

GUILHERME FONTES VALORY GAMA

**DÉFICIT HÍDRICO E SILÍCIO NA QUALIDADE DE SEMENTES DE TRIGO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2018

Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa

T

G184d Gama, Guilherme Fontes Valory, 1993-  
2018 Déficit hídrico e silício na qualidade de sementes de trigo /  
Guilherme Fontes Valory Gama. – Viçosa, MG, 2018.  
ix, 61 f. : il. ; 29 cm.

Orientador: Laércio Junio da Silva.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. *Triticum aestivum* - Semente - Qualidade. 2. Plantas -  
Relações hídrica. 3. Trigo - Semente - Efeito do silício.  
I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Fitotecnia.  
Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia. II. Título.

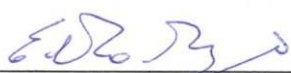
CDD 22. ed. 633.1121

GUILHERME FONTES VALORY GAMA

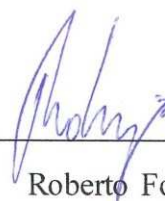
**DÉFICIT HÍDRICO E SILÍCIO NA QUALIDADE DE SEMENTES DE TRIGO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 27 de julho de 2018.



Eduardo Fontes Araújo



Roberto Fontes Araújo



Moacil Alves de Souza

(Coorientador)



Laércio Júnio da Silva

(Orientador)

Aos meus avós, Antônio Fontes e Maria da Conceição Silva Fontes.

**Dedico**

A minha mãe Aparecida Fontes Valory

Ao meu pai Écio Valory Gama

A minha irmã Daniella Fontes Valory Gama

**Ofereço.**

## AGRADECIMENTOS

A Deus por toda a força.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Fitotecnia, pela oportunidade de fazer o curso.

Ao meu orientador Prof. Laércio Junio da Silva (DFT/UFV), pela paciência, atenção e empenho dedicado.

Aos meus coorientadores Profª. Denise C. F. dos S. Dias (DFT/UFV) e Prof. Moacil Alves de Souza (DFT/UFV), pela orientação, apoio, confiança e todo o suporte na elaboração deste trabalho.

Aos amigos do Grupo de Estudos em Sementes (GSEM), pela amizade e ajuda no dia a dia.

Aos técnicos de laboratório José Custódio da Silva e Wander Douglas Pereira, por toda a ajuda.

Ao amigo Wendel Magno de Souza, pela amizade, apoio e toda ajuda na aplicação foliar do silício.

Aos meus pais Écio Valory Gama e Aparecida Fontes Valory, pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

À minha irmã Daniella Fontes Valory Gama, pela amizade e apoio nos momentos de dificuldade.

À minha namorada Maria Raquel Varino Sá Gomes pelo companheirismo durante todo o mestrado e por todo o amor.

A todos os familiares pelo constante apoio.

À empresa Lagoa Bonita Sementes por, fornecer as sementes.

As instituições de apoio a pesquisa, FAPEMIG, CAPES e CNPq, pelo fornecimento da bolsa.

A todos que, direta ou indiretamente, fizeram parte da minha formação.

**Muito Obrigado!**

## SUMÁRIO

RESUMO .....	vi
ABSTRACT .....	viii
INTRODUÇÃO GERAL .....	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	4
RESUMO .....	7
ABSTRACT .....	8
INTRODUÇÃO .....	9
MATERIAL E MÉTODOS .....	12
Cultivar de trigo .....	12
Preparo do solo .....	12
Delineamento experimental .....	13
Irrigação .....	13
Aplicação foliar de silício .....	14
Umidade do solo .....	14
Experimento I: Crescimento e produtividade de plantas de trigo cultivadas sob diferentes lâminas de irrigação e aplicação de silício via foliar .....	14
Avaliação do crescimento de plantas .....	14
Avaliação do rendimento .....	15
Experimento II: Efeito da aplicação foliar de silício e de diferentes lâminas de irrigação na qualidade fisiológica de sementes de trigo .....	15
Germinação .....	15
Primeira contagem de germinação .....	16
Condutividade elétrica .....	16
Envelhecimento acelerado .....	16
Emergência de plântulas .....	16
Crescimento de plântulas .....	16
Análise estatística .....	17
RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	18
Experimento I .....	18
Experimento II .....	25
CONCLUSÕES .....	33

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	34
RESUMO .....	42
INTRODUÇÃO .....	44
MATERIAL E MÉTODOS .....	46
Avaliação da tolerância das sementes produzidas ao estresse hídrico .....	46
Germinação.....	46
Comprimento de parte aérea e raiz de plântulas.....	47
Matéria seca de parte aérea e raiz de plântulas.....	47
Análise estatística .....	47
RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	48
CONCLUSÕES.....	57
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	58

## RESUMO

GAMA, Guilherme Fontes Valory, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2018. **Déficit hídrico e silício na qualidade de sementes de trigo**. Orientador: Laércio Junio da Silva. Coorientadores: Moacil Alves de Souza e Denise Cunha Fernandes dos Santos Dias.

O estresse hídrico durante o desenvolvimento das plantas é uma situação que pode reduzir a quantidade e a qualidade das sementes produzidas, o que já foi constatado para trigo e outras culturas agrícolas. O silício é um elemento benéfico e está relacionado ao aumento da tolerância das plantas à múltiplas situações de estresse. Este elemento atua como barreira estrutural nas folhas, aumenta a atividade do sistema antioxidante e contribui para diminuição da perda excessiva de água pela transpiração. Desta forma, o Si poderia ser uma alternativa para minimizar os efeitos causados por déficit hídrico na qualidade fisiológica das sementes produzidas por plantas sob esta condição. Este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar o crescimento e a produtividade de plantas de trigo cultivadas sob diferentes lâminas de irrigação e em resposta à aplicação foliar de silício, bem como a qualidade fisiológica e a tolerância ao déficit hídrico durante a germinação das sementes produzidas. O experimento foi realizado em campo na Universidade Federal de Viçosa. Foram utilizadas sementes da cultivar de trigo BRS 264. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, em esquema de parcela subdividida, com quatro repetições. Os tratamentos consistiram em: três lâminas de irrigação, 100, 50 e 0 % da irrigação total necessária para a cultura, que foram alocadas nas parcelas e aplicadas a partir da antese; e dois tratamentos de silício, alocados na subparcela, nas doses de 0 e 5 mM, que foram aplicados via foliar na fase de perfilhamento da cultura (25 dias após a semeadura). O crescimento das plantas foi avaliado por meio da quantificação da matéria fresca e seca e o teor de água das plantas. As sementes produzidas foram avaliadas quanto a produtividade, a qualidade física pela determinação do peso de mil sementes e peso hectolítrico; e quanto a qualidade fisiológica, por meio do teste de germinação e testes de vigor. As sementes produzidas também foram avaliadas quanto a sua tolerância ao déficit hídrico durante a germinação, por meio da condução do teste de germinação e crescimento de plântulas nos potenciais osmóticos 0,0; -0,2; -0,4; -0,6 MPa, induzidos por polietileno glicol 6000. A restrição hídrica em campo, imposta na fase de floração da cultura, não teve efeito sobre a matéria seca das plantas, que provavelmente já estava formada nesse estágio, e sobre a produtividade. A limitação hídrica reduziu o peso de mil sementes, mas não afetou sua qualidade fisiológica. O silício não influenciou o

crescimento e produtividade das plantas e a qualidade fisiológica das sementes produzidas, independentemente da lâmina de irrigação. A germinação das sementes e o crescimento das plântulas de trigo foram reduzidos pelo déficit hídrico, porém não foi observado efeito do Si e das lâminas de irrigação na tolerância delas a este estresse. A partir dos dados obtidos pode-se concluir que a restrição hídrica na fase de maturação das sementes de trigo não influenciou sua qualidade fisiológica e nem a tolerância à condição de estresse hídrico durante a germinação. O silício aplicado via foliar às plantas de trigo não teve efeito sobre a produtividade, qualidade das sementes produzidas e tolerância das sementes à condição de estresse hídrico durante a germinação.

## ABSTRACT

GAMA, Guilherme Fontes Valory, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2018. **Water deficit and silicon on wheat seed quality.** Adviser: Laércio Junio da Silva. Co-advisers: Moacil Alves de Souza and Denise Cunha Fernandes dos Santos Dias.

Water stress during plant development can reduce the quantity and quality of seeds produced, which has already been verified for wheat and other agricultural crops. Silicon is a beneficial element and is related to increased tolerance to different stress situations. This element acts as a structural barrier on leaves, increases the activity of the antioxidant system and contributes to the reduction of excessive water loss through transpiration. In this way, the Si could be an alternative to minimize the effects of water deficit on the physiological quality of the seeds produced by plants under this condition. This work was carried out with the objective of evaluating the growing and productivity of wheat plants grown under different irrigation levels and in response to foliar application of silicon, as well as the physiological quality and the tolerance to water deficit of the seeds produced during the germination. The experiment was carried out in field at the Federal University of Viçosa. The BRS 264 wheat cultivar were used. The experiment was conducted in a randomized block design, in split-plot scheme, with four replications. The treatments consisted of three irrigation levels, 100, 50 and 0% of total irrigation required for the crop, which were allocated in the plots and applied at anthesis; and two silicon treatments, allocated in the subplot, using the doses of 0 and 5 mM, which were applied via foliar in the tillering stage of the crop (25 days after sowing). Plant growth was evaluated by quantifying fresh and dry matter and water content of plants. The seeds produced was evaluated regarding productivity, physical quality by weight of 1000 seeds and hectoliter weight; and regarding physiological quality, through the germination test and vigor tests. The seeds were evaluated for their tolerance to water deficit during germination, through the test of germination and seedling growth at the osmotic potentials 0,0; -0.2; -0.4; -0.6 MPa, induced by polyethylene glycol 6000. Hydric restriction in the field, at the flowering phase of the crop, did not affect the dry matter of the plant, which was already formed at this stage, and the productivity. Water deficit reduced the weight of 1000 seeds, but did not affect their physiological quality. Silicon did not influence the growth and productivity of the plants and the physiological quality of the seeds produced, irrespective of the irrigation level. Seed germination and seedling growth are reduced by the water deficit in the seed germination phase, but no effect of Si and the irrigation levels in stress tolerance were observed. In conclusion, the water restriction in the maturation phase of

the wheat seeds did not influence its physiological quality nor the tolerance to water stress condition during germination. Leaf silicon application into wheat plants had no effect on yield, seed quality and seed tolerance to water stress during germination.

## INTRODUÇÃO GERAL

O trigo (*Triticum aestivum* L.), pertencente à família Poaceae, é um cereal cultivado em diversos ambientes e regiões geográficas. É uma cultura de extrema importância na dieta alimentar devido à qualidade e quantidade de suas proteínas e pela diversidade de produtos derivados. Seu uso na alimentação humana é amplo, sendo utilizado na forma de farinha ou grão laminado em produtos forneados, produção de massas, agente espessante e na composição de cereais matinais, além de ter aplicação em produtos não alimentícios. O trigo enquadra-se como o segundo cereal de maior produção no mundo. A cultura ocupa cerca de 17% da área cultivada e representa 30% da produção mundial de grãos. Na safra de 2017, a produção média aproximada foi de 750,44 milhões de toneladas de grãos (USDA, 2018).

No Brasil, a produção de trigo concentra-se na região sul, que é responsável por mais de 90% da quantidade produzida no país. Isso se deve às questões culturais e climáticas, que fazem com que os cultivos se restrinjam a essa região (Mori, 2015; Condé et al., 2010a; Gutkoski et al., 2007).

A seca, além de reduzir significativamente o rendimento das lavouras, limita os locais e os solos onde as diferentes espécies de importância comercial poderiam ser conduzidas (Nogueira et al., 2001). Durante vários anos, em regiões como o norte e oeste do Paraná, o sudeste de São Paulo e o sul do Mato Grosso do Sul, constatou-se o cultivo de trigo sob condições de deficiência hídrica, que ocasionavam perdas totais em alguns anos (Embrapa, 1981). Na região do cerrado brasileiro, a cultura pode sofrer déficit hídrico desde estádios iniciais de estabelecimento e perfilhamento, até estádios finais, pelo término do período de chuva (Condé et al., 2013b).

Esse tipo de estresse afeta diretamente o crescimento, o desenvolvimento e a translocação de fotoassimilados nas plantas. Afeta o processo de fotossíntese e influencia a deposição de matéria seca, a disponibilidade de CO<sub>2</sub> e os processos de alongação celular (Fancelli e Dourado-Neto, 2000). A indisponibilidade de água também afeta a quantidade e qualidade das sementes produzidas pelas plantas (Crusciol et al., 2001).

O efeito do déficit hídrico na redução da qualidade fisiológica das sementes já foi relatado em trigo. Eskandari e Alizadeh-Amraie (2017) encontraram redução na porcentagem de germinação, peso seco de plântulas, peso de mil sementes e aumento na condutividade elétrica de sementes de trigo produzidas em plantas cultivadas com

irrigação reduzida, realizada apenas na zona da raiz, comparada com plantas irrigadas de forma convencional.

Em estudo com arroz de terras altas Crusciol et al. (2001), avaliando a produção e qualidade fisiológica das sementes, concluíram que a menor disponibilidade hídrica reduziu a produtividade e a qualidade fisiológica das sementes.

Freitas et al. (2013) verificaram que sementes de feijão-caupi provenientes de plantas submetidas a estresse hídrico apresentaram menor qualidade fisiológica, porém, foram maiores e mais pesadas. Ainda, as plantas sob estresse, após o florescimento, produziram menor quantidade de sementes.

Na cultura do gergelim, Silva et al. (2016), após submeterem as plantas ao estresse hídrico em diferentes fases fenológicas, concluíram que as sementes produzidas tiveram menor qualidade fisiológica, ao passo que o estresse hídrico nos períodos compreendidos da germinação ao início do crescimento vegetativo e da floração à formação dos frutos foi mais prejudicial à cultura.

De acordo com o observado por Guarçoni et al. (2001), em estudo com cinco populações de milho, o déficit hídrico também gerou redução na qualidade fisiológica das sementes, que foram produzidas sob tratamentos de estresse a partir do florescimento, associados à alta saturação por alumínio, e avaliadas durante o armazenamento. Esses autores relataram redução da qualidade fisiológica das sementes em três das cinco populações estudadas em cultivo não irrigado e sem correção do solo, com reduções de germinação a partir dos 30 dias após o armazenamento e do vigor, avaliado pelo teste de envelhecimento acelerado, aos 90 dias de armazenamento.

Dentre as estratégias para atenuar os efeitos da deficiência hídrica encontra-se a utilização do silício (Si). Os benefícios da nutrição com Si nas plantas incluem o aumento do crescimento e rendimento, a melhoria das propriedades mecânicas da planta, a redução da transpiração, os efeitos sobre as atividades enzimáticas, a maior resistência aos agentes patogênicos, além de resistência ao estresse por seca, salinidade e às toxicidades metálicas (Marafon e Endres, 2013).

O efeito do Si para as plantas já foi relatado em diversos estudos com diferentes espécies, e está ligado ao aumento da tolerância das plantas a múltiplos estresses. Sua principal forma de absorção no solo é o ácido monossilícico ( $H_4SiO_4$ ) (Marafon e Endres, 2013; Meena et al., 2014), feita via sistema radicular, e então, transportado, via xilema,

para ser acumulado nas folhas e colmos. Nesses órgãos, o Si forma uma dupla camada estrutural de sílica ( $\text{SiO}_2$ ) com a cutícula das células (Camargo, 2016). Este elemento também está envolvido em diversas atividades metabólicas e fisiológicas, principalmente em plantas submetidas a diferentes tipos de estresses (Liang et al., 2007; Sacala, 2009), devido a reduzir a perda excessiva de água pelo processo de transpiração, e estar envolvido na indução de enzimas do sistema antioxidativo.

O Si também tem efeito benéfico na qualidade das sementes de algumas espécies. Em trigo, este elemento, aplicado via hidrocondicionamento com soluções de silicato de sódio nas sementes, foi responsável por aliviar o estresse hídrico por polietileno glicol na germinação e no crescimento inicial das plântulas (Hameed et al. 2013); resultou no incremento do número, peso hectolítrico e rendimento de sementes quando aplicado via solo anteriormente à semeadura em vaso (Tavares et al., 2014); aumentou a massa das sementes, com aplicação foliar nas plantas, nos estádios de perfilhamento, diferenciação de gemas florais e florescimento (Toledo et al., 2012). Em outras culturas, o efeito do silício foi constatado em soja por Harter e Barros (2011), de forma que plantas fertilizadas via foliar com o elemento produziram sementes com maior qualidade fisiológica. Em sorgo também foi verificada melhoria na qualidade fisiológica das sementes com a fertilização foliar com silício (Lessa et al., 2017).

Neste sentido, o objetivo do trabalho foi avaliar o crescimento e a produtividade de plantas de trigo cultivadas sob diferentes lâminas de irrigação e em resposta à aplicação foliar de silício, bem como a qualidade fisiológica e tolerância ao estresse hídrico das sementes produzidas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAMARGO, M. S. Efeito do silício na tolerância das plantas aos estresses bióticos e abióticos, *Informações Agronômicas*, Piracicaba-SP, n. 155, p. 1-8, 2016.
- CONDÉ, A.B.T.; ANDRADE, A.T.; MARTINS, F.A.D.; SOBRINHO, J.S.; MORESCO, E. R.; CAIXETA, C. G. Trigo tropical. **Informe Agropecuário**. Belo Horizonte, v.34, n.274, p.24-29, 2013b.
- CONDÉ, A.B.T.; COELHO, M.A.O.; YAMANAKA, C.H.; CORTE, H.R. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de trigo sob cultivo de sequeiro em Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.40, n.1, p.45-52, 2010a.
- CRUSCIOL, C.A.C.; ARF, O.; ZUCARELI, C.; SÁ, M.E.; NAKAGAWA, J. Produção e qualidade fisiológica de sementes de arroz de terras altas em função da disponibilidade hídrica. **Revista Brasileira de Sementes**, v.23, n.2, p.287-293, 2001.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Departamento Técnico-Científico, Brasília, DF). Programa Nacional de Pesquisa de Trigo. Brasília: EMBRAPA-DID, 1981. 100p.
- ESKANDARI, H.; ALIZADEH-AMRAIE, A. Evaluation of seed quality of wheat (*Triticum aestivum*) under water limitation induced by a partial root-zone irrigation regime. **Seed Science and Technology**, v.45, n.1, p.248-251, 2017.
- FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. Ecofisiologia e fenologia. In: FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. Produção de milho. Guaíba: Agropecuária, 2000. p. 21- 54.
- FREITAS, R.M.O.D.; TORRES, S.B.; NOGUEIRA, N.W.; LEAL, C.C.P.; FARIAS, R.M.D. Cowpea seeds quality and yield according to cropping systems and hydric stress. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.43, n.4, p.370-376, 2013.
- GUARÇONI, R.C.; DURÃES, F.O.M.; MAGALHÃES, P.C.; SILVA, R.F. Efeito do armazenamento na qualidade fisiológica das sementes de populações de milho cultivadas sob estresses hídrico e mineral. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, n.12, p.1479-1484, 2001.
- GUTKOSKI, L.C.; KLEIN, B.; PAGNUSSATT, F.A.; PEDÓ, I. Características tecnológicas de genótipos de trigo (*Triticum aestivum* L.) cultivados no cerrado. **Ciência e Agrotecnologia**, v.31, p.786-792, 2007.

