimento vegetal (COLMAN et al., 2014).

A deficiência hídrica pode ter estimulado a produção de ácido abscísico (ABA). Este hormônio pode ter atuado como inibidor da ação de giberelinas, que são importantes por favorecer a síntese proteica e de RNAs específicos envolvidos na síntese de enzimas atuantes na hidrólise energética para o crescimento da plântula (NASCIMENTO; MOSQUIM, 2004).

As figuras 4 e 5 a seguir evidenciam como a deficiência hídrica afetou negativamente o processo germinativo. Em relação ao Teste de Germinação, foi observado que a germinação das sementes de milho atingiu valores próximos a 90%, nas sementes sem deficiência hídrica (potencial de 0 MPa). A deficiência hídrica afetou negativamente a germinação das sementes submetidas aos potenciais de -0,3; -0,6 e -0,9MPa, com percentual zero de germinação(Figura 4A). Nas sementes submetidas a deficiência hídrica não houve germinação normal (germinação nula).

Possivelmente, com a imposição dos potenciais osmóticos, o potencial hídrico do meio ficou mais negativo do que o potencial hídrico das sementes, o que prejudicou o gradiente de potencial necessário para a absorção de água ( $\Psi_w$  sementes  $<$   $\Psi_w$  meio) (BEWLEY et al. 2013) e afetou a sequência de eventos fisiológicos e metabólicos da germinação: reativação da respiração, síntese de enzimas para a degradação das reservas energéticas e protusão radicular (NONOGAKI et al. 2010).

O efeito negativo da deficiência hídrica na germinação de sementes também foi observado por Steiner e Zuffo (2019) em quatro espécies de hortaliças e Avci et al. (2017) em sete cultivares de sorgo. Além disso, as soluções de PEG-6000 podem ter reduzido a germinação em decorrência da solução apresentar alta viscosidade, o que possivelmente prejudicou a difusão de oxigênio e a sua boa disponibilidade para ativar enzimas mitocondriais que geram ATP, a partir da fosforilação oxidativa, para a mobilização de reservas energéticas, para a divisão celular e protusão da radícula(GUEDES et al., 2013; BEWLEY; BLACK, 1994).

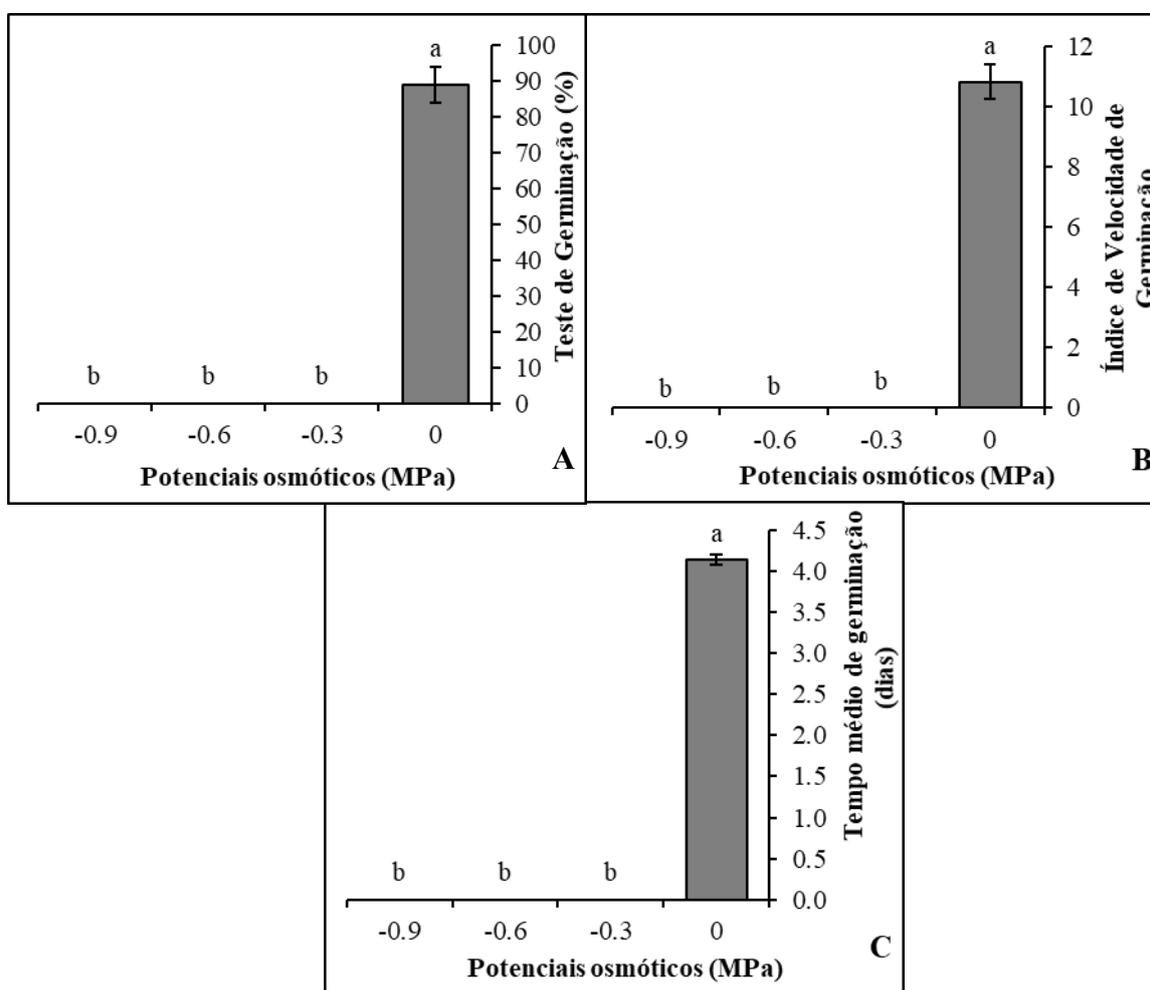
Em relação ao IVG, os resultados evidenciaram que a maior velocidade de germinação foi das sementes sem deficiência hídrica (0 MPa), enquanto que as sementes submetidas a deficiência, por ocorrer germinação nula, o índice de velocidade também foi