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, p.19-24, 2013.

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

LESSA, B.F.T.; DUTRA, A.S.; SILVA, T.M.; SANTOS, C.C.; SOUSA, W.N. Physiological maturation in seeds of sweet sorghum for foliar fertilisation with silicate. **Revista Caatinga**, v.30, n.3, p.718-729, 2017.

LIANG, Y.; SUN, W.; ZHU, Y.G.; CHRISTIE, P. Mechanisms of silicon-mediated alleviation of abiotic stresses in higher plants: a review. **Environmental pollution**, v.147, n.2, p.422-428, 2007.

MARAFON, A.C.; ENDRES, L. Silicon: fertilization and nutrition in higher plants. **Revista. Ciência. Agrária**, v.56, n.4, p.380-388, 2013

MEENA, V.D.; DOTANIYA, M.L.; COUMAR, V.; RAJENDIRAN, S.; KUNDU, S.; RAO, A.S. A case for silicon fertilization to improve crop yields in tropical soils. **Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences**, v.84, n.3, p.505-518, 2014.

MORI, C. Aspectos econômicos da produção e utilização. In: BORÉM, A.; SCHEEREN, P. L. (Ed.). **Trigo: do plantio à colheita**. Viçosa, MG: Ed. UVF, 2015. p. 11-34.

NOGUEIRA R.J.M.C.; MORAES J.A.P.V.; BURITY H.A. Alterações na resistência à difusão de vapor das folhas e relações hídricas em aceroleiras submetidas a déficit de água. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.13, n.1, p.75-87, 2001.

SACALA, E. Role of silicon in plant resistance to water stress. **Journal of Elementology**, v.14, n.3, p.619-630, 2009.

SILVA, R.T.D.; OLIVEIRA, A.B.D.; LOPES, M.D.F.D.Q.; GUIMARÃES, M.D.A.; DUTRA, A.S. Physiological quality of sesame seeds produced from plants subjected to water stress. **Revista Ciência Agronômica**, v.47, n.4, p.643-648, 2016.

TOLEDO, M.Z.; CASTRO, G.S.A.; CRUSCIOL, C.A.C.; SORATTO, R.P.; CAVARIANI, C.; ISHIZUKA, M.S.; PICOLI, L. B. Aplicação foliar de silício e

qualidade fisiológica de sementes de aveia-branca e trigo. **Semina: Ciências Agrárias**, v.33, n.5, p.1693-1702, 2012.

USDA. United States Department of Agriculture. Foreign Agricultural Service. **Databases:** production, supply and distribution online. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.htm#/app/advQuery>, 2018.

## RESUMO

### **Capítulo I. Efeito da aplicação foliar de silício no crescimento das plantas de trigo e na qualidade fisiológica de suas sementes sob diferentes lâminas de irrigação.**

O déficit hídrico é uma condição que afeta o crescimento e o desenvolvimento das plantas e, conseqüentemente, a qualidade fisiológica das sementes produzidas. O silício (Si) é um elemento que tem se mostrado efetivo em reduzir os efeitos de múltiplos estresses, dentre eles o estresse por seca. O trigo, assim como outras culturas pertencentes à família Poaceae, apresenta absorção ativa de Si. Assim, são observados vários efeitos benéficos quando as plantas são fertilizadas com esse elemento. Neste trabalho objetivou-se avaliar a produtividade e a qualidade fisiológica de sementes de trigo em resposta à aplicação foliar de silício e produzidas sob diferentes lâminas de irrigação. Para a instalação do experimento em campo foi utilizada a cultivar de trigo BRS 264. A indução dos níveis de déficit hídrico foi realizada por meio do fornecimento de diferentes lâminas de irrigação por um sistema de gotejamento. As lâminas foram definidas por meio da quantificação da Irrigação Total Necessária (ITN) para a cultura. Os tratamentos de irrigação foram: 100 % da ITN (controle), 50 % da ITN e 0 % da ITN. Os tratamentos de diferentes estresses de água foram aplicados após a antese (aos 25 dias após a semeadura). Para a aplicação foliar de silício foi utilizado o produto Supra Sílica ® como fonte de silicato de potássio, equivalente à concentração de 5 mM de SiO<sub>2</sub>. O experimento foi conduzido em delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições, em esquema de parcelas subdividas. As lâminas de irrigação foram alocadas nas parcelas e as doses de 0 e 5 mM de Si nas subparcelas. Foram determinadas as variáveis: matéria seca e fresca de planta, produtividade de sementes, peso de mil sementes, peso hectolítrico, germinação, primeira contagem de germinação, comprimento e matéria seca da parte aérea e raiz de plântulas. O déficit hídrico afetou a matéria fresca da planta, o teor de água e o peso de mil sementes, que foram reduzidos na menor lâmina de irrigação (0 % da ITN). A qualidade fisiológica das sementes não foi afetada pelo déficit hídrico e pela aplicação foliar de Si. Assim, a redução da umidade do solo imposta no presente experimento, apesar de ter provado redução no peso das sementes, não foi suficiente para prejudicar a sua qualidade fisiológica, o que pode ter prejudicado a observação do efeito favorável do silício.

## ABSTRACT

### **Chapter I. Effect of foliar application of silicon on the growth of wheat plants and the physiological quality of their seeds under the different irrigation layers.**

The water deficit is a condition that affects the growth and development of the plants and, consequently, the physiological quality of the seeds produced. Silicon (Si) is an element that has been effective in reducing the effects of multiple stresses, among them drought stress. Wheat, as well as other crops belonging to the family Poaceae, exhibits active absorption of Si. Thus, several beneficial effects are observed when the plants are fertilized with this element. The objective of this study was to evaluate the productivity and physiological quality of wheat seeds in response to silicon foliar application and produced under different irrigation levels. For the installation of the field experiment, the wheat cultivar BRS 264 was used. The induction of the water deficit levels was performed through the supply of different irrigation levels by a drip system. The irrigation levels were defined by quantification of Total Necessary Irrigation (ITN) for the crop. The irrigation treatments were: 100% of ITN (control), 50% of ITN and 0% of ITN. The treatments of different water stresses were applied after the anthesis. For the foliar application of silicon, the product Supa Silica ® was used as a source of potassium silicate, equivalent to the concentration of 5 mM of SiO<sub>2</sub>. The experiment was conducted in a randomized block design, with four replications, in a split-plot scheme. Irrigation levels were allocated in the plots and doses of 0 and 5 mM of Si in the subplots. The following variables were determined: fresh and dry matter of plants, seed yield, weight of 1000 seeds, hectoliter weight, germination, first germination count of germination, shoot and root length and dry matter of shoot and root. The water deficit affected the fresh matter of the plant, water content and the weight of 1000 seeds, which were reduced in the lowest irrigation level (0% of ITN). The physiological quality of the seeds was not affected by the water deficit and foliar application of Si. Thus, the reduction of soil moisture imposed in the present experiment, despite proving a reduction in seed weight, was not enough to impair its physiological quality, which may have prevented the observation of favorable effect of silicon.

## INTRODUÇÃO

A deficiência hídrica é responsável por causar efeitos significativos nas plantas, por reduzir a turgescência das células e alterar processos fisiológicos (Taiz e Zeiger, 2004). O déficit hídrico afeta a atividade dos estômatos, causando o seu fechamento e um bloqueio da difusão de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). Esses efeitos terão consequências negativas sobre os processos de transpiração, fotossíntese e assimilação de compostos carbonados que serão destinados a formarem as reservas das sementes (Kumar et al., 1994; Vieira et al., 2013).

A falta de água afeta de maneira distinta a cultura do trigo em cada estágio de desenvolvimento (Sarto et al., 2017). Quando incide na fase inicial, a falta de água pode afetar o número e a densidade de plantas. Contudo, esses autores destacam o estágio de florescimento como o mais sensível para a cultura do trigo a esse tipo de estresse. De maneira geral, o déficit hídrico, durante as fases reprodutivas e de enchimento de grãos é responsável por afetar o rendimento (Farooq et al., 2014), fato atribuído a diversos fatores, como os danos oxidativos no aparato fotossintético das plantas (Farooq et al., 2009), a rápida taxa de senescência das folhas (Yang et al., 2003), as reduzidas atividades de fixação e assimilação de carbono (Asada, 2006), a esterilidade polínica (Cattivelli et al., 2008), dentre outros.

O efeito do déficit hídrico em períodos reprodutivos do trigo já foi relatado por Eskandari e Kazemi (2010) e Majid et al. (2007), em estresse pós antese, com reduções de rendimento de até 38%. Ainda, Shamsi et al. (2010) observaram reduções de 31% no rendimento da cultura sob estresse ocorrido entre as fases de enchimento de grãos e de maturação.

No processo de fotossíntese ocorre a formação de fotoassimilados, como os açúcares, que são transportados das folhas para as áreas de crescimento e armazenamento, como as sementes em formação, onde serão metabolizados para formação de novas células, tecidos e futuro material de reserva. Todo o transporte desse material fotossintetizado é dependente de adequado teor de água na planta, fazendo com que ocorra a sua translocação e deposição nos tecidos de reservas, durante o processo de formação das sementes (Bewley et al., 2013).

Bergonci et al. (2001) sugerem que plantas deficientes em água podem apresentar insuficiência de assimilados para manter o seu crescimento e, consequentemente, influencia na quantidade e qualidade das sementes produzidas, já que o déficit hídrico

pode reduzir o tempo de polinização pela inibição do alongamento do estilete e retardamento na emergência dos estigmas. O desenvolvimento e o peso dos grãos também podem ser afetados pela redução da fotossíntese, pois a menor produção de carboidratos implica na menor quantidade de matéria seca acumulada, afetando assim a germinação e vigor dessas sementes (Embrapa, 1993).

O estresse hídrico afeta o crescimento e o desenvolvimento das plantas (Nawaz et al., 2012; Sikuku et al. 2012) e, conseqüentemente, a qualidade fisiológica das sementes produzidas. Ghassemi-Golezani et al. (2012a) relataram redução significativa na qualidade de sementes de soja produzidas sob estresse hídrico nos estádios reprodutivos, principalmente no estágio de enchimento de grãos.

Em trigo e triticale, o estresse hídrico foi responsável por afetar o peso dos grãos, devido à senescência precoce das plantas (Royo et al., 2000; Nayyar e Walia, 2004; Nawaz et al., 2012). Além disso, Eskandari e Alizadeh-Amraie (2017) encontraram redução na qualidade das sementes em função da irrigação parcial na zona da raiz, em comparação com irrigação convencional, e recomendam que, para obtenção de sementes de alta qualidade fisiológica, a cultura não deve sofrer limitação de água durante o período de formação e desenvolvimento das sementes.

Um importante elemento químico para as plantas é o silício (Si). Segundo Ma et al. (2004), o Si não é considerado elemento essencial para as plantas, mas enquadra-se como benéfico. Seu efeito se dá por atenuar diversos tipos de estresses abióticos, entre eles o estresse por seca, por salinidade e por metais pesados. Diferentes autores já verificaram o efeito do silício em diversas culturas sob estresse hídrico, como em arroz (Mauad et al., 2016), trigo (Gong et al., 2005), batata (Crusciol et al., 2009; Pilon et al., 2014) e sorgo (Hattori et al., 2005).

De acordo com Rains et al. (2006), o trigo, assim como o arroz e a cevada, é uma cultura que apresenta absorção ativa do Si. Culturas pertencentes à família Poaceae, como o trigo, tem diversos benefícios quando fertilizadas com silício. O silício é depositado na parede celular dos órgãos dessas plantas, como por exemplo nas folhas, e atua como mecanismo de tolerância em situação de seca, pela diminuição da transpiração (Ma e Yamaji, 2006; Melo et al., 2003; Tavares et al., 2014).

O silício tem importância no aumento do crescimento e produção vegetal, por meio de efeitos indiretos, como folhas mais eretas, diminuição do auto-sombreamento, maior rigidez estrutural dos tecidos e redução do acamamento na cultura do trigo (Sarto

et al., 2014). Além disso, promove proteção contra estresses tanto abióticos, como frio, salinidade, redução dos efeitos tóxicos de ferro, manganês e alumínio (Ma e Takahashi, 1991), bem como estresses bióticos, atuando na proteção contra patógenos e insetos fitófagos (Epstein, 1994; Marschner, 1995).

Assim, o fornecimento do Si às plantas de trigo poderia ser alternativa na atenuação dos efeitos do estresse hídrico na produção e, conseqüentemente, poderia contribuir para a manutenção da qualidade fisiológica das sementes produzidas nessa condição. Contudo, são poucos os estudos que correlacionam a utilização de silício com a qualidade de sementes produzidas em condições adversas, como o estresse hídrico.

Diante do que foi apresentado, objetivou-se neste trabalho avaliar a produtividade das plantas e a qualidade fisiológica de sementes de trigo produzidas sob diferentes lâminas de irrigação e aplicação foliar de Si.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no campo experimental Diogo Alves de Melo, pertencente ao Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa (DFT/UFV), localizado no município de Viçosa - MG (20° 45'S, 42° 15'W, a 650 m de altitude). O clima do local é classificado como Cwa, subtropical e apresenta regime pluviométrico anual médio de 1200 mm.

### Cultivar de trigo

Para condução da pesquisa foi utilizada a cultivar de trigo BRS 264, recomendada para o cultivo irrigado em Minas Gerais, Goiás, Bahia, Mato Grosso e Distrito Federal, locais com altitude superior a 500 m. A cultivar possui como principais características precocidade e o bom rendimento de grãos. Possui ciclo médio, atingindo o espigamento aos 50 dias após emergência e maturação aos 110 dias; é classificada como Trigo Pão e possui peso hectolétrico médio de 80 kg hl<sup>-1</sup> (Albrecht et al., 2006).

### Preparo do solo

O solo destinado ao experimento foi caracterizado química e fisicamente (Tabelas 1 e 2) e preparado de forma convencional. A correção da acidez e a adubação foram feitas de acordo com a análise de solo, que foi interpretada e a quantidade de corretivo e fertilizante recomendada conforme Ribeiro et al. (1999).

**Tabela 1.** Análise química do solo do local do cultivo.

pH	P	K	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	Si
H <sub>2</sub> O	mg/dm <sup>3</sup>		cmol/dm <sup>3</sup>			mg/kg
6,3	54,5	210	2,7	1,0	0	9,27
H+ Al	SB	CTC (t)	CTC (T)	V	m	
cmol/dm <sup>3</sup>		cmol/dm <sup>3</sup>				
3,0	4,2	4,2	7,2	59	0	

pH em água, KCl e CaCl - Relação 1:2,5. P - K - Extrator Mehlich 1. Ca - Mg - Al - Extrator: KCl - 1 mol/L. Si - Extrator: Cloreto de cálcio 0,01mol/L. H + Al - Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L - pH 7,0. SB = Soma de Bases Trocáveis. CTC (t) - Capacidade de Troca Catiônica Efetiva. CTC (T) - Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0. V = Índice de Saturação de Bases. m = Índice de Saturação de Alumínio.

**Tabela 2.** Análise granulométrica e classificação textural do solo do local do cultivo.

Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)	Classificação textural	Tipo de solo
34	21	45	Franco-argilosa	Textura média

### **Delineamento experimental**

O experimento foi conduzido em delineamento em blocos casualizados, em esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições. Nas parcelas foram alocadas três lâminas de irrigação e nas subparcelas os dois tratamentos de Si. Cada parcela foi constituída por cinco linhas de 10 m de comprimento e manteve-se espaço de 1 m entre as parcelas. Foram consideradas úteis as três linhas centrais e como bordadura foi utilizado 20 cm nas laterais e nas extremidades das parcelas.

### **Irrigação**

O sistema de irrigação utilizado foi o de gotejamento, com sua vazão mensurada previamente a cada irrigação por meio da média de água coletada pelo número de gotejadores durante um minuto. Com os dados, foi calculada a intensidade de irrigação em mm hora<sup>-1</sup>. Para o manejo da irrigação foi utilizado o modelo de Penman-Monteith-FAO 56 (Allen et al., 1998) para estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>0</sub>). A irrigação real necessária (IRN) foi calculada por meio do balanço hídrico do sistema, com as informações sobre a entrada (irrigação + precipitação) e saída (evapotranspiração da cultura - ET<sub>c</sub>) de água. Para o cálculo da ET<sub>c</sub> foi utilizada a seguinte equação, proposta por Allen et al. (1998):

$$ET_c = ET_0 \times K_c$$

Em que: ET<sub>c</sub> - evapotranspiração da cultura em mm dia<sup>-1</sup>;

ET<sub>0</sub> - evapotranspiração de referência em mm dia<sup>-1</sup>;

K<sub>c</sub> - coeficiente da cultura, adimensional.

Para o cálculo da lâmina de água a ser aplicada foi utilizada a quantificação da irrigação total necessária (ITN) para a cultura, que se baseia na razão entre a IRN e a eficiência de aplicação do sistema de irrigação adotado. As plantas durante todo o experimento foram irrigadas em turno de quatro dias. Até o evento de antese, quando 50 % das plantas em todo o campo se encontravam com as anteras abertas, todas as plantas foram irrigadas com 100% da ITN. A partir da antese, as plantas foram submetidas aos seguintes tratamentos de irrigação: 100 % da ITN (controle), 50 % da ITN e 0 % da ITN.