nulo (Figura 4B). Resultados semelhantes para o IVG também foram encontrados por Vibhuti et al. (2015) trabalhando com três variedades de arroz submetidas a deficiência hídrica. Em decorrência a dificuldade que as sementes encontram em absorver água do substrato, conseqüentemente se tem retardo no processo germinativo e reduz a velocidade em que o mesmo ocorre (GHAROOBI et al., 2012).

Em relação ao TMG, os resultados evidenciaram que as sementes sem deficiência (0 MPa) levaram aproximadamente 4 dias para germinar, e as sementes com deficiência hídrica não houve germinação normal durante o decorrer do teste (0 dias) (Figura 4C). Esse achado assemelha-se ao de Oliveira et al. (2017a) trabalhando com sementes de cactáceas submetidas ao déficit hídrico e duas diferentes temperaturas, encontrando que quanto mais negativo o potencial osmótico simulado, mais tempo as sementes levaram para germinar.

A justificativa para esse resultado deve-se ao fato que, com a dificuldade em absorver água do meio, a semente necessita de mais tempo para atingir um nível de água adequado para germinar, o IVG tende a reduzir e o TMG a aumentar, conseqüentemente prolonga o processo germinativo (BEWLEY et al., 2013).

Figura 4 - Teste de Germinação (A); Índice de Velocidade de Germinação (B) e Tempo médio de germinação (C) em sementes de milho submetidas as concentrações de silicato de cálcio (0,0; 1,0 e 2,0 mM) e aosníveis de deficiência hídrica gerados potenciais osmóticos de PEG-6000 (0,0; -0,3; -0,6; -0,9 MPa).



Letras minúsculas iguais não diferem entre si

Para a porcentagem de plântulas anormais encontrou-se diferença significativa entre as sementes com ou sem deficiência hídrica (Figura 5A), sendo que se obteve menor porcentagem (3%) para as sementes sem deficiência hídrica (0MPa), em virtude da maioria ter germinado normalmente (Figura 4A) e maior porcentagem (81,5%) para as plântulas estressadas submetidas ao potencial de -0,3MPa. As plântulas estressadas submetidas aos potenciais de -0,6 e -0,9MPa (70,33% e 14,66%, respectivamente) devido parte das sementes não germinarem, contaram apenas para a variável de percentual de sementes não germinadas (Figura5B).