Os valores de Kc, conforme obtidos por Libardi e Costa (1997), utilizados para cada fase da cultura foram: estabelecimento, 0,29; perfilhamento, 0,36; emborrachamento, 0,79; floração, 1,11; formação de grãos, 1,16; e maturação, 0,45.

Por meio da Estação Meteorológica de Observação de Superfície Automática de Viçosa-MG, com acesso pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), foram obtidos os dados de temperatura (°C), umidade relativa (%), ponto de orvalho (°C), pressão (hPa), velocidade do vento (m.s<sup>-1</sup>), radiação (kJm<sup>2</sup>) e precipitação (mm).

### **Aplicação foliar de silício**

A aplicação foliar de silício foi realizada nas plantas da metade de cada parcela (subparcelas), quando estas estavam no estágio de perfilhamento (25 dias após a semeadura). Como fonte de silício foi utilizado o produto comercial Supa Sílica® (Silicato de potássio - K<sub>2</sub>SiO<sub>2</sub>), com 25,7% de SiO<sub>2</sub> e 12,23% K<sub>2</sub>O. Os tratamentos de silício se deram em duas doses do elemento, 0 mM e 5 mM de silício. A aplicação foi feita com auxílio de um sistema composto de um cilindro pressurizado com CO<sub>2</sub> e barra com duas pontas do tipo TT 11002 que proporcionou pressão constante de 3 bar e volume de calda de 260 L ha<sup>-1</sup>.

### **Umidade do solo**

Durante o período de aplicação da restrição hídrica, com início na antese e nas fases de floração, formação de grãos, enchimento de grãos e maturação, foi realizado o monitoramento da umidade do solo por meio da coleta de amostras de solo nas parcelas com as diferentes lâminas de irrigação. O teor de água do solo foi determinado usando o método gravimétrico padrão, utilizando-se estufa a 105-110 °C durante 24 horas, pela relação entre a massa de água e a massa de solo seco (Klein, 2008).

## **Experimento I: Crescimento e produtividade de plantas de trigo cultivadas sob diferentes lâminas de irrigação e aplicação de silício via foliar**

### **Avaliação do crescimento de plantas**

Ao final do ciclo da cultura, no momento da colheita, foi realizada a quantificação das variáveis: matéria fresca, matéria seca e teor de água das plantas de trigo, excluindo-se as espigas. Para essas análises foi selecionada uma área de 0,6 m<sup>2</sup> dentro de cada tratamento de silício (subparcelas). A parte aérea das plantas, composta de folhas e

colmos, foi coletada, as espigas destacadas e armazenadas separadamente. As amostras foram pesadas e em seguida foram secas em estufa com circulação de ar forçada, a 70 ° C por um período de 48 horas. Após este período as amostras foram novamente pesadas e realizada a determinação das variáveis de crescimento.

### **Avaliação do rendimento**

Após a colheita manual, as espigas foram debulhadas com auxílio de uma trilhadora experimental. As sementes foram secas naturalmente até 12% de umidade e foram quantificados o peso de mil sementes, o peso hectolítrico e a produtividade. O peso de mil sementes foi determinado a partir de oito repetições de 100 sementes, pesadas em balança com precisão de 0,001g. Os cálculos foram efetuados conforme as Regras para Análise de Sementes (Brasil, 2009) e os resultados expressos em miligramas. O peso hectolítrico, expresso em quilos por hectolitro ( $\text{kg HL}^{-1}$ ), foi determinado com o uso de uma balança de massa específica, de acordo com a metodologia descrita nas Regras para Análise de Sementes (Brasil, 2009). A produtividade foi determinada pesando-se as sementes colhidas nas três linhas centrais de cada unidade experimental, estimando-se a mesma em  $\text{kg ha}^{-1}$ .

### **Experimento II: Efeito da aplicação foliar de silício e de diferentes lâminas de irrigação na qualidade fisiológica de sementes de trigo**

O segundo experimento foi conduzido no Laboratório de Pesquisa de Sementes do Departamento de Fitotecnia (DFT), da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG. As sementes produzidas no experimento I foram submetidas aos seguintes testes para determinar a sua qualidade fisiológica:

#### **Germinação**

Para o teste de germinação foram utilizadas quatro repetições de 50 sementes, colocadas em rolos de papel toalha umedecidos na proporção de 2,5 vezes o peso do papel seco. Os rolos foram acondicionados em germinador do tipo “*Mangelsdorf*”, à temperatura de 20° C. As avaliações consistiram na contagem do número de plântulas normais no 4 ° e 8° dia após a montagem do teste (Brasil, 2009). Os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas normais.

### **Primeira contagem de germinação**

Foi conduzido em conjunto com o teste de germinação e consistiu na porcentagem de plântulas normais no quarto dia após a semeadura (Brasil, 2009).

### **Condutividade elétrica**

O teste foi conduzido com quatro repetições de 50 sementes, previamente pesadas e colocadas em copos plásticos contendo 75 mL de água destilada e mantidas em germinador à temperatura de 25 °C por 8 horas. Decorrido este período, a condutividade elétrica (CE) da solução foi medida pela leitura em condutivímetro Digimed DM32 e os dados obtidos expressos em  $\mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$ .

### **Envelhecimento acelerado**

O teste de envelhecimento acelerado foi realizado com quatro repetições de 50 sementes, que foram colocadas em caixas do tipo *gerbox*. As sementes foram dispostas sobre uma tela metálica e no fundo foram adicionados 40 mL de água destilada. As caixas foram acondicionadas em câmara tipo “Biological Organism Development” (BOD), à 43 °C, durante 48 horas (Fanan et al., 2006). Em seguida, as sementes foram submetidas ao teste de germinação, conforme metodologia descrita anteriormente, e a avaliação do número de plântulas normais ocorreu no 4º dia após a montagem do teste (Brasil, 2009). Os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas normais.

### **Emergência de plântulas**

Para o teste de emergência de plântulas foram utilizadas quatro repetições de 50 sementes, distribuídas na profundidade de 1 cm, em bandejas de isopor contendo areia e solo umedecidos (70% da capacidade de retenção). Foram realizadas contagens diárias do número de plântulas emergidas (maior que 5 mm) até a estabilização e determinação da porcentagem de emergência.

### **Crescimento de plântulas**

Foi realizado com quatro repetições de 10 sementes, que foram colocadas para germinar em rolos de papel toalha, à temperatura de 20° C. No 8º dia após a semeadura, foi medido o comprimento da parte aérea e da raiz das plântulas, com o auxílio de régua graduada. Os resultados foram expressos em cm por plântula. Em seguida, as plântulas tiveram sua parte aérea e raiz separadas e colocadas em estufa a 65 °C, onde

permaneceram por um período de 72 horas. Posteriormente foi realizada a pesagem do material em balança analítica, com precisão de 0,001g, e determinada a matéria seca, expressa em mg por plântula.

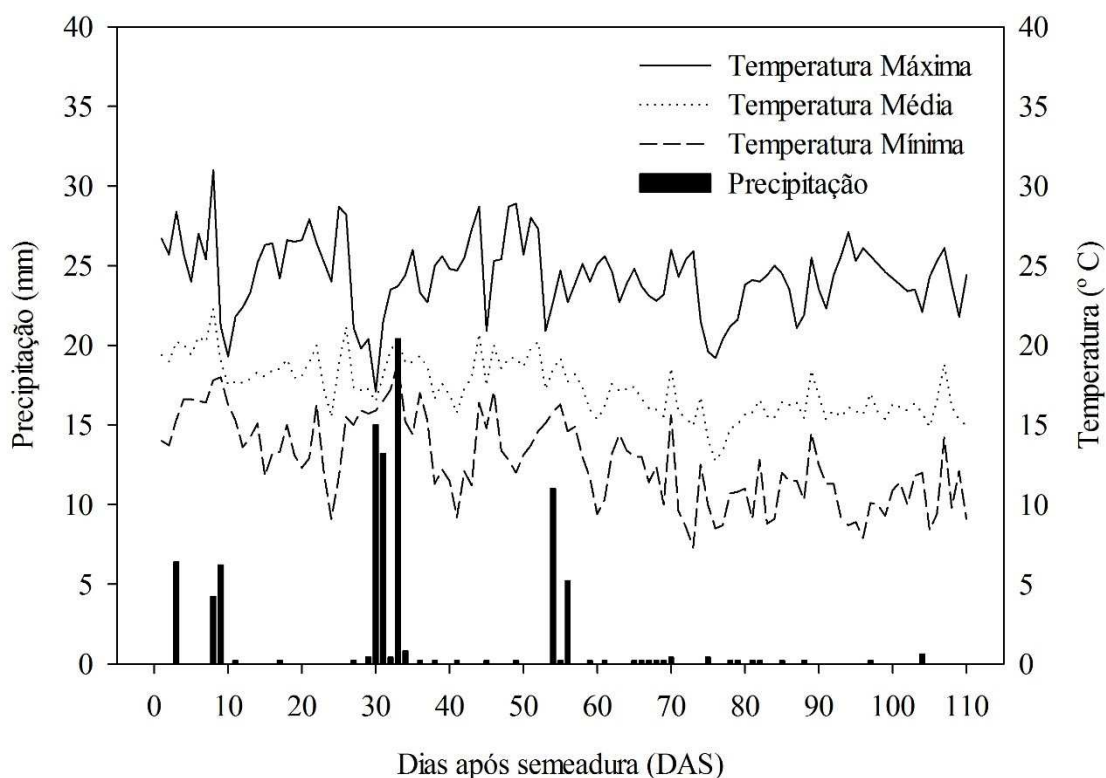
### **Análise estatística**

Os dois experimentos foram conduzidos em delineamento em blocos casualizados, em esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, após a verificação da normalidade dos erros e da homogeneidade de variâncias, por meio dos testes de Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente. As médias obtidas para cada lâmina de irrigação foram comparadas pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ) e as médias obtidas para as doses de Si foram comparadas pelo teste F ( $P < 0,05$ ). A análise dos dados foi efetuada com o auxílio do software estatístico R (R Core Team, 2017).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

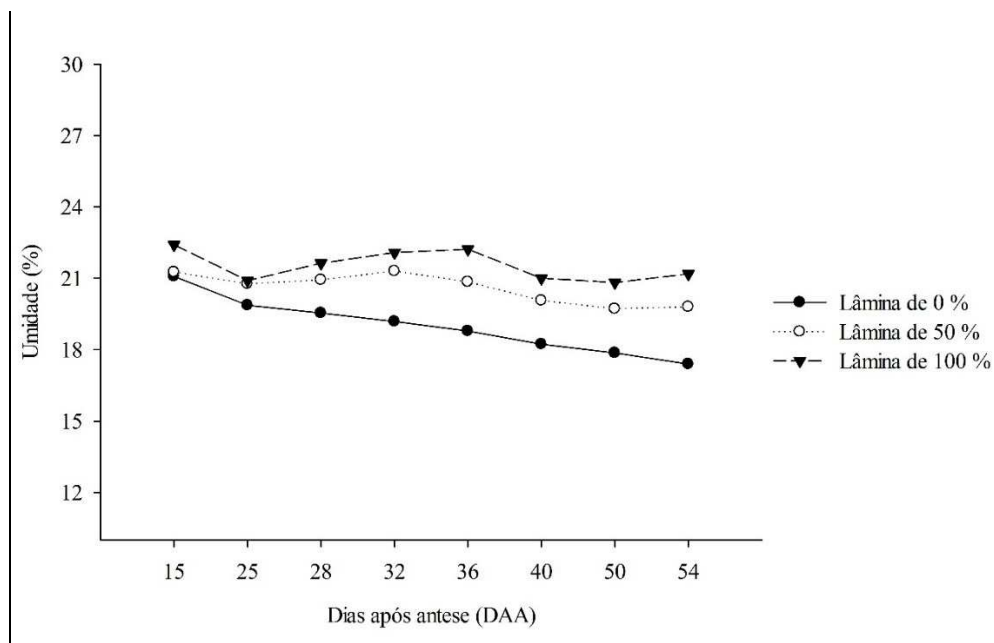
### Experimento I

A precipitação acumulada durante todo o período do experimento foi de 89,2 mm. Os maiores valores de precipitação ocorreram no estágio de emborrachamento da cultura, com total de 51,4 mm, estágio que antecede a fase de floração, quando teve início, na antese, a aplicação dos tratamentos de restrição hídrica; e no próprio estágio de floração, com total de 18,2 mm (Figura 3).



**Figura 3.** Dados diários de precipitação e temperatura máxima, média e mínima durante a condução do experimento distribuídas em cada estágio fenológico da cultura.

A umidade do solo, monitorada a partir da aplicação da restrição hídrica, reduziu de forma lenta até 54 dias após a antese (DAS), sendo a colheita realizada aos 60 DAS. Foram constatados valores próximos de umidade do solo para os três tratamentos de lâminas de irrigação até os 25 DAS, quando foram observados valores de 20,9, 20,7 e 19,8% de umidade, para os tratamentos 100% da ITN, 50% da ITN e 0% da ITN, respectivamente (Figura 4). Ao final do experimento, aos 54 DAS, os valores de umidade do solo foram de 21,1; 19,8 e 17,4% de umidade, para os tratamentos 100% da ITN, 50% da ITN e 0% da ITN, respectivamente.



**Figura 4.** Umidade do solo (%) a partir da antese, de acordo com as lâminas de irrigação 0, 50 e 100 % da ITN.

As maiores precipitações incidentes durante o experimento, ocorridas nos estádios de emborrachamento e floração da cultura, podem explicar os valores de umidade do solo próximos entre os três tratamentos de irrigação, até os 25 dias após o início da imposição da restrição hídrica. Esses valores de umidade próximos podem ser atribuídos à retenção de água no solo, que estava próximo ou na capacidade de campo, devido à irrigação e às chuvas, poucos dias antes de as plantas atingirem o estágio de floração.

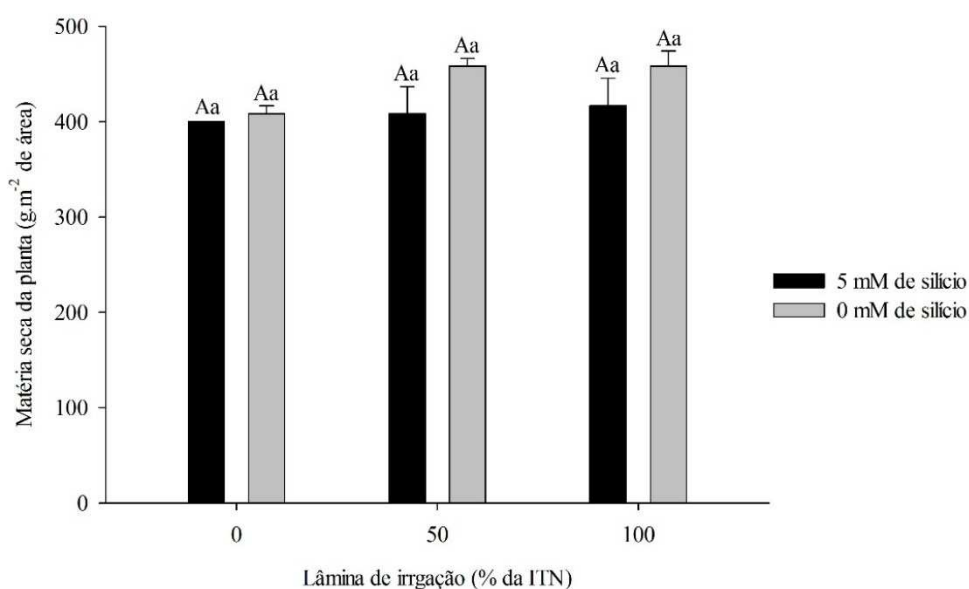
Na maioria dos casos, a textura do solo pode fornecer uma boa estimativa para o potencial de água no solo, capacidade de retenção de água e disponibilidade de água para o crescimento das plantas. O solo da área do experimento foi classificado como textura franco-argilosa, com 34 % de argila, 21 % de silte e 45 % de areia. Em um mesmo potencial mátrico ( $\psi_m$ ), solos com essa textura mantêm maior quantidade de água retida e por maior período quando comparado com solos compostos de areia franca. Klein e Klein (2015) afirmam que a textura do solo tem grande influência na retenção de água. Assim, a textura do solo pode explicar a redução lenta da umidade e, conseqüentemente, a restrição hídrica não foi severa logo após a sua imposição.

A matéria seca das plantas não sofreu influência das diferentes lâminas de irrigação e dos tratamentos de aplicação foliar de silício nas doses de 0 e 5 mM (Figura 5). Isto se deve à restrição hídrica ter sido imposta na fase de floração com início a partir da antese, sendo que na fase vegetativa as plantas foram irrigadas com 100 % da ITN. Assim, a matéria seca provavelmente já estava totalmente formada naquele estágio.

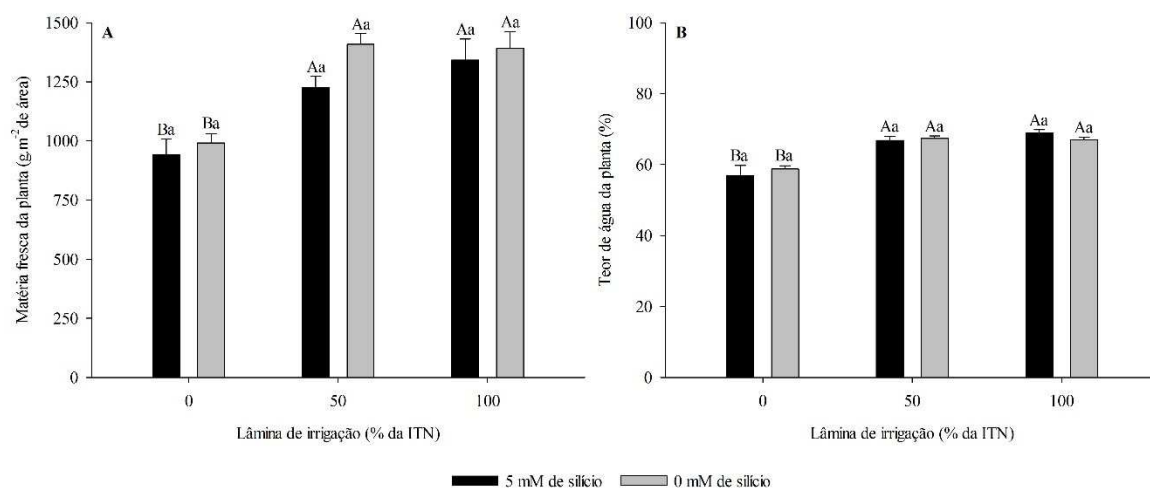
Segundo Mcneal et al. (1966), o máximo desenvolvimento das folhas e colmos do trigo acontecem respectivamente na floração e na antese. Waldren e Frowerday (1979) afirmam que o máximo de matéria seca nas folhas se dá na floração. Por outro lado, no colmo, esse acúmulo máximo de matéria seca ocorre até o início da formação dos grãos. Sarkar et al. (2014) observaram, na cultura do trigo, que o máximo de acúmulo de matéria seca das plantas ocorreu na fase de formação dos grãos, o que também condiz com os resultados encontrados para matéria seca de plantas neste experimento.

No presente trabalho, provavelmente houve acúmulo e translocação de fotoassimilados para as sementes em formação, e pouco ou nenhum acúmulo de matéria seca na parte aérea das plantas, logo após a imposição da restrição hídrica, já que ocorreu considerável precipitação durante a floração (Figura 3) e a redução da umidade do solo até 25 dias após esta fase se deu de forma lenta (Figura 4).

Houve redução da matéria fresca e do teor de água das plantas no tratamento 0% da ITN, independentemente da aplicação foliar de silício (Figura 6). Esse resultado indica que as plantas deste tratamento passaram pelo processo de secagem mais rapidamente, ou seja, senesceram e secaram de forma mais rápida, em função da redução da disponibilidade de água no solo (Figura 4), o que também foi comprovado por observação visual.

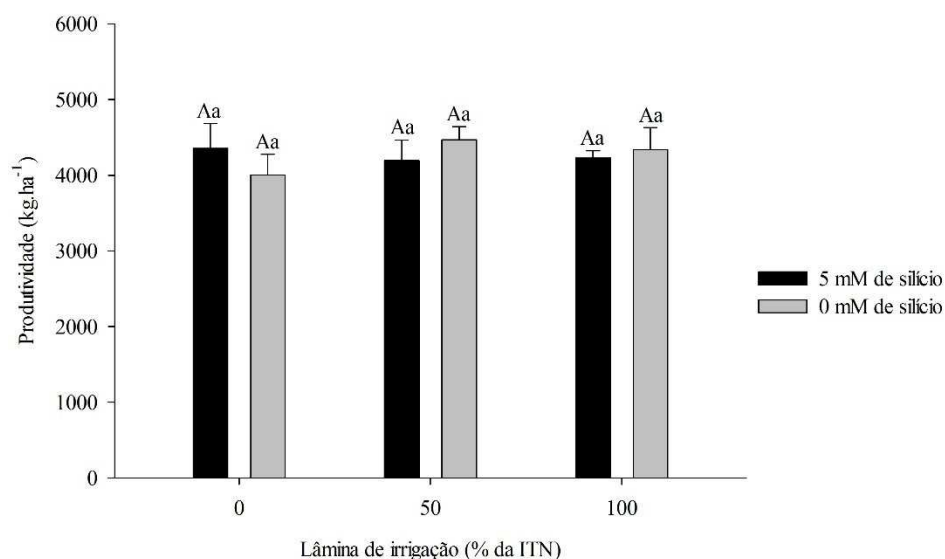


**Figura 5.** Matéria seca das plantas de trigo em função de lâminas de irrigação, e aplicação foliar de silício nas doses de 0 e 5 mM. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, comparando lâminas de irrigação, não diferem entre si pelo teste Tukey ( $P < 0,05$ ); médias seguidas pela mesma letra minúscula, comparando doses de silício, não diferem entre si pelo teste F ( $P < 0,05$ ).



**Figura 6.** Matéria fresca (A) e teor de água (B) das plantas de trigo em função de lâminas de irrigação, e aplicação foliar de silício nas doses de 0 e 5 mM. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, comparando lâminas de irrigação, não diferem entre si pelo teste Tukey ( $P < 0,05$ ); médias seguidas pela mesma letra minúscula, comparando doses de silício, não diferem entre si pelo teste F ( $P < 0,05$ ).

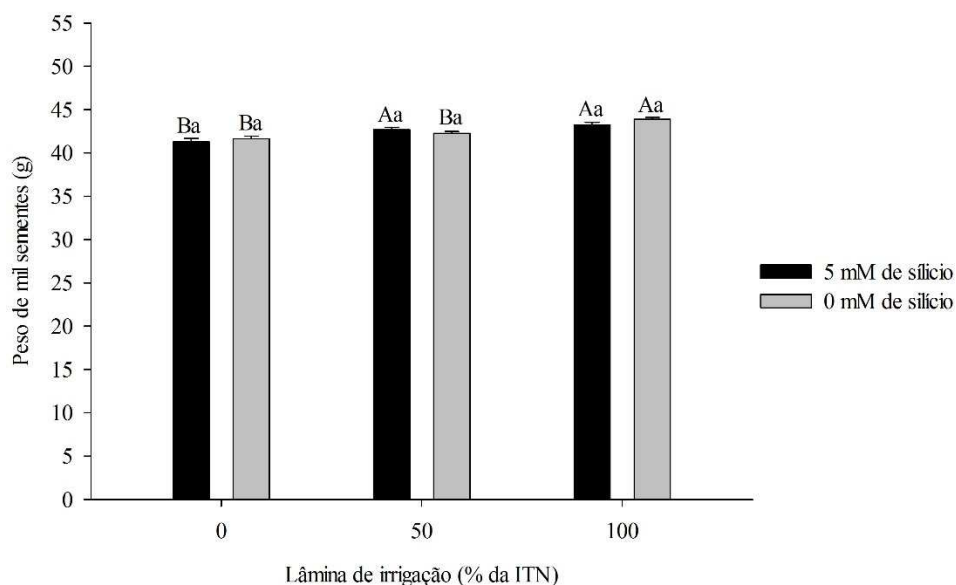
Não foi observada diferença na produtividade entre os tratamentos de diferentes lâminas de irrigação e entre as doses de silício (Figura 7). Galbiatti et al. (2004), ao avaliar a produção e a qualidade fisiológica de sementes de milho produzidas sob diferentes regimes hídricos, encontraram menor produção de sementes com o tratamento de deficiência hídrica na fase vegetativa e também menores valores de área foliar, matéria seca de folhas, colmos e total, o que mostra o efeito da redução da biomassa da planta na produção das sementes. Segundo Daryanto et al. (2016), a redução da produtividade varia com as espécies, sendo que a redução para o trigo é menor (20,6%), comparada ao milho (39,3%), em, aproximadamente, 40% de redução da disponibilidade de água. Assim, esses resultados ajudam a explicar os encontrados neste experimento para produtividade do trigo, que apresenta moderada tolerância ao estresse hídrico, comparado a outras culturas, e devido à restrição hídrica ter passado a ser mais intensa apenas no final do ciclo da cultura (Figura 3).



**Figura 7.** Produtividade de sementes de trigo em função de lâminas de irrigação, e aplicação foliar de silício nas doses de 0 e 5 mM. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, comparando lâminas de irrigação, não diferem entre si pelo teste Tukey ( $P < 0,05$ ); médias seguidas pela mesma letra minúscula, comparando doses de silício, não diferem entre si pelo teste F ( $P < 0,05$ ).

A precipitação incidente durante o experimento, que ocorreu nos estádios de emborrachamento e floração, contribuiu para haver disponibilidade de água no momento da formação das estruturas florais, fertilização e fixação dos grãos. Durante a fase de floração da cultura do trigo, situação de seca pode ser responsável por afetar severamente a fertilização e a fixação das sementes, o que leva à redução significativa do número de sementes viáveis (Sarto et al., 2017). Esse tipo de situação não foi observado nesta pesquisa, devido a precipitação ter elevado as lâminas de irrigação total acima do mínimo exigido para a cultura, que fica em torno de 135 a 150 mm (Bittencourt, 1942; Espinoza et al., 1980), o que contribuiu para manter a umidade do solo elevada para os três tratamentos de lâminas irrigação, até 25 dias após a antese.

O peso de mil sementes diferiu entre os tratamentos de lâminas de irrigação (Figura 8). O menor valor foi obtido para o tratamento de 0% da INT, independentemente da aplicação foliar de Si. Para o tratamento de Si na dose de 0 mM, houve redução do peso de mil sementes com a restrição hídrica nos tratamentos 0 e 50% da INT, que não diferiram entre si.

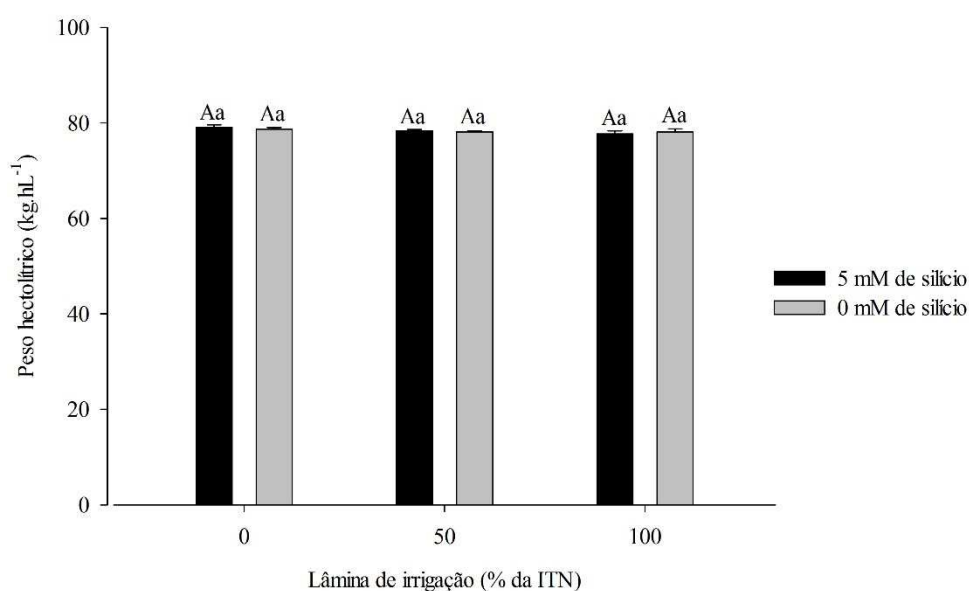


**Figura 8.** Peso de mil sementes de trigo em função de lâminas de irrigação, e aplicação foliar de silício nas doses de 0 e 5 mM. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, comparando lâminas de irrigação, não diferem entre si pelo teste Tukey ( $P < 0,05$ ); médias seguidas pela mesma letra minúscula, comparando doses de silício, não diferem entre si pelo teste F ( $P < 0,05$ ).

Em sementes de trigo, Eskandari e Alizadeh-Amraie (2017) constataram efeito significativo da restrição hídrica no peso de mil sementes. Ainda, o efeito da restrição hídrica no peso dos grãos também já foi relatado na cultura do triticale e trigo por diferentes autores (Royo et al., 2000; Nayyar e Walia, 2004; Nawaz et al., 2012). Esses autores atribuem esses resultados à senescência precoce das plantas, reduzindo o período de acúmulo de reservas pelas sementes, o que também foi observado nesta pesquisa. O teor de água e a matéria fresca das plantas, assim como o peso de mil sementes, foram menores na lâmina de 0 % da ITN, nos dois tratamentos de aplicação foliar de silício.

Nawaz et al. (2012), em trigo, observaram redução do peso dos grãos em 10% sob estresse por seca precoce aplicada três semanas após a emergência, comparado com estresse por seca tardia imposto seis semanas após a emergência, que reduziu o peso dos grãos em 35%. No tratamento controle, ou seja, sem estresse hídrico, esses autores encontraram peso de mil sementes máximo de 30,22 g, e no tratamento de seca tardia foi observado o menor valor, 19,55 g. No presente trabalho, apesar de terem sido obtidos os menores valores para a lâmina de 0% da ITN, estes valores foram de 41,27 e 41,60, para o tratamento de 5 mM e 0 mM de Si foliar, respectivamente. Assim, apesar da redução no peso das sementes, não houve prejuízo à produtividade (Figura 7).

Não houve efeito das lâminas de irrigação e das doses de Si sobre o peso hectolítrico (Figura 9). O peso hectolítrico é uma medida que reflete o rendimento e a qualidade dos grãos de trigo em farinha ou sêmola, de tal forma que maiores rendimentos são esperados em maiores valores de peso hectolítrico (Boschini et al., 2011; Guarienti et al., 2003). Para todos os tratamentos foram encontrados em média valores de peso hectolítrico acima de 78 kg hL<sup>-1</sup>, exceto para o tratamento de 100 % da ITN combinado com aplicação foliar de silício na dose de 5 mM, para o qual foi encontrado valor de 77,7 kg hL<sup>-1</sup> (Figura 9). Esses valores se mostraram satisfatórios para o mínimo exigido pela legislação para a classificação do trigo como tipo 1, que se encontra no valor de 78 kg hL<sup>-1</sup> (Brasil, 2001), exceto para o tratamento de 100 % da ITN com aplicação foliar de silício na dose de 5 mM, que obteve valor abaixo, porém próximo.



**Figura 9.** Peso hectolítrico de sementes de trigo em função de lâminas de irrigação, e aplicação foliar de silício nas doses de 0 e 5 mM. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, comparando lâminas de irrigação, não diferem entre si pelo teste Tukey ( $P < 0,05$ ); médias seguidas pela mesma letra minúscula, comparando doses de silício, não diferem entre si pelo teste F ( $P < 0,05$ ).

Boschini et al. (2011) verificaram aumento linear do peso hectolítrico com o aumento das lâminas de irrigação. Os autores atribuíram esse resultado ao aumento significativo na massa seca dos grãos, devido ao favorecimento do enchimento desses grãos pela maior disponibilidade de água.

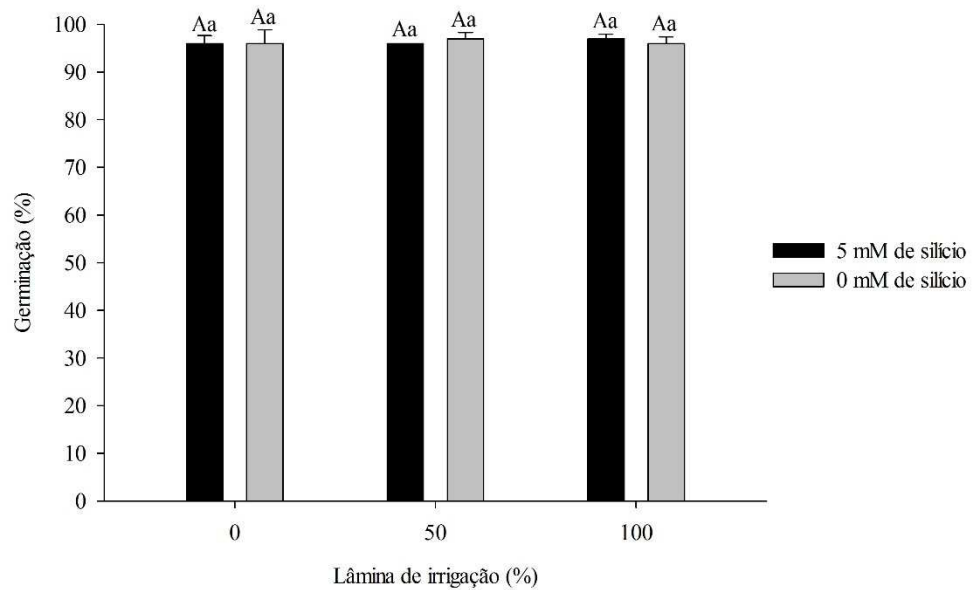
O solo do local do experimento apresentou teor de silício de 9,27 mg kg<sup>-1</sup> (Tabela 1). Segundo Marafon (2011), solos com teor de silício menor que 20 mg kg<sup>-1</sup> são considerados pobres em silício. Isso mostra que a resposta da cultura aos tratamentos de

adubação foliar utilizados no experimento não foram influenciadas pelo teor de silício presente no solo. A principal forma de absorção do silício pelas plantas é via sistema radicular, sendo o elemento transportado e acumulado em alguns órgãos das plantas, já sua redistribuição na planta é muito baixa devido ser considerado imóvel no floema (Datnoff et al., 2001; Pilon et al., 2013), porém também são observados efeitos benéficos deste elemento quando aplicado via foliar.

Apesar de a adubação via foliar, com pequenas quantidades de silício, consistir em alternativa à absorção do solo e poder estimular os efeitos benéficos deste elemento (Wang e Galleta, 1998), os resultados encontrados para os tratamentos de aplicação foliar de silício, nas doses de 0 e 5 mM, não diferiram para qualquer das variáveis analisadas no primeiro experimento. Freitas et al. (2011) não encontraram efeito do Si para a cultura do milho e atribuíram o resultado ao fato do elemento ser benéfico em situações de estresse, o que condiz com os resultados encontrados neste experimento para a cultura do trigo, devido a limitação hídrica poder não ter sido uma situação de estresse. O efeito do Si em situação de estresse se dá principalmente pelo acúmulo de sílica juntamente à cutícula das células das plantas e à formação de uma dupla camada estrutural, responsável por evitar a perda excessiva de água pelo processo de transpiração via cutícula. Devido à influência da precipitação ocorrida durante a condução do experimento, juntamente com uma redução lenta da umidade do solo, após o início da restrição hídrica, não se caracterizou uma situação de estresse para a cultura do trigo, como evidenciado pelos dados de matéria seca da planta (Figura 5) e produtividade (Figura 7).

## **Experimento II**

Não houve diferença na germinação das sementes, tanto para as lâminas de irrigação, quanto para os dois tratamentos de aplicação foliar de silício (Figura 10). Em todos os tratamentos, a germinação das sementes ficou acima de 90 %. Esse valor é superior ao mínimo exigido para a comercialização de sementes de trigo, que é de 70 % para as sementes básicas e 80 % para as demais categorias (Brasil, 2013).