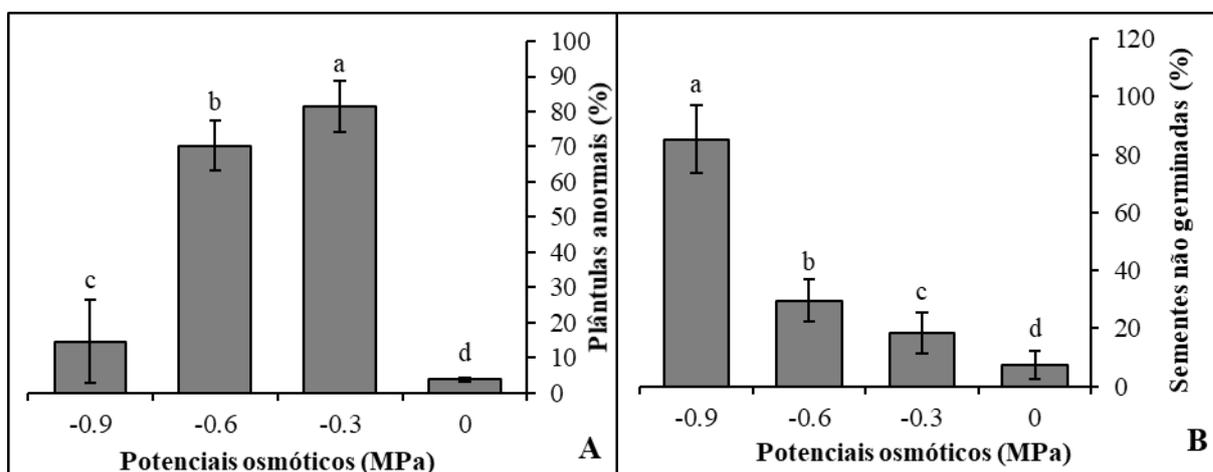
Aumento da porcentagem de plântulas anormais das sementes submetidas a deficiência hídrica em relação as sementes controle também foi encontrado por Colman et al. (2014) trabalhando com feijão caupi. A limitação hídrica durante o processo germinativo possibilitou o desenvolvimento de plântulas com alguma anormalidade: raiz principal e

seminais pequenas e fracas, parte aérea pequena ou ausente, de fraco desenvolvimento, sem plúmula estendida (LUCCHESI et al. 2018). As figuras 8, 9 e 10 em Anexo ilustram o quanto a deficiência hídrica afetou a germinação e o crescimento da raiz e parte aérea.

Os resultados obtidos para a porcentagem de sementes não germinadas mostraram diferença significativa entre as sementes estressadas submetidas aos crescentes potenciais osmóticos. Apenas 7,33% das sementes sem deficiência (potencial de 0 MPa) não germinaram, enquanto que esse percentual aumentou com os crescentes potenciais osmóticos aplicados: 18,5% para as sementes submetidas a -0,3 MPa, 29,6% para as de -0,6 MPa e 85,3% para as de -0,9MPa(Figura 5 B).

Portanto, conforme aumentou-se a severidade da deficiência hídrica imposta às sementes, maior foi a dificuldade em absorver água do meio por não haver o gradiente de  $\Psi_w$  necessário, e como resultado muitas sementes não germinaram devido a importância da água na germinação por estar relacionada a reativação da respiração, na transcrição e tradução de RNAs para a síntese de enzimas hidrolíticas responsáveis por degradar as reservas energéticas para o crescimento da plântula (NONOGAKI et al, 2010).

Figura 5 - Porcentagem de plântulas anormais (A) e de sementes não germinadas (B) de submetidas as concentrações de silicato de cálcio (0,0; 1,0 e 2,0 mM) e aos níveis de deficiência hídrica gerados potenciais osmóticos de PEG-6000 (0,0; -0,3; -0,6; -0,9 MPa).