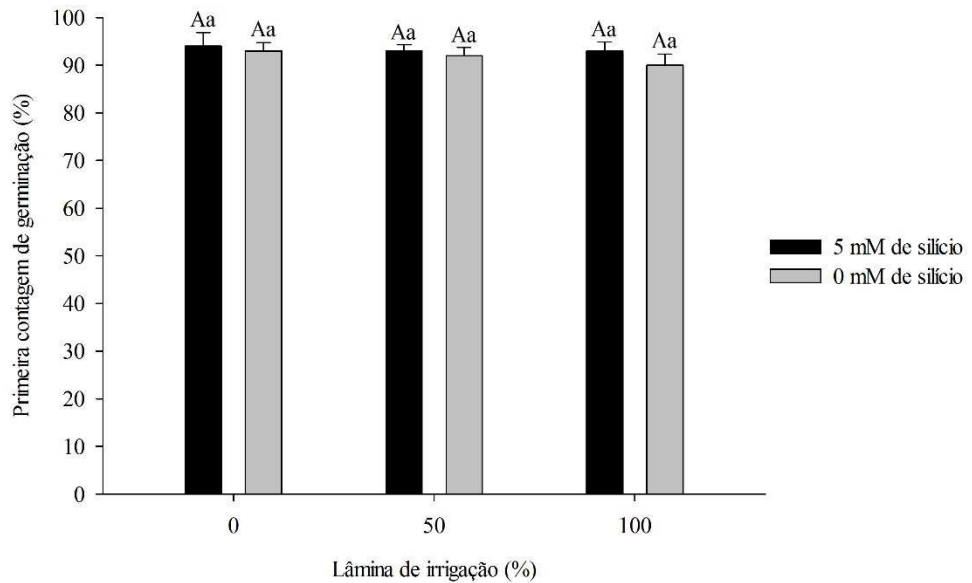


**Figura 10.** Germinação (%) de sementes de trigo em função de lâminas de irrigação, e aplicação foliar de silício nas doses de 0 e 5 mM. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, comparando lâminas de irrigação, não diferem entre si pelo teste Tukey ( $P < 0,05$ ); médias seguidas pela mesma letra minúscula, comparando doses de silício, não diferem entre si pelo teste F ( $P < 0,05$ ).

Para a primeira contagem de germinação, que permite inferir sobre a velocidade de germinação das sementes (Nakagawa, 1999), também não houve diferença entre os tratamentos de irrigação e entre as doses de silício (Figura 11).

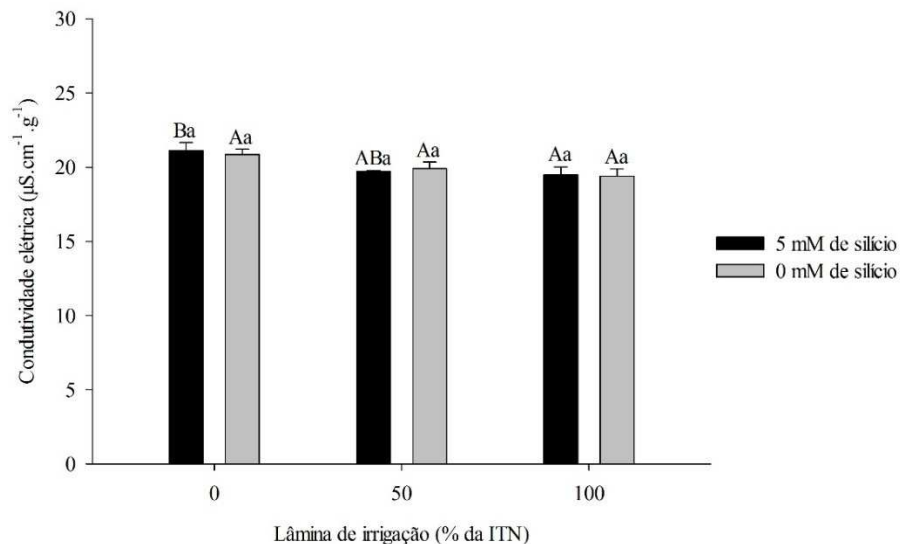
Assim, apesar de ter havido redução no peso de mil sementes para o tratamento com restrição hídrica mais severa (Figura 8), a porcentagem de germinação das sementes não foi alterada. Segundo dados obtidos por Castañeda-Saucedo et al. (2009), para sementes de feijão, mesmo com a redução em 10% no peso de 1000 sementes, devido ao efeito da seca induzida nos estádios fenológicos de floração, formação de vagens e enchimento de sementes, também não foi observada redução da qualidade fisiológica das sementes produzidas.

Na literatura é possível constatar que em situações de déficit hídrico mais severo ocorre redução da produtividade de sementes, porém, a viabilidade não é prejudicada (Galbiatti et al., 2004; Castañeda-Saucedo et al., 2009; Ghassemi-Golezani e Ghassemi, 2013). Isso mostra que as plantas priorizam a qualidade das sementes produzidas, em detrimento da quantidade, como uma estratégia para deixar descendentes (Ferreira et al., 2012).



**Figura 11.** Primeira contagem de germinação (%) de sementes de trigo em função de lâminas de irrigação, e aplicação foliar de silício nas doses de 0 e 5 mM. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, comparando lâminas de irrigação, não diferem entre si pelo teste Tukey ( $P < 0,05$ ); médias seguidas pela mesma letra minúscula, comparando doses de silício, não diferem entre si pelo teste F ( $P < 0,05$ ).

Efeito significativo na condutividade elétrica das sementes de trigo foi observado apenas para os tratamentos de lâminas de irrigação, quando foi feita a aplicação foliar de silício na dose de 5 mM (Figura 12). Foi encontrado maior valor para a lâmina de 0% da ITN, que não diferiu do obtido para a lâmina de 50% da ITN. Isso mostra que as sementes destes tratamentos tiveram a permeabilidade da membrana plasmática de suas células afetada devido à restrição hídrica imposta após a antese. O aumento na condutividade elétrica dessas sementes pode estar relacionado à secagem rápida das plantas e das sementes nestes tratamentos. Com a secagem rápida, os mecanismos de tolerância à dessecação das sementes podem ter reduzido sua eficiência, o que contribuiu para a maior condutividade elétrica, ou seja, maior desorganização ou danos nas membranas. Os efeitos da secagem rápida no aumento da condutividade elétrica em sementes já foram demonstrados em soja (Zorato et al., 2007).



**Figura 12.** Condutividade elétrica de sementes de trigo em função de lâminas de irrigação, e aplicação foliar de silício nas doses de 0 e 5 mM. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, comparando lâminas de irrigação, não diferem entre si pelo teste Tukey ( $P < 0,05$ ); médias seguidas pela mesma letra minúscula, comparando doses de silício, não diferem entre si pelo teste F ( $P < 0,05$ ).

Maiores valores de condutividade elétrica em sementes de trigo foram observados por Eskandari e Alizadeh-Amraie (2017), ao avaliarem o efeito da limitação hídrica na qualidade fisiológica das sementes. Esses autores recomendam que, para a obtenção de sementes de trigo de alta qualidade fisiológica e bons rendimentos, a cultura não deve encontrar restrição hídrica durante o período de formação e desenvolvimento das sementes.

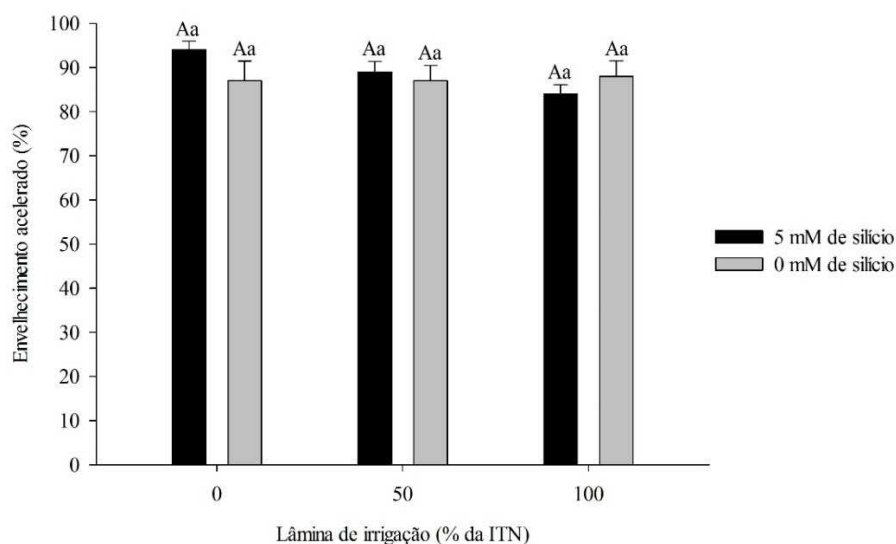
Entretanto na cultura do gergelim (*Sesamum indicum* L.), Eskandari et al. (2015) não encontraram efeitos da restrição hídrica imposta por regimes hídricos de 70, 100 e 130 mm de evaporação do tanque classe A na germinação, no peso de mil sementes e na condutividade elétrica das sementes e no peso seco de plântulas. Esses autores atribuíram os resultados encontrados à relativa tolerância da cultura do gergelim à seca, alegando nenhuma interferência dos regimes hídricos para o acúmulo de matéria seca durante o período de enchimento das sementes (Eskandari et al., 2015; Eskandari et al., 2009).

Em estudo sobre a produção e a qualidade fisiológica de sementes de arroz de terras altas em função da disponibilidade hídrica, Crusciol et al. (2001) verificaram efeito da ausência de irrigação para a condutividade elétrica e para a porcentagem de germinação das sementes, em comparação com tratamentos de lâminas de irrigação crescentes em sistema de aspersão. Valores superiores de condutividade elétrica e

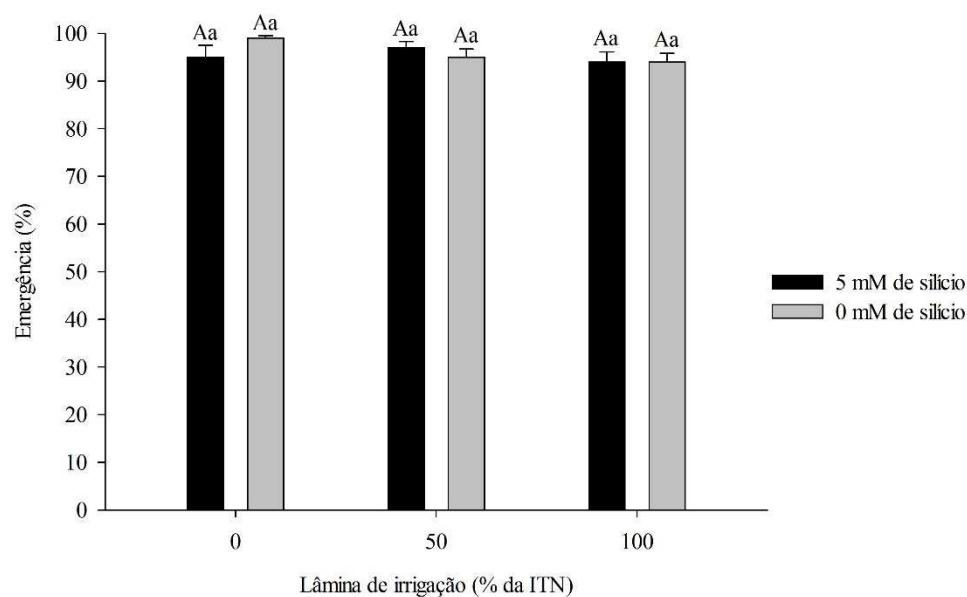
menores porcentagens de germinação foram encontrados para as sementes providas do tratamento de sequeiro em relação as sementes produzidas em sistema irrigado. Contudo, os mesmos autores não observaram efeito da ausência de irrigação no cultivo de sequeiro para o peso de mil sementes em comparação com os tratamentos de irrigação, o que contrasta com os resultados obtidos no presente experimento com a cultura do trigo.

Não houve diferença significativa entre as lâminas de irrigação e as doses de silício via foliar para os dados obtidos nos testes de envelhecimento acelerado e emergência das plântulas (Figuras 13 e 14). Os valores obtidos para ambos os testes, acima de 90% de germinação e emergência, demonstram a elevada qualidade fisiológica das sementes produzidas. Portanto, mesmo com a secagem rápida das sementes produzidas na menor lâmina de irrigação, que causou aumento da condutividade elétrica (Figura 12), o déficit hídrico não foi severo a ponto de reduzir a qualidade fisiológica das sementes produzidas.

Galbiatti et al. (2004) não encontraram efeito de diferentes períodos de irrigação na qualidade fisiológica de sementes de duas cultivares de milho, avaliadas por meio dos testes de envelhecimento acelerado, condutividade elétrica e teste de frio. Segundo os autores, a resposta da planta ao estresse hídrico é de reduzir somente a produção, sem afetar a qualidade das sementes.

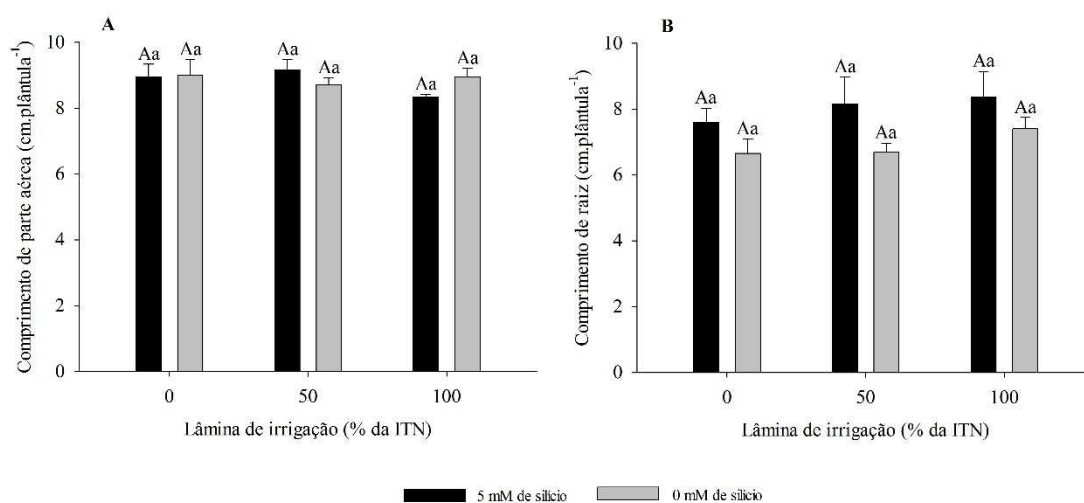


**Figura 13.** Envelhecimento acelerado (%) de sementes de trigo em função de lâminas de irrigação, e aplicação foliar de silício nas doses de 0 e 5 mM. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, comparando lâminas de irrigação, não diferem entre si pelo teste Tukey ( $P < 0,05$ ); médias seguidas pela mesma letra minúscula, comparando doses de silício, não diferem entre si pelo teste F ( $P < 0,05$ ).

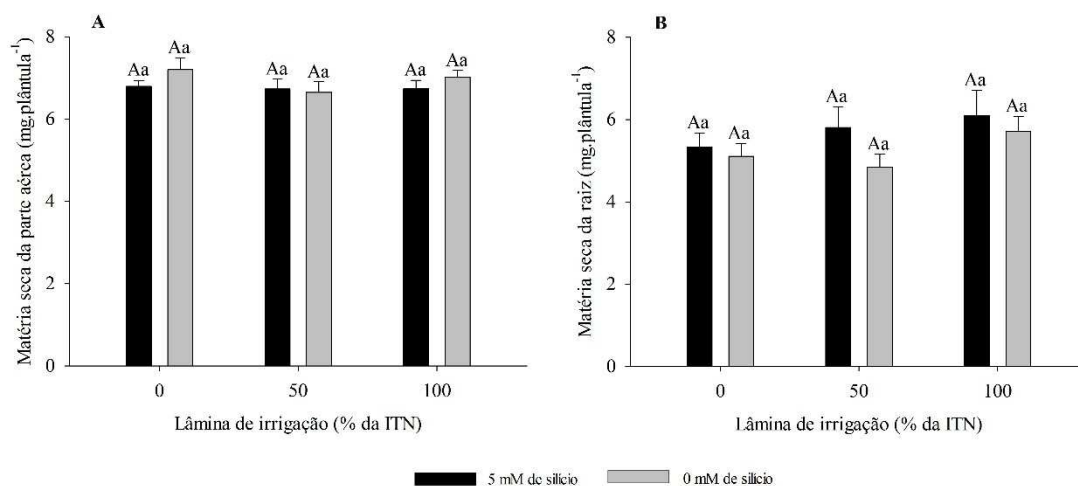


**Figura 14.** Emergência (%) de plântulas de trigo em função de lâminas de irrigação, e aplicação foliar de silício nas doses de 0 e 5 mM. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, comparando lâminas de irrigação, não diferem entre si pelo teste Tukey ( $P < 0,05$ ); médias seguidas pela mesma letra minúscula, comparando doses de silício, não diferem entre si pelo teste F ( $P < 0,05$ ).

Não foi observada diferença no crescimento de plântulas, tanto para o comprimento da parte aérea e raiz (Figura 15), quanto para a matéria seca da parte aérea e raiz (Figura 16). Entretanto, apesar de não ter sido observada diferença significativa, verificou-se para o comprimento da raiz (Figura 15B) e matéria seca da raiz (Figura 16B) de plântulas maiores valores para o tratamento de aplicação foliar de silício na dose de 5 mM, em todas as lâminas de irrigação, quando comparados com o tratamento na dose de 0 mM do elemento.



**Figura 15.** Comprimento de parte aérea (A) e raiz (B) das plântulas de trigo em função de lâminas de irrigação, e aplicação foliar de silício nas doses de 0 e 5 mM. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, comparando lâminas de irrigação, não diferem entre si pelo teste Tukey ( $P < 0,05$ ); médias seguidas pela mesma letra minúscula, comparando doses de silício, não diferem entre si pelo teste F ( $P < 0,05$ ).



**Figura 16.** Matéria seca da parte aérea (A) e raiz (B) das plântulas de trigo em função de lâminas de irrigação, e aplicação foliar de silício nas doses de 0 e 5 mM. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, comparando lâminas de irrigação, não diferem entre si pelo teste Tukey ( $P < 0,05$ ); médias seguidas pela mesma letra minúscula, comparando doses de silício, não diferem entre si pelo teste F ( $P < 0,05$ ).

Ghassemi-Golezani e Ghassemi (2013), ao avaliar a influência de irrigações após evaporação de 70, 100, 130 e 160 mm do tanque classe A na qualidade fisiológica de sementes de três cultivares de grão-de-bico, determinada pela porcentagem de germinação, taxa de germinação e pelo peso seco de plântulas, não encontraram efeitos significativos do déficit hídrico para essas variáveis. Contudo, influência significativa no peso de 100 sementes foi observado, condizendo assim com os resultados encontrados nesta pesquisa.