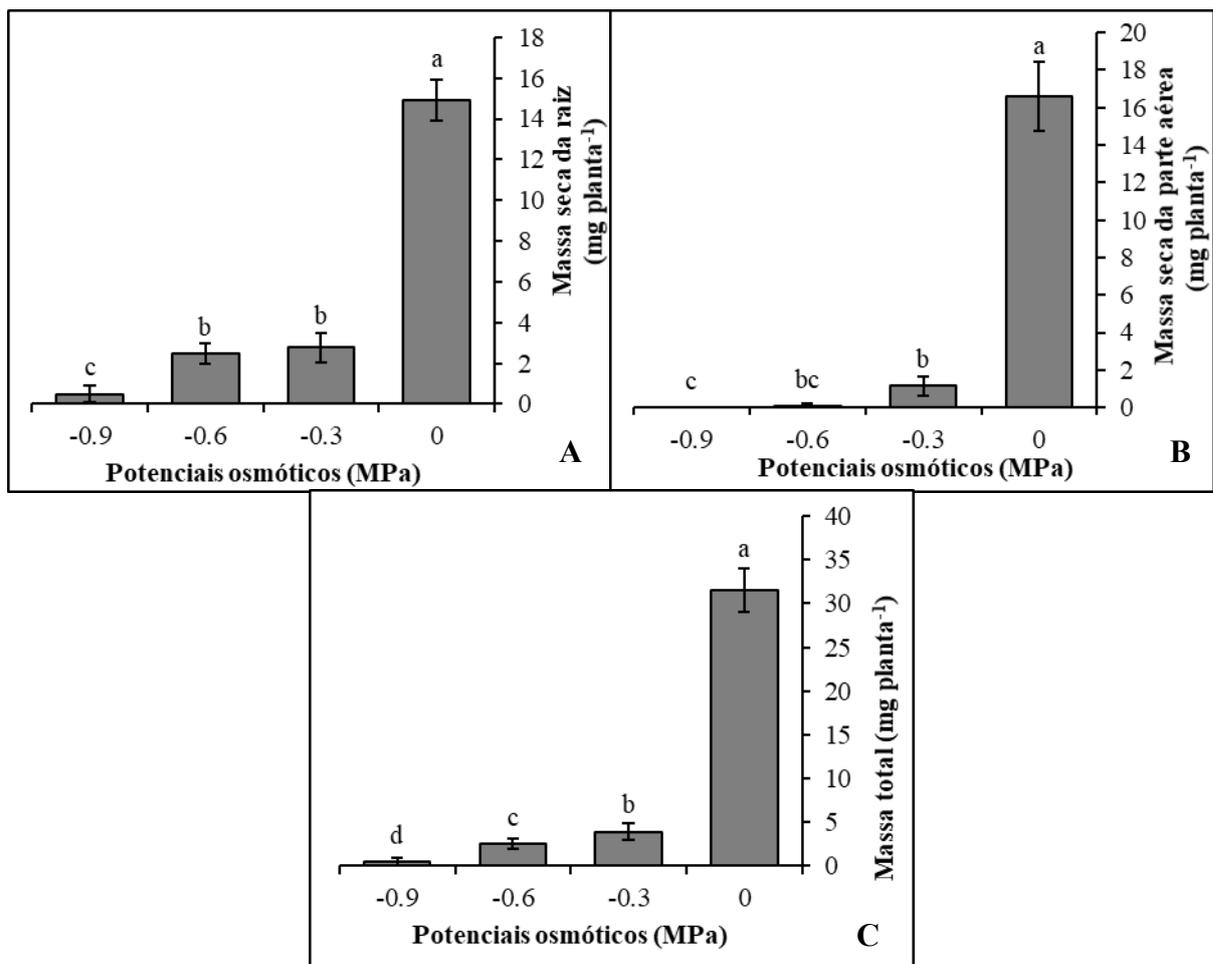
Letras minúsculas iguais não diferem entre si

A Figura 6 (A, B e C) evidencia o quanto a deficiência hídrica prejudicou a massa seca da plântula. Conforme o potencial osmótico ficou mais negativo, menor foi a produção da MSR, MSPA e MST. Houve redução da massa seca da parte aérea, da raiz e total em aproximadamente 93%, 81% e 87%, respectivamente das plântulas submetidas a deficiência em comparação as plântulas sem deficiência.

A justificativa desse resultado está relacionada a redução ou paralisação do alongamento celular como consequência da diminuição do potencial de pressão celular causado pela deficiência hídrica, afetando negativamente o crescimento de parte aérea e raiz (Figura 1 e 7A) e produção de massa vegetal (SANTOS et al., 2012). Resultados similares foram encontrados por Coelho et al. (2010) trabalhando com sementes de feijão submetidas a deficiência hídrica.

Além disso, outra justificativa baseia-se na possível produção do ABA ocasionada pela deficiência hídrica. Esse hormônio pode ter prejudicado a ação de outros hormônios vegetais como a giberelina e citocinina, que são importantes a produção de massa seca uma vez que acelera a protusão radicular, estimulam a divisão celular e a extensibilidade da parede celular para que haja crescimento vegetal (ONO et al., 2004).

Figura 6 - Massa seca da raiz (A), Massa seca da parte aérea (B) e Massa seca total (C) em plântulas de milho submetidas as concentrações de silicato de cálcio (0,0; 1,0 e 2,0 mM) e aos níveis de deficiência hídrica gerados potenciais osmóticos de PEG-6000 (0,0; -0,3; -0,6; -0,9 MPa).



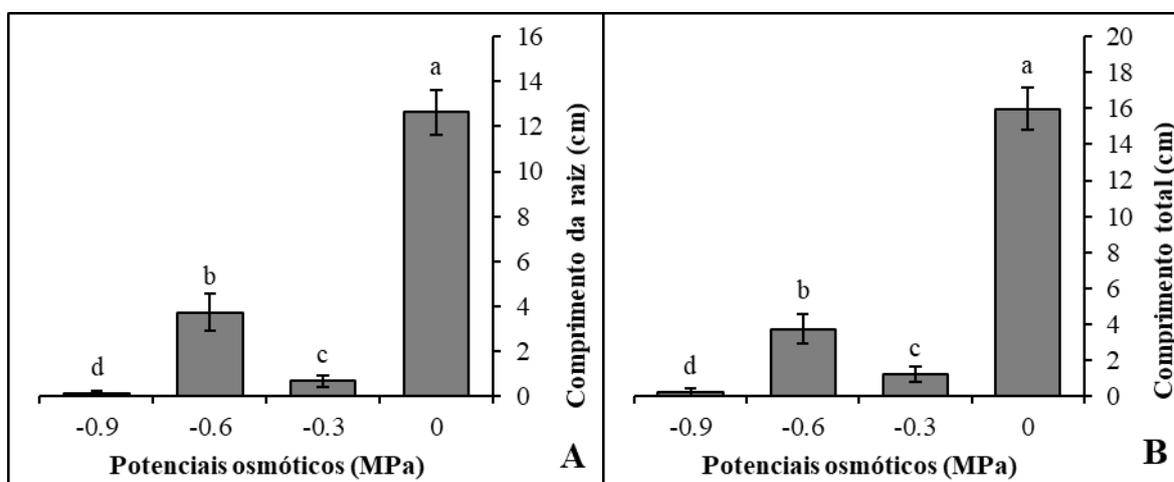
Letras minúsculas iguais não diferem entre si

Em relação ao CR e CT observou-se que os maiores resultados foram das plântulas sem deficiência hídrica (0 MPa), com 12,6 cm para CR e 15,9 cm para CT (Figura 7A e B). Seguidas das plântulas submetidas ao potencial de -0,6MPa, com 3,72 cm de CR e 3,73 cm de CT, sendo que a maioria das sementes não desenvolveram parte aérea, mas cresceram em raiz (Figura 3 e em Anexos Figuras 8, 9 e 10). As plântulas submetidas ao potencial de -0,3MPa de PEG-6000 possivelmente apresentaram CR e CT inferiores, com 0,66 cm de CR e 1,2 cm de CT, por apresentar maior crescimento da parte aérea (Figuras 8, 9 e 10, em Anexos).

Logo, possivelmente, nas plântulas submetidas ao potencial de -0,3MPa de PEG-6000, o crescimento da parte aérea competiu com o crescimento da raiz quanto a utilização das reservas energéticas da semente e água durante a germinação e desenvolvimento (OLIVEIRA et al., 2017b). Enquanto que nas plântulas submetidas a deficiência hídrica mais severa (-0,9 MPa) foi prejudicial que a maioria das sementes não germinaram ou apresentaram emissão de radícula bem pequena e comprimento nulo da parte aérea, apresentando aproximadamente 0,1 cm de CR e CT (Figuras 8, 9 e 10).

Oliveira et al. (2017b) relatam ainda que a deficiência de água durante o processo germinativo, reduz a ação de enzimas hidrolíticas importantes para a degradação das reservas energéticas das sementes (carboidratos, proteínas e lipídios). Portanto, as reações bioquímicas, relacionadas a germinação, que são realizadas por essas enzimas possivelmente foram reduzidas o que acarretou em redução do crescimento e produção de massa seca das plântulas.

Figura 7 - Comprimento da raiz (A) e Comprimento total (B) em plântulas de milho submetidas as concentrações de silicato de cálcio (0,0; 1,0 e 2,0 mM) e aos níveis de deficiência hídrica gerados potenciais osmóticos de PEG-6000 (0,0; -0,3; -0,6; -0,9 MPa).



Letras minúsculas iguais não diferem entre si

### **3.4 Conclusão**

A utilização de silicato de cálcio em sementes de milho não atenuou o estresse causado pela deficiência hídrica quanto aos parâmetros germinativos e quanto aos parâmetros de crescimento e produção de massa seca.