Esses mesmos autores, em outros trabalhos, sugerem que sementes maiores possuem maior e mais longo suprimento de reservas, o que contribui para o crescimento precoce e maior das plântulas (Ghassemi- Golezani, 1992; Ghassemi-Golezani et al., 2012 a,b, 2015). Este fato não foi observado nesta pesquisa para a cultura do trigo, pois não foram encontradas diferenças significativas entre as lâminas de irrigação para o crescimento das plântulas, mesmo quando se observou efeito das lâminas de irrigação no peso de mil sementes.

De forma geral, a qualidade fisiológica das sementes de trigo produzidas em situação de restrição hídrica após a antese não foi afetada. Esse resultado pode ser atribuído aos valores totais de água no experimento (irrigação + precipitação). Os valores encontrados, devido à precipitação incidente, foram superiores ao mínimo exigido para a cultura do trigo durante todo o ciclo, que se encontra entre 135 e 150 mm (Bittencourt, 1942; Espinoza et al., 1980). Para o tratamento com menor lâmina, referente a ausência de irrigação a partir da antese ou 0 % da ITN, houve lâmina total de aproximadamente 152 mm. Desta forma, essa situação de restrição hídrica não se caracterizou como estresse para a cultura, o que refletiu nos dados de qualidade fisiológica das sementes. Ainda, o mesmo justifica os resultados encontrados para os tratamentos de aplicação foliar de silício nas doses de 0 e 5 mM, que não apresentaram diferenças nos testes realizados. Em situações normais na cultura do trigo, ou seja, sem a ocorrência de estresse, o Si não apresenta efeito sobre o rendimento e a qualidade fisiológica das sementes produzidas (Segalin et al., 2013), fato que se deve à não essencialidade do silício para as plantas, o qual se enquadra apenas como um elemento benéfico (Sapre e Vakharia, 2016).

## CONCLUSÕES

A restrição hídrica imposta a partir da antese não prejudicou a matéria seca das plantas e a produtividade.

O déficit hídrico reduziu o peso de mil sementes, mas não afetou a qualidade fisiológica das mesmas.

O silício não influenciou o crescimento e a produtividade das plantas e a qualidade fisiológica das sementes em situação de restrição hídrica, a partir da antese.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBRECHT, J.C.; SILVA, M.S.; ANDRADE, J.M.V.; SCHEEREN, P.L.; TRINDADE, M.G.; SOARES SOBRINHO, J.; SOUSA, C.N.A.; BRAZ, A.J.B.P.; RIBEIRO JUNIOR, W.Q.; SOUSA, M.A.; FRONZA, V.; YAMANAKA, C.H. **Trigo BRS 264**: cultivar precoce com alto rendimento de grãos indicada para o Cerrado do Brasil Central. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2006. 21p.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. **FAO, Rome**, v.300, n.9, p.D05109, 1998.

ASADA, K. Production and scavenging of reactive oxygen species in chloroplasts and their functions. **Plant physiology**, v.141, n.2, p.391-396, 2006.

BERGONCI, J.I.; BERGAMASCHI, H.; SANTOS, A.O.; FRANÇA, S.; RADIN, B. Eficiência da irrigação em rendimento de grãos e matéria seca de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, p.949-956, 2001.

BEWLEY, J.D.; BRADFORD, K.J.; HENK, W.M.; NONOGAKI, H. **Seeds: Physiology of Development, Germination and Dormancy 3rd ed.** New York: Springer Science + Business Media. 407 p. 2013.

BITTENCOUT, H.V.C. Aspectos da irrigação para a cultura do trigo no estado de São Paulo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. **Anais...** Campinas: Instituto Agrônômico, 1942.

BOSCHINI, A.P.M.; SILVA, C.L.; OLIVEIRA, C.A.; OLIVEIRA JÚNIOR, M.P.; MIRANDA, M.Z.; FAGIOLI, M. Aspectos quantitativos e qualitativos do grão de trigo influenciados por nitrogênio e lâminas de água. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, p.450-457, 2011.

BRASIL. Instrução Normativa nº 45, de 17 de setembro de 2013. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 20 set. 2013. Seção I, p.6.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**, Brasília: SNAD/DNDV/CLAV, 398 p. 2009.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 7, de 15 de agosto de 2001. Lex: Diário Oficial da União, Brasília, seção 1, p.33, ago, 2001.

CASTAÑEDA-SAUCEDO, M.C.; CÓRDOVA-TÉLLEZ, L.; GONZÁLEZ-HERNÁNDEZ, V.A.; DELGADO-ALVARADO, A.; SANTACRUZ-VARELA, A.; SANTOS, G.G. Physiological performance, yield, and quality of dry bean seeds under drought stress. **Interciencia**, v.34, n.10, p. 748–754, 2009.

CATTIVELLI, L.; RIZZA, F.; BADECK, F.W.; MAZZUCOTELLI, E.; MASTRANGELO, A.M.; FRANCIÀ, E.; STANCA, A.M. Drought tolerance improvement in crop plants: an integrated view from breeding to genomics. **Field Crops Research**, v.105, n.1-2, p.1-14, 2008.

CRUSCIOL, C.A.C.; ARF, O.; ZUCARELI, C.; SÁ, M.E.; NAKAGAWA, J. Produção e qualidade fisiológica de sementes de arroz de terras altas em função da disponibilidade hídrica. **Revista Brasileira de Sementes**, v.23, n.2, p.287-293, 2001.

CRUSCIOL, C.A.C.; PULZ, A.L.; LEMOS, L.B.; SORATTO, R.P.; LIMA, G.P.P. Effects of silicone and drought stress on tuber yield and leaf biochemical characteristics in potato. **Crop Science**, v.49, p.949-954, 2009.

DARYANTO, S.; WANG, L.; JACINTHE, P.A. Global synthesis of drought effects on maize and wheat production. **PLoS One**, v.11, n.5, p.e0156362, 2016.

DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H.; KORNDÖRFER, G.H. Silicon in agriculture. Book series studies in plant science, vol. 8. **Elsevier, Amsterdam, The Netherlands**, 2001.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Recomendações técnicas para o cultivo do milho. Brasília: EMBRAPA - Milho, 1993. 204 p.

EPSTEIN, E.A. anomalia de silício em biologia vegetal. **Proceedings of National Academy of United States of America**, Washington, v.91, n.1, p.11-17, 1994.

ESKANDARI, H.; ALIZADEH-AMRAIE, A. Evaluation of seed quality of wheat (*Triticum aestivum*) under water limitation induced by a partial root-zone irrigation regime. **Seed Science and Technology**, v.45, n.1, p.248-251, 2017.

ESKANDARI, H.; HAMID, A.; ALIZADEH-AMRAIE, A. Development and maturation of sesame (*Sesamum indicum*) seeds under different water regimes. **Seed Science and Technology**, v.43, n.2, p.269-272, 2015.

- ESKANDARI, H.; KAZEMI, K.K. Response of different bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes to post-anthesis water deficit. **Notulae Scientia Biologicae**, v.2, n.4, p.49, 2010.
- ESKANDARI, H.; ZEHTAB-SALMASI, S.; GHASSEMI-GOLEZANI, K.; GHARINEH, M.H. Effects of water limitation on grain and oil yields of sesame cultivars. **Journal of Food Agriculture and Environment**, v.7, p.339-342, 2009.
- ESPINOZA, W.; SILVA, E.M.; SOUZA, O. Irrigação de trigo em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.15, n.1, p.107-115, 1980.
- FANAN, S.; MEDINA, P.F.; LIMA, T.C.; MARCOS-FILHO, J. Avaliação do vigor de sementes de trigo pelos testes de envelhecimento acelerado e de frio. **Revista brasileira de sementes**, v.28, n.2, p.152-158, 2006.
- FAROOQ, M.; HUSSAIN, M.; SIDDIQUE, K.H. Drought stress in wheat during flowering and grain-filling periods. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v.33, n.4, p.331-349, 2014.
- FAROOQ, M.; WAHID, A.; KOBAYASHI, N.; FUJITA, D.; BASRA, S.M.A. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. In: **Sustainable agriculture**. Springer, Netherlands, 2009. p.153-188.
- FERREIRA, M.G.; BRITO, M.E.; COSTA, F.B.; ARAÚJO FILHO, G.D.; ALVINO, F.C. Aspectos químicos e físicos dos grãos de milho doce sob estresse hídrico. **Revista Brasileira de Agrotecnologia**, v.1, n.1, p.01-06, 2012.
- FREITAS, L.B.D.; COELHO, E.M.; MAIA, S.C.M.; SILVA, T.R.B. Foliar fertilization with silicon in maize. **Revista Ceres**, v.58, n.2, p.262-267, 2011.
- GALBIATTI, J.A.; BORGES, M.J.; BUENO, L.F.; GARCIA, A.; VIEIRA, R.D. Efeito de diferentes períodos de irrigação no desenvolvimento, produção e qualidade de sementes na cultura do milho (*Zea mays* L.). **Engenharia Agrícola**, p.301-308, 2004.
- GHASSEMI-GOLEZANI, K.; AKBARI, H.; BANDEH-HAGH, A. Effects of plant density and pod position on seed vigour of pinto bean cultivars. **Research on Crops**, v.13, p.529-533, 2012b.

GHASSEMI-GOLEZANI, K.; GHASSEMI, S. Effects of water supply on seed development and quality of chickpea cultivars. **Plant Breeding and Seed Science**, v.67, n.1, p.37-44, 2013.

GHASSEMI-GOLEZANI, K.; HEYDARI, S.; HASSANNEJAD, S. Seed vigor of maize (*Zea mays*) cultivars affected by position on ear and water stress. **Azarian Journal of Agriculture**, v.2, n.2, p.40-45, 2015.

GHASSEMI-GOLEZANI, K.; LOTFI, R.; NOROUZI M. Seed quality of soybean cultivars affected by pod position and water stress at reproductive stages. **International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences**, v.2, n.2, p.119-125, 2012a.

GHASSEMI-GOLEZANI, Kazem. **The effects of seed quality on cereal yields**. 1992. Tese de Doutorado. University of Reading.

GONG, H.; ZHU, X.; CHEN, K.; WANG, S.; ZHANG, C. Silicon alleviates oxidative damage of wheat plants in pots under drought. **Plant Science**, v.169, n.2, p.313-321, 2005.

GUARIENTI, E.M.; CIACCO, C.F.; CUNHA, G.D.; DUCA, L.D.; CAMARGO, C.M.O. Avaliação do efeito de variáveis meteorológicas na qualidade industrial e no rendimento de grãos de trigo pelo emprego de análise de componentes principais. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.23, n.3, p.500-510, 2003.

HATTORI, T.; INANAGA, S.; ARAKI, H.; AN, P.; MORITA, S.; LUXOVÁ, M.; LUX, A. Application of silicone enhanced drought tolerance in sorghum bicolor. **Physiologia Plantarum**, v.123, n.4, p.459-466, 2005.

KLEIN, C.; KLEIN, V.A. Strategies to improve the retention and availability of soil water. **Electronic Journal of Management, Education and Environmental Technology (REGET)**, v.19, n.1, p.21-29, 2015.

KLEIN, V.A. **Física do Solo** – Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, 2008. 212p.

KUMAR, A.; SINGH, D.P.; SINGH, P. Influence of water stress on photosynthesis, transpiration, water-use efficiency and yield of *Brassica juncea* L. **Field Crops Research**, v.37, n.2, p.95-101, 1994.

LIBARDI, V.; COSTA, M. Consumo d'água da cultura do trigo (*Triticum Aestivum*, L.). **Revista da FZVA**, v.4, p.17-22, 1997.

MA, J.; TAKAHASHI, E. Effect of silicate on phosphate availability for rice in a P-deficient soil. **Plant and Soil**, v.133, n.2, p.151-155, 1991.

MA, J.F. Role of silicon in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stresses. **Soil Science and Plant Nutrition**, v.50, n.1, p.11-18, 2004.

MA, J.F.; YAMAJI N. Silicon uptake and accumulation in higher plants. **Trends in Plant Science**, v.11, n.8, p.392-397, 2006.

MAJID, S.A.; ASGHAR, R.; MURTAZA, G. Yield stability analysis conferring adaptation of wheat to pre-and post-anthesis drought conditions. **Pakistan Journal of Botany**, v. 39, n. 5, p. 1623-1637, 2007.

MARAFON, A. C. Adubação silicatada em cana-de-açúcar é alvo de estudo da Embrapa. **Embrapa Tabuleiros Costeiros-Artigo de divulgação na mídia (INFOTECA-E)**, Aracaju, Se, Embrapa Tabuleiros Costeiros, 29 nov. 2011. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1014580>

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. London: Academic, 1995. 889p.

MAUAD, M.; CRUSCIOL, C.A.C.; NASCENTE, A.S.; GRASSI FILHO, H.; LIMA, G.P.P. Effects of silicon and drought stress on biochemical characteristics of leaves of upland rice cultivars. **Revista Ciência Agrônômica**, v.47, n.3, p.532-539, 2016.

McNEAL, F.H.; BERG, M.A.; WATSON, C.A. Nitrogen and dry matter in five spring wheat varieties at successive stages of development. **Agronomy Journal**. v.58, n.6, p.605-608, 1966.

MELO, S.P.D.; KORNDÖRFER, G.H.; KORNDÖRFER, C.M.; LANA, R.M.Q.; SANTANA, D.G.D. Silicon accumulation and water deficit tolerance in Brachiaria grasses. **Scientia Agricola**, v.60, n.4, p.755-759, 2003.

NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados no desempenho das plântulas. **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, v. 1, p. 1-24, 1999.

NAWAZ, F.; AHMAD, R.; WARAICH, E.A.; NAEEM, M.S.; SHABBIR, R.N. Nutrient uptake, physiological responses, and yield attributes of wheat (*Triticum aestivum* L.)

exposed to early and late drought stress. **Journal of plant nutrition**, v.35, n.6, p.961-974, 2012.

NAYYAR, H.; WALIA, D.P. Genotypic Variation in Wheat in Response to Water Stress and Abscisic Acid-Induced Accumulation of Osmolytes in Developing Grains. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v.190, n.1, p.39-45, 2004.

PILON, C.; SORATTO, R.P.; BROETTO, F.; FERNANDES, A.M. Foliar or soil application of silicon alleviate water-deficit stress of potato plants. **Agronomy Journal**, v.106, p.2325-2334, 2014.

PILON, C.; SORATTO, R.P.; MORENO, L.A. Effects of soil and foliar application of soluble silicon on mineral nutrition, gas exchange, and growth of potato plants. **Crop Science**, v.53, n.4, p.1605-1614, 2013.

R Core Team (2017). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

RAINS, D.W.; EPSTEIN, E.; ZASOSKI, R.J.; ASLAM, M. Active silicon uptake by wheat. **Plant and Soil**, The Hague, v.280, n.1-2, p.223-228, 2006.

RIBEIRO, A.C.; GUIMARAES, P.T.G.; ALVAREZ, V. H. (Ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5. aproximação**. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p.314-316.

ROYO, C.; ABAZA, M.; BLANCO, R.; DEL MORAL, L.F.G. Triticale grain growth and morphometry as affected by drought stress, late sowing and simulated drought stress. **Functional Plant Biology**, v.27, n.11, p.1051-1059, 2000.

SAPRE, S.S.; VAKHARIA, D.N. Role of silicon under water deficit stress in wheat:(Biochemical perspective): A review. **Agricultural Reviews**, v.37, n.2, 2016.

SARKAR, P.K.; TALUKDER, M.S.U.; BISWAS, S.K.; KHATUN, A. Growth and yield of wheat (*Triticum aestivum*) under deficit irrigation. **Bangladesh Journal of Agricultural Research**, v.38, n.4, p.719-732, 2014.

SARTO, M.V.M.; RAMPIM, L.; LANA, M.D.C.; ROSSET, J.S.; ECCO, M.; WOBETO, J.R. Attributes of soil chemical and development of culture wheat for each silicon fertilization. **Revista Agrarian**, v.7, n.25, p.390-400, 2014.

SARTO, M.V.M.; SARTO, J.R.W.; RAMPIM, L.; ROSSET, J.S.; BASSEGIO, D.; COSTA, P.F.; INAGAKI, A.M. Wheat phenology and yield under drought: A review. **Australian Journal of Crop Science**, v.11, n.8, p.941, 2017.

SEGALIN, S.R.; HUTH, C.; ROSA, T.D.A.; PAHINS, D.B.; MERTZ, L.M.; NUNES, U.R.; MARTIN, T.N. Foliar application of silicon and the effect on wheat seed yield and quality. **Journal of Seed Science**, v.35, n.1, p.86-91, 2013.

SHAMSI, K.; PETROSYAN, M.; NOOR-MOHAMMADI, G.; HAGHPARAST, R. The role of water deficit stress and water use efficiency on bread wheat cultivars. **Journal of Applied Biosciences**, v.35, p.2325-2331, 2010.

SIKUKU, P.A.; ONYANGO, J.C.; NETONDO, G.W. Yield components and gas exchange responses of Nerica rice varieties (*Oryza sativa* L.) to vegetative and reproductive stage water deficit. **Global Journal of Science Frontier Research**, v.12, p.51-62, 2012.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

TAVARES, L.C.; FONSECA, D.Â.R.; RUFINO, C.A.; OLIVEIRA, S.D.; BRUNES, A.P.; VILLELA, F.A. Silicon fertilization in wheat: quality and seed yield. **Revista de la Facultad de Agronomía (La Plata)**, v.113, n.1, p.94-99, 2014.

VIEIRA, F.C.F.; JUNIOR, S.; DIAS, C.; NOGUEIRA, A.P.O.; DIAS, A.C.C.; HAMAWAKI, O.T.; BONETTI, A.M. Aspectos fisiológicos e bioquímicos de cultivares de soja submetidos a déficit hídrico induzido por PEG 6000. **Bioscience Journal**, v.29, n.2, p.543-552, 2013.

WALDREN, R.P.; FLOWERDAY, A.D. Growth Stages and Distribution of Dry Matter, N, P, and K in Winter Wheat 1. **Agronomy Journal**, v.71, n.3, p.391-397, 1979.