## REFERÊNCIAS

- AVCI, S.; ILERI, O.; KAYA, M. D. Determination of genotypic variation among sorghum cultivars for seed vigor, salt and drought stresses. **Journal of Agricultural Sciences**. v. 23, n. 3, p. 335-343, 2017.
- BEWLEY, J.D.; BLACK, M. **Seed physiology of development and germination**. 2 ed. Plenum Press, London, 1994.
- BEWLEY, J. D.; BRADFORD, K. J.; HILHORST, H. W. M.; NONOGAKI, H. **Seeds: Physiology of development, germination and dormancy**, 3<sup>a</sup> ed., 392 p., 2013.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para Análise de Sementes**. Brasília: Mapa/ACS, 399 p., 2009.
- COELHO, D. L. M.; AGOSTINI, E. A. T.; GUABERTO, L. M.; MACHADO NETO, N. B.; CUSTÓDIO, C. C. Estresse hídrico com diferentes osmóticos em sementes de feijão e expressão diferencial de proteínas durante a germinação. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 32, n. 3, p. 491-499, 2010.
- COELHO, D. S.; SIMÕES, W. L.; MENDES, A. M. S.; DANTAS, B. F.; RODRIGUES, J. A. S.; SOUZA, M. A. 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.
- COLMAN, B. A.; NUNES, C. M.; MASSON, G. L.; BARBOSA, R. H.; NUNES, A. S. Indução de tolerância ao estresse hídrico na germinação de sementes de feijão-caupi. **Comunicata Scientiae**, v.5, n.4, p.449-455, 2014.
- FARIAS, C. R. J.; DEL PONTE, E. M.; DAL MAGRO, T. PIEROBOM, C. R. Inibição de germinação de sementes de trigo e milho em teste de sanidade em substrato de papel. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 9, n. 2, p. 141 – 144, 2003.
- GAO, X.; ZOU, C.; WANG, L.; ZHANG, F. Silicon improves water use efficiency in maize plants. **Journal of Plant Nutrition**, v. 27, n. 8, p. 1457-1470, 2005.
- GHAROABI, B.; GHORBANI, M.; GHASEMI, N. M. Effects of different levels of osmotic potential on germination percentage and germination rate of barley, corn and canola. **Iranian Journal of Plant Physiology**, v. 2, n. 2, p. 413-417, 2012.
- GUEDES, R.; ALVES, E.; VIANA, J.; GONÇALVES, E.; LIMA, C.; SANTOS, S. Germinação e vigor de sementes de *Apeibatibourbou* submetidas ao estresse hídrico e diferentes temperaturas. **Ciência Florestal**, v. 23, n. 1, p. 45-53, 2013.
- HAMEED, A.; SHEIKH, M. A.; JAMIL, A.; BASRA, S. M. A. Seed priming with sodium silicate enhances seed germination and seedling growth in wheat (*Triticum aestivum* L.) under

water deficit stress induced by polyethylene glycol. **Pakistan Journal of Life and Social Sciences**, v.11, n. 1, p.19–24, 2013.

LABOURIAU, L. G. **A germinação das sementes**. Washington: Secretaria Geral da Organização dos Estados Americanos, 1983.

LUCCHESI, J. R.; BOVOLINI, M. P.; HILGERT, M. A.; BROSE, C. B.; AVRELLA, E. D.; LAZAROTTO, M. Estresse salino e hídrico na germinação e crescimento inicial de plântulas de *Toonaciliata* M. Roem. var. *australis*. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 1, p. 141-149, 2018.

MA, C. C.; LI, Q. F.; SHU, L. Z.; ZHANG, I. Y. Preliminary explanation of the mechanism about effects of silicon on maize seed germination and seedling growth. **Acta Agronomica Sinica**, v. 28, n.5, p. 665–669, 2002.

MAGUIRE, J. D. Speed of germination aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, v. 2, n. 1, p. 176–177, 1962.

MELO, A. V.; SANTOS, L. D. T.; FINOTO, E. L.; DIAS, D. C. F. S.; ALVARENGA, E. M. Germinação e vigor de sementes de milho-pipoca submetidas ao estresse térmico e hídrico. **Bioscience Journal**, v. 28, n. 5, p. 687 – 695, 2012.

NASCIMENTO, R.; MOSQUIM, P. R. Growth and protein content in soybean seeds affected by phytohormones. **Brazilian Journal of Botany**, v. 27, n. 3, p. 573 - 579, 2004.

NONOGAKI, H.; BASSEL, G. W.; BEWLEY, J. D. Germination—Still a mystery. **Plant Science**, v. 179, n. 6, p. 574-581, 2010.

OLIVEIRA, D. M.; LIMA, A. T.; ROCHA, E. A.; MEIADO, M. V. O aumento da temperatura reduz a tolerância ao estresse hídrico na germinação de sementes de *Pereskia grandifolia* Haw. subsp. *grandifolia* (Cactaceae)? **Gaia Scientia**, v. 11, n. 4, p. 26-36, 2017a.

OLIVEIRA, H.; NASCIMENTO, R.; LEÃO, A. B.; CARDOSO, J. A. F.; GUIMARÃES, R. F. B. Germinação de sementes e estabelecimento de plântulas de algodão submetidas a diferentes concentrações de NaCl e PEG 6000. **Revista Espacios**, v. 38, n.47, p. 13-30, 2017b.