WANG, S.Y.; GALLETTA, G.J. Foliar application of potassium silicate induces metabolic changes in strawberry plants. **Journal of Plant Nutrition**, v.21, n.1, p.157-167, 1998.

YANG, J.C.; ZHANG, J.H.; WANG, Z.Q.; ZHU, Q.S.; LIU, L.J. Involvement of abscisic acid and cytokinins in the senescence and remobilization of carbon reserves in wheat subjected to water stress during grain filling. **Plant, Cell & Environment**, v.26, n.10, p.1621-1631, 2003.

ZORATO, M.F.; PESKE, S.T.; TAKEDA, C.; FRANÇA NETO, J.B. Presença de sementes esverdeadas em soja e seus efeitos sobre o seu potencial fisiológico. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 29, n.1, p.11-19, 2007.

## **Capítulo II. Tolerância ao estresse hídrico na germinação de sementes de trigo produzidas sob diferentes lâminas de irrigação e aplicação foliar de silício**

### **RESUMO**

O estresse hídrico durante a fase de germinação e estabelecimento das plantas de trigo é responsável por afetar a porcentagem e velocidade de germinação, o que pode reduzir o estande final e a uniformidade das plantas. Sementes produzidas sob restrição hídrica durante a maturação poderiam apresentar maior tolerância a essa condição. Devido ao silício estar relacionado com a tolerância das plantas a diversos tipos de estresse, atuando de forma indireta para o crescimento e a produção vegetal, a aplicação deste nutriente poderia contribuir para a melhoria da qualidade das sementes e, conseqüentemente, para maior tolerância ao estresse. Assim, o objetivo com o presente trabalho foi avaliar a tolerância das sementes de trigo ao estresse hídrico na fase de germinação, produzidas sob diferentes lâminas de irrigação e duas doses de silício aplicado via foliar. As sementes de trigo utilizadas foram produzidas sob três lâminas de irrigação (0, 50 e 100 % da irrigação total necessária para a cultura) aplicadas após a antese, e fornecimento de silício em duas doses por meio de aplicação foliar (0 e 5 mM de Si). As sementes foram submetidas ao teste de germinação sob estresse hídrico, induzido por polietileno glicol 6000 (PEG 6000), nos potenciais osmóticos -0,2; -0,4; -0,6 MPa, além do controle, no qual foi utilizado somente água destilada. O desempenho das sementes foi avaliado por meio da germinação, primeira contagem de germinação, taxa de germinação, tempo médio de germinação, comprimento e matéria seca da parte aérea e raiz das plântulas. A redução do potencial osmótico reduziu a germinação, a velocidade de germinação e o crescimento das plântulas. As lâminas de irrigação, assim como a aplicação foliar do Si, durante a produção das sementes não influenciaram a qualidade fisiológica e a tolerância das sementes ao estresse hídrico durante a germinação.

## ABSTRACT

### **Chapter II. Tolerance to water stress on germination of wheat seeds produced under different irrigation slides and foliar application of silicon**

Water stress during germination and establishment stage of wheat plants is responsible for affecting the percentage and speed of germination, which can reduce the final stand and the uniformity of the plants. Seeds produced under water restriction during maturation could present greater tolerance to this condition. Because silicon is related to the tolerance of plants to different types of stress, acting indirectly for growth and plant production, the application of this nutrient could contribute to the improvement of seed quality and, consequently, to a greater tolerance to stress. The objective of the present work was to evaluate the tolerance of wheat seeds to water stress in the germination stage, produced under different irrigation levels and two doses of silicon applied via foliar. The wheat seeds used were produced under three irrigation levels (0, 50 and 100% of the total irrigation necessary for the crop) applied after the anthesis and silicon supply in two doses by foliar application (0 and 5 mM of Si). The seeds were submitted to germination test under water stress, induced by polyethylene glycol 6000 (PEG 6000), at the osmotic potentials -0.2; -0.4; -0.6 MPa, in addition to the control, in which only distilled water was used. Seed performance was evaluated by means of germination, first germination count, germination rate, mean germination time, shoot length and dry matter, and root of seedlings. Reduction of osmotic potential reduced germination, germination speed and seedling growth. Irrigation levels, as well as the foliar application of Si, during seed production did not influence the physiological quality and tolerance of seeds to stress during germination.

## INTRODUÇÃO

A condição de deficiência hídrica é um dos principais limitadores da produção vegetal, afeta as relações hídricas das plantas e o seu metabolismo e é um fenômeno de ocorrência em grandes extensões de áreas cultiváveis (Giroto et al., 2012; Nogueira et al., 2001).

No Brasil, o déficit hídrico para a cultura do trigo se apresenta de forma expressiva nas regiões do norte do estado do Paraná, até em direção ao centro do país, o que chega a limitar o cultivo desse cereal em certas regiões do cerrado (Monteiro, 2009; Andrade et al., 2015). Nessas regiões, os cultivos de trigo em regime de sequeiro podem se deparar com situações de falta de água. Além de prejudicar o rendimento final, por ocorrência do déficit hídrico na fase de emborrachamento, esse estresse contribui, também, para o aumento de falhas de granação e o ineficiente enchimento dos grãos. Ainda, pode afetar a emergência e o estabelecimento da cultura, devido à etapa de semeadura ocorrer nos meses de março e abril (Monteiro, 2009).

A germinação das sementes é uma etapa crucial para o estabelecimento das culturas e pode ser influenciada por diversos estresses abióticos, dentre eles o estresse por seca (Hubbard et al., 2012). Para que o processo de germinação ocorra, o meio em que a semente se encontra deve fornecer água em quantidade adequada para a ativação de reações químicas envolvidas no metabolismo e gerar, com isso, a retomada do crescimento do eixo embrionário (Beckert e Silva, 2002). Desta forma, a redução do potencial osmótico, provocada pela deficiência hídrica, gera redução na porcentagem e velocidade de germinação das sementes (Pereira e Lopes, 2011), bem como redução expressiva do crescimento das plântulas (Kashif, 2011).

Diversos autores relatam o efeito do estresse hídrico durante a germinação das sementes na taxa de germinação e crescimento de plântulas em trigo, com reduções no comprimento e no peso seco da parte aérea e raiz (Dhanda et al., 2004; Yagmur e Kaydan, 2008; Rauf et al., 2007). Isso mostra que o déficit hídrico, durante o processo de germinação das sementes recém semeadas no campo, prejudica o estabelecimento da cultura, com reflexos negativos no estande final das plantas e no rendimento final da cultura.

O Si é um elemento benéfico para as plantas superiores. Seu efeito é observado em situações de múltiplos estresses. Quando absorvido, é acumulado em órgãos como folhas e colmos e forma uma estrutura de dupla camada composta de sílica ( $\text{SiO}_2$ ), que

vai ser depositada na cutícula e atua de forma estrutural. Também influencia a fisiologia e o metabolismo das plantas, com aumento do poder antioxidante (Liang et al., 2007; Gong et al., 2008; Bukhari et al., 2015). Sua principal importância em situações de deficiência hídrica se dá com a redução da perda excessiva de água pelo processo de transpiração das plantas (Gao et al., 2006).

Este elemento atua de forma importante nas plantas, contribui para o aumento do crescimento e da produção vegetal, ocasionado de forma indireta por folhas mais eretas, diminuição do auto-sombreamento e maior rigidez estrutural dos tecidos (Sarto et al., 2014), além de gerar certa proteção contra estresses abióticos (Ma e Takahashi, 1991) e bióticos (Epstein, 1994; Marschner, 1995). Plantas de trigo que receberam aplicação foliar de Si produziram sementes com maior massa (Toledo et al., 2012). Apesar de o efeito na qualidade fisiológica das sementes não ter sido observado (Toledo et al., 2012; Segalin et al., 2013), espera-se que a maior tolerância das plantas aos estresses contribua para a produção de sementes com maior qualidade fisiológica nessas condições.

Durante o processo de maturação das sementes, o ambiente é determinante para sua qualidade fisiológica. Assim, estresses abióticos, como o déficit hídrico, podem reduzir a qualidade das sementes produzidas (Eskandari e Alizadeh-Amraie, 2017). Por outro lado, alguns trabalhos reportam o aumento da tolerância das sementes a determinados estresses, condicionadas pelo efeito do ambiente onde ocorreu o processo de maturação (Bilichak e Kovalchuk, 2016). Esse efeito já foi observado em trigo no aumento da tolerância ao estresse hídrico nas gerações seguintes por meio da exposição das plantas à alta concentração de CO<sub>2</sub> (Li et al., 2017). Assim, sementes produzidas em condições de déficit hídrico poderiam ter uma maior tolerância a esse estresse.

Desta forma, o objetivo com o presente trabalho foi avaliar a tolerância das sementes de trigo, produzidas em plantas sob diferentes lâminas de irrigação e com aplicação foliar de Si, ao estresse hídrico durante a germinação.

## MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada no Laboratório de Análise de Sementes do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa (UFV). Foram utilizadas sementes de trigo da cultivar BRS 264. As sementes foram produzidas de abril a agosto de 2017, em Viçosa, MG.

Durante a produção dessas sementes, as plantas foram submetidas a diferentes lâminas de irrigação a partir da antese, na presença ou ausência de Si por aplicação foliar.

### **Avaliação da tolerância das sementes produzidas ao estresse hídrico**

Após a colheita manual, as espigas foram debulhadas com auxílio de uma trilhadora experimental. As sementes foram secas naturalmente, em ambiente de laboratório, até 12% de umidade. Em seguida foi investigada a tolerância das sementes ao déficit hídrico.

As seguintes avaliações foram realizadas:

### **Germinação**

Quatro repetições de 50 sementes foram distribuídas sobre papel toalha umedecido a 2,5 vezes o peso do papel seco com soluções de PEG 6000 equivalentes aos potenciais osmóticos de -0,2; -0,4 e -0,6 MPa (Villela et al., 1991). Os rolos foram mantidos em germinador regulado a 20 °C. No tratamento controle, o papel toalha foi umedecido somente com água destilada. As avaliações consistiram na contagem diária do número de plântulas normais, até a estabilização dos valores. Com os dados foram calculados a porcentagem final de germinação, no oitavo dia após a semeadura, e a primeira contagem do teste de germinação, no quarto dia após a semeadura (Brasil, 2009). O tempo médio de germinação, foi determinado conforme a Equação 1 e a taxa de germinação conforme Equação 2 (Bewley et al., 2013).

$$TMG = \Sigma(t_i * n_i) / \Sigma n \quad (\text{Eq. 1})$$

$$TG = 1/TMG \quad (\text{Eq. 2})$$

Em que:

TMG = Tempo médio de germinação

TG = Taxa de germinação

n = número de plântulas normais no dia i;

t = é o número de dias do início do teste.

### **Comprimento de parte aérea e raiz de plântulas**

Foi realizado com quatro repetições de dez sementes cada, que foram distribuídas em rolos de papel toalha umedecidos a 2,5 vezes o peso do papel seco, com soluções de PEG 6000, equivalentes aos potenciais osmóticos de -0,2, -0,4 e -0,6 MPa, além do controle com água destilada. Ao final do teste (8º dia) as plântulas foram submetidas às avaliações de comprimento de parte aérea e raiz, que foram separadas e medidas com o auxílio de uma régua graduada. Os resultados foram expressos em cm plântula<sup>-1</sup>.

### **Matéria seca de parte aérea e raiz de plântulas**

Após a avaliação do comprimento, as plântulas tiveram sua parte aérea e raiz separadas e colocadas em estufa a 65°C, onde permaneceram por 72 horas. Posteriormente foi realizada a pesagem do material em balança analítica (0,001g). A matéria seca foi expressa em mg plântula<sup>-1</sup>. Com os dados foi obtida a razão raiz: parte aérea, por meio da divisão dos valores de matéria seca da raiz pelos valores de matéria seca da parte aérea das plântulas.

### **Análise estatística**

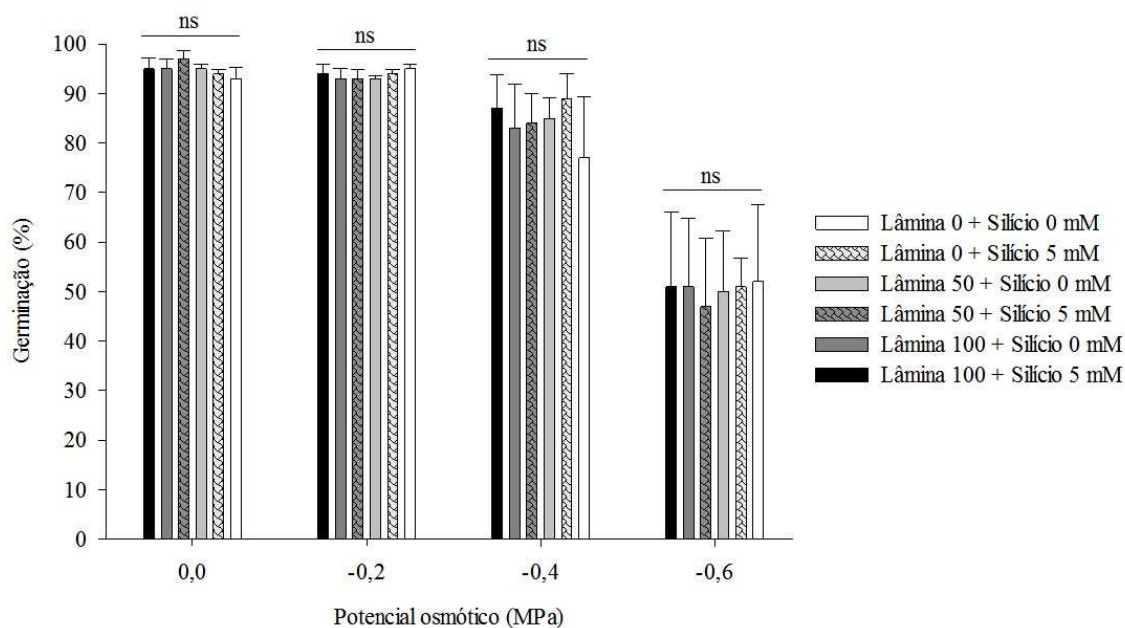
O experimento foi conduzido em delineamento em blocos casualizados, em esquema de parcelas subdividida, com quatro repetições. Nas parcelas foram alocadas as três lâminas de irrigação e os potenciais osmóticos em esquema fatorial 3x4, ou seja, três lâminas e quatro potenciais. Nas subparcelas foi alocado os tratamentos de aplicação foliar de Si, nas doses de 0 mM (controle) e 5 mM de Si.

Os dados foram submetidos à análise de variância. A verificação da normalidade dos erros e da homogeneidade de variâncias se deu por meio dos testes de Shapiro wilk e Bartlett, respectivamente. As médias obtidas para cada lâmina de irrigação foram comparadas pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ); as médias obtidas para os potenciais osmóticos foram representadas pelas médias  $\pm$  erro padrão da média e as médias obtidas para as doses de Si foram comparadas pelo teste F ( $P < 0,05$ ). A análise estatística foi efetuada com o auxílio do software estatístico R (R Core Team, 2017).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

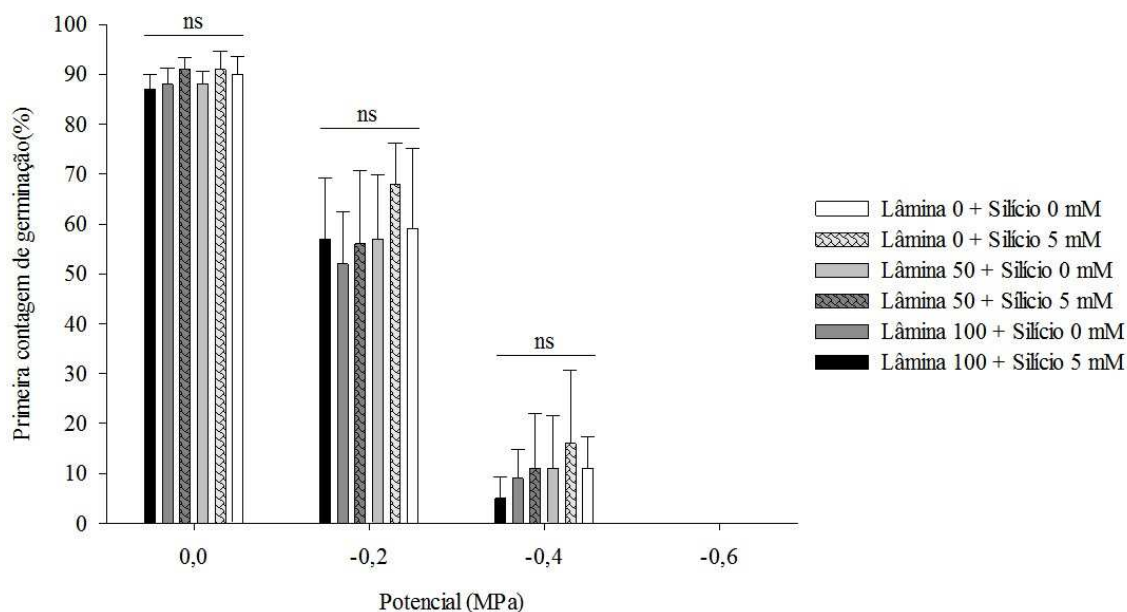
A germinação das sementes de trigo, produzidas sob diferentes lâminas de irrigação, e aplicação foliar de silício nas doses de 0 e 5 mM de Si, sofreu influência negativa do potencial osmótico (Figura 1). Foi observada redução da porcentagem de germinação das sementes, que inicialmente era de valores acima de 90 % no potencial controle (0,0 MPa), a valores aproximados de 50 % de germinação no potencial mais drástico, -0,6 MPa. Essa redução mostra o efeito da redução do potencial osmótico na germinação das sementes de trigo, que pode ser explicado pela influência no processo de absorção de água pelas sementes, que fica comprometido e inviabiliza assim a ocorrência dos eventos relacionados ao processo germinativo (Botelho e Perez, 2001). Apesar da redução drástica observada na germinação das sementes no potencial -0,6 MPa, considera-se que as sementes da cultivar BRS 264 utilizadas neste trabalho, apresentam moderada tolerância ao estresse hídrico durante a germinação, já que ainda foi observada germinação das sementes no menor potencial, apesar de esta cultivar ser classificada em alguns trabalhos como sensível à seca (Giroto et al., 2012).