ONO, E. O.; GRANA JUNIOR, J. F.; RODRIGUES, J. D. Reguladores vegetais na quebra da dominância apical de mamoeiro (*Caricacapaya* L.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 26, n. 2, p. 348-350, 2004.

PINHEIRO, C; ARAÚJO, H. T. N.; BRITO, S. F.; MAIA, M. S.; VIANA, J. S.; MEDEIROS FILHO, S. Seed priming and tolerance to salt and water stress in divergent grain sorghum genotypes. **American Journal of Plant Sciences**.v. 9, n. 4, p. 606-616, 2018.

- QUEIROZ, D. L.; CAMARGO, J. M. M.; DEDECEK, R. A.; OLIVEIRA, E. B.; ZANOL, K. M. R.; MELIDO, R. C. N. Absorção e translocação de silício em mudas de *Eucalyptus camaldulensis*. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 2, p. 632-640, 2018.
- ROOHIZADEH, G.; MAJD, A.; ARBABIAN, S. The effect of sodium silicate and silica nanoparticles on seed germination and growth in *Vicia faba* L. **Tropical Plant Research**, v. 2, n. 2, p. 85 – 89, 2015.
- SANTOS, D.; GUIMARÃES, V. F.; KLEIN, J.; FIOREZE, S. L.; MACEDO JUNIOR, E. K. Cultivares de trigo submetidas a déficit hídrico no início do florescimento, em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.8, p.836–842, 2012.
- SIDDIQUI, M. H.; AL-WHAIBI, M. H. Role of nano-SiO<sub>2</sub> in germination of tomato (*Lycopersicon esculentum* seeds Mill.). **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 21, n. 1, p. 13 – 17, 2014.
- SHI, Y.; ZHANG, Y.; YAO, H.; WU, J.; SUN, H.; GONG, H. Silicon improves seed germination and alleviates oxidative stress of bud seedlings in tomato under water deficit stress. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 78, n. 3, p. 27–36, 2014.
- STEINER, F.; ZUFFFO, A. M. Drought tolerance of four vegetable crops during germination and initial seedling growth. **Bioscience Journal**, v. 35, n. 1, p. 177-186, 2019.
- TOMAZI, Y.; BONOME, L.; SIQUEIRA, D.; MOURA, G.; FRANZENER, G. Métodos de assepsia em sementes de feijão. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 14, n. 2, p. 229 – 237, 2019.
- VIBHUTI, C. S.; BARGALI, K.; BARGALI, S. S. Seed germination and seedling growth parameters of rice (*Oryza sativa*) varieties affected by salt and water stress. **Indian Journal of Agricultural Sciences**. v. 85, n. 1, p. 102-108, 2015.
- VILLELA, F. A.; DONI FILHO, L.; SEQUEIRA, E. L. Tabela de potencial osmótico em função da concentração de polietilenoglicol 6.000 e da temperatura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 26, n. 11, p. 1957–1968, 1991.

#### 4 ANEXOS

Figura 8 - Plântulas de milho submetidas a concentração de silicato de cálcio de 0 mM e aos níveis de deficiência hídrica gerados potenciais osmóticos de PEG-6000 (0,0; -0,3; -0,6; -0,9 MPa).

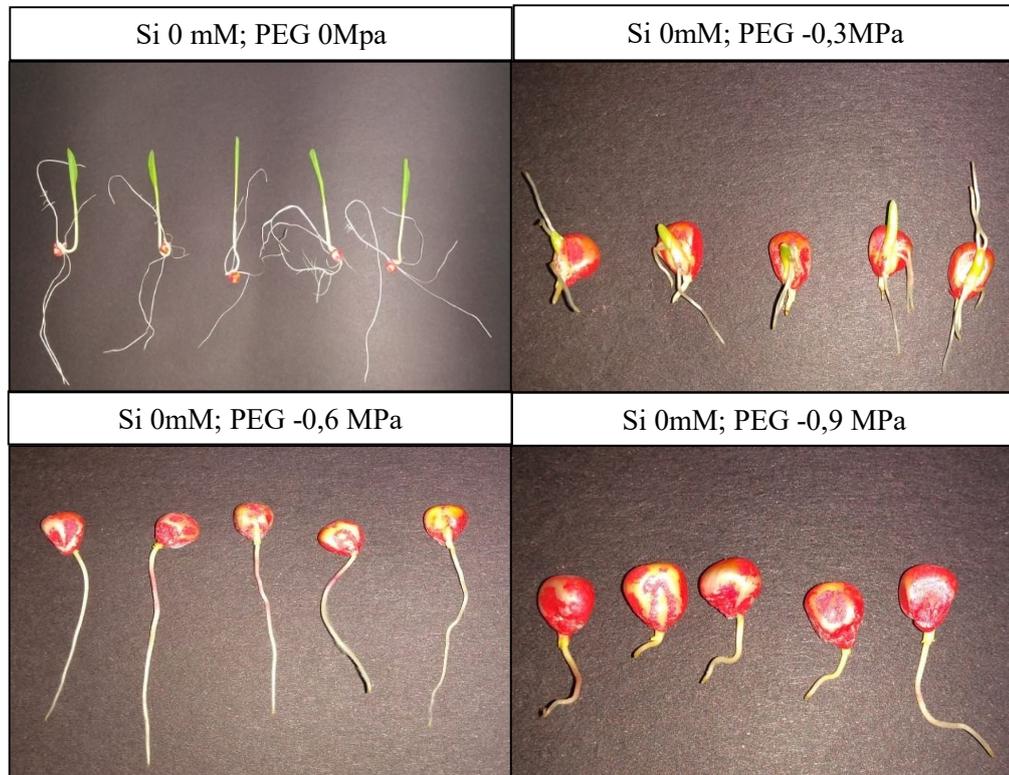


Figura 9 - Plântulas de milho submetidas a concentração de silicato de cálcio de 1 mM e aos níveis de deficiência hídrica gerados potenciais osmóticos de PEG-6000 (0,0; -0,3; -0,6; -0,9 MPa).

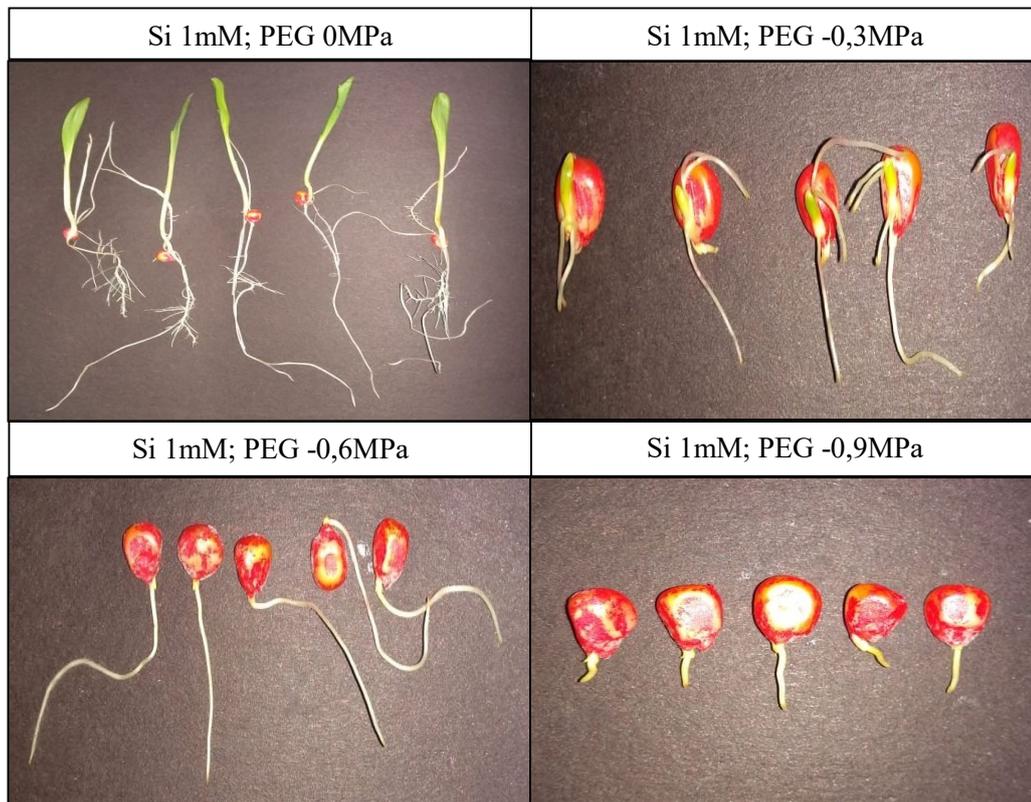


Figura 10 - Plântulas de milho submetidas a concentração de silicato de cálcio de 2 mM e aos níveis de deficiência hídrica gerados potenciais osmóticos de PEG-6000 (0,0; -0,3; -0,6; -0,9 MPa).