Não foi observada diferença na germinação das sementes nos diferentes potenciais osmóticos, ao se comparar os tratamentos de irrigação, e as doses de 0 e 5 mM de Si aplicadas via foliar. Portanto, não foi observado efeito benéfico do silício para o aumento da tolerância ao estresse hídrico durante a germinação das sementes de trigo (Figura 1). Entretanto, Tavares et al. (2014) afirmam que a qualidade fisiológica das sementes pode não estar diretamente relacionada à fertilização por silício e sim pela melhoria nas condições de desenvolvimento das plantas, ou seja, plantas mais tolerantes tanto a estresses bióticos quanto abióticos produzem sementes com maior qualidade fisiológica.



**Figura 1.** Germinação (%) de sementes de trigo oriundas de plantas submetidas a diferentes lâminas de irrigação a partir da antese, e duas doses de silício aplicado via foliar, em função do potencial osmótico. ns – não significativo pelo teste F. As barras horizontais comparam os diferentes tratamentos dentro de cada potencial osmótico.

Para o teste de primeira contagem de germinação foram observados resultados semelhantes aos obtidos para a germinação total (Figura 2), com redução dos valores com a redução do potencial osmótico. Contudo, constatou-se redução expressiva da velocidade de germinação, sendo observado germinação nula para todos os tratamentos no potencial mais extremo, -0,6 MPa, no 4º dia após a montagem do teste. Essa redução mostra o efeito do déficit hídrico na velocidade de germinação das sementes de trigo. Em potenciais osmóticos muito negativos, respostas como redução na germinação e o seu retardamento são observados (Mortele et al., 2008), podendo haver a completa inibição, assim como constatado para o potencial de -0,6 MPa; isso mostra a sensibilidade das sementes de trigo para esse potencial osmótico.

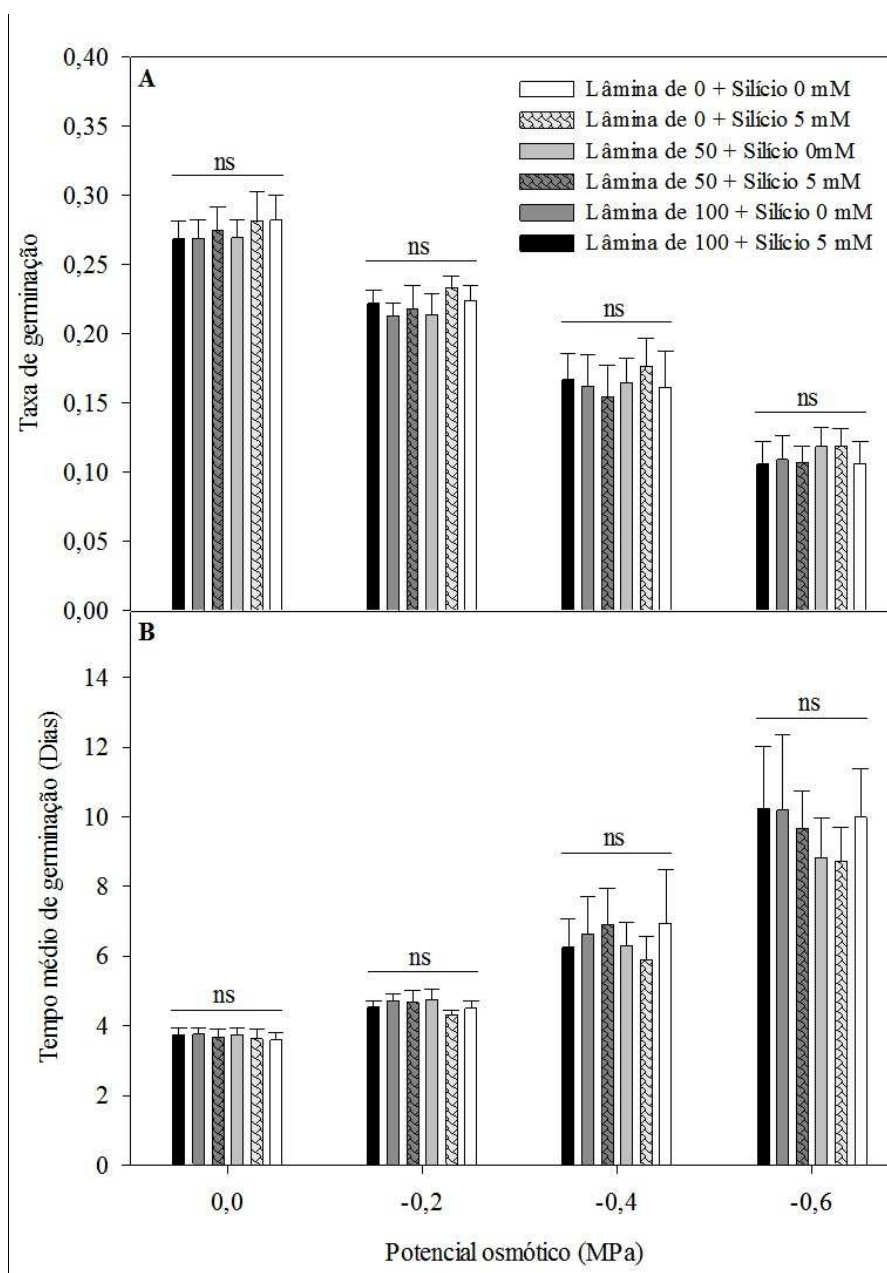


**Figura 2.** Primeira contagem de germinação (%) de sementes de trigo oriundas de plantas submetidas a diferentes lâminas de irrigação a partir da antese, e duas doses de silício aplicado via foliar, em função do potencial osmótico. ns – não significativo pelo teste F. As barras horizontais comparam os diferentes tratamentos dentro de cada potencial osmótico.

Efeito significativo do potencial osmótico foi observado para a taxa de germinação (Figura 3A) e para o tempo médio de germinação das sementes (Figura 3B). Os maiores valores de taxa de germinação foram observados para o controle (0,0 MPa). Com a redução do potencial osmótico foi observada redução da taxa de germinação das sementes. Menores valores de tempo médio de germinação foram observados para o controle (0,0 MPa). Foi observado aumento dos valores de acordo com a redução do potencial osmótico, ou seja, a germinação das sementes ficou mais lenta. Já para os tratamentos de lâmina de irrigação e os dois tratamentos de silício não foram observadas diferenças para a taxa de germinação das sementes e para o tempo médio de germinação (Figuras 3A e 3B).

O déficit hídrico geralmente influencia a velocidade e a porcentagem de germinação das sementes (Ávila et al., 2007) e contribui para uma elevação no tempo necessário para a germinação nesta condição desfavorável. Isto pode estar relacionado ao tempo que é necessário para que as sementes desenvolvam mecanismos de adaptação (Barroso, 2010). Em potenciais osmóticos reduzidos, o processo de embebição pelas sementes se dá de forma mais lenta, e como o processo de germinação das sementes é dependente da água para que ocorra a ativação dos processos metabólicos que levam à germinação, a limitação hídrica reduz a velocidade destes processos, o que justifica a

redução da taxa de germinação (Figura 3A) e o aumento do tempo médio de germinação (Figura 3B).



**Figura 3.** Taxa de germinação (A) e tempo médio de germinação (B) de sementes de trigo oriundas de plantas submetidas a diferentes lâminas de irrigação a partir da antese, e duas doses de silício aplicado via foliar, em função do potencial osmótico. ns – não significativo pelo teste F. As barras horizontais comparam os diferentes tratamentos dentro de cada potencial osmótico.

A redução do potencial hídrico no substrato de germinação limita a absorção de água pelas sementes e faz com que haja um retardamento dos processos metabólicos que culminam com a germinação (Botelho e Perez, 2001). Assim, tanto a germinação (Figura 1), quanto a velocidade de germinação (Figuras 2 e 3), foram reduzidas com o estresse

hídrico, porém não foram observados efeitos da aplicação foliar do Si, e nem da restrição hídrica imposta às plantas durante a maturação das sementes.

Com o objetivo de avaliar alterações fotossintéticas nas plantas de trigo em função da aplicação de silício, Gong et al. (2008) constataram aumento na taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> pelas folhas em situação de estresse e aumento na concentração de enzimas relacionadas ao estresse hídrico, constatando diminuição do estresse na planta pela aplicação do silício. Devido a esses benefícios alcançados pelas plantas em situação de estresse, pela aplicação do silício, tornando-as mais tolerantes, há maior probabilidade de as sementes produzidas apresentarem maior vigor, o que reflete no seu desempenho em situações adversas durante a germinação.

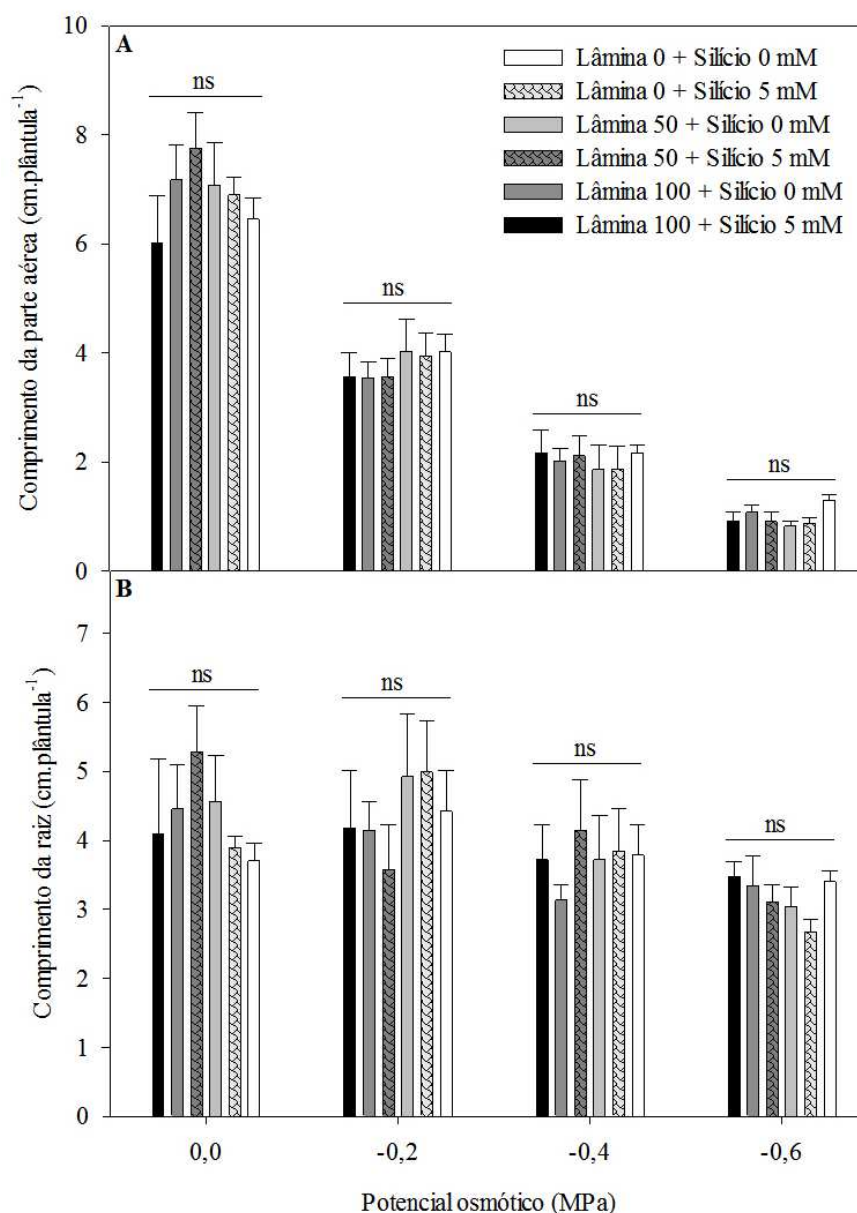
Por outro lado, em alguns casos, a restrição hídrica imposta às plantas durante a maturação das sementes pode aumentar a sua tolerância ao estresse, o que exemplifica uma memória ao estresse que, segundo Conrath et al. (2006) seria uma resposta rápida e mais forte a aquele anteriormente ocorrido, seja ele abiótico ou biótico. O efeito materno em trigo para tolerância ao estresse hídrico por meio da exposição das plantas à concentração de CO<sub>2</sub> já foi observado (Li et al., 2017), porém foram necessárias pelo menos duas ou três gerações, sob condições severas de estresse, para que fosse evidenciado. Assim, no presente trabalho, o estresse hídrico pode não ter sido severo a ponto de influenciar a tolerância das sementes produzidas a este estresse e, como se trata da primeira geração, essa avaliação seria ainda precoce.

Não foi observada diferença entre as diferentes lâminas de irrigação, nas doses de 0 e 5 mM de silício, no crescimento das plântulas sob déficit hídrico, quando comparados os dados de comprimento da parte aérea (Figura 4A) e da raiz (Figura 4B). Por outro lado, houve efeito do potencial osmótico para as duas variáveis, que apresentaram redução do comprimento com a redução do potencial hídrico.

Reduzido potencial osmótico, além de afetar a porcentagem e a velocidade de germinação, como observado neste experimento (Figuras 1, 2 e 3), afeta o crescimento das plântulas devido ao decréscimo na expansão celular (Taiz e Zeiger, 2013). Contudo, a redução do comprimento da parte aérea foi mais intensa, se comparada ao observado para o comprimento de raiz.

Essa menor redução do comprimento da raiz pode ser atribuída a um rápido ajuste osmótico, de forma a permitir o restabelecimento da pressão de turgor; assim, é retomado o gradiente de potencial, com a conseqüente absorção de água e o crescimento das raízes

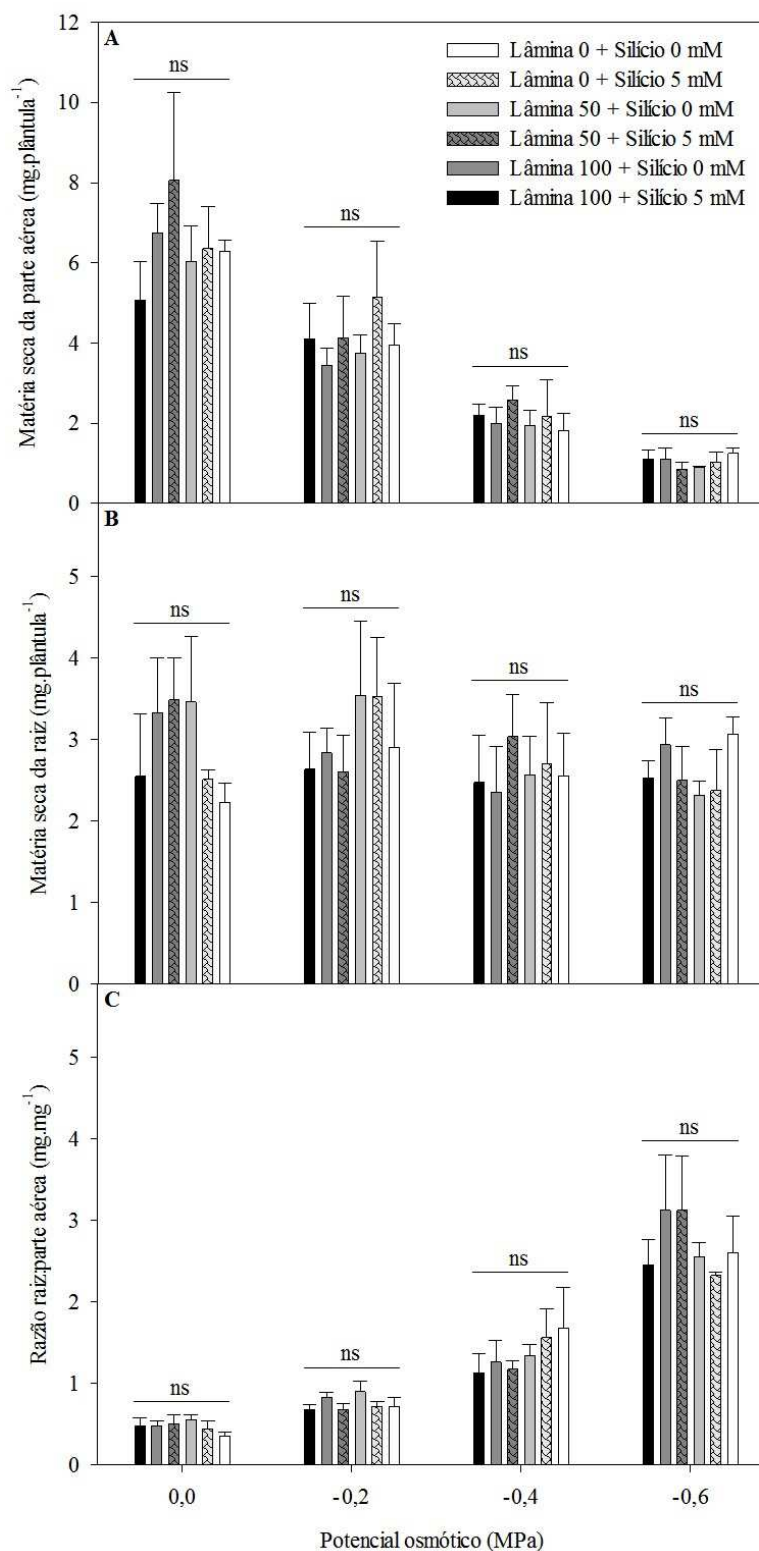
(Hsiao e Xu, 2000). Em contrapartida, esse ajuste osmótico nas folhas ocorre de forma lenta, o que gera uma diminuição ou parada no aumento das paredes celulares, ocasionando menor crescimento da parte aérea. Portanto, a não alteração do crescimento das raízes em condições de deficiência hídrica é um mecanismo de adaptação das plantas a essa condição (Magalhães-Filho et al., 2008; Hsiao e Xu, 2000).



**Figura 4.** Comprimento da parte aérea (A) e raiz (B) de plântulas de trigo oriundas de sementes produzidas em plantas submetidas a diferentes lâminas de irrigação a partir da antese, e duas doses de silício aplicado via foliar, em função do potencial osmótico. ns – não significativo pelo teste F. As barras horizontais comparam os diferentes tratamentos dentro de cada potencial osmótico.

Comportamento análogo foi encontrado para a matéria seca da parte aérea (Figura 5A) e da raiz (Figura 5B) das plântulas. Para essas variáveis, não foi observada diferença entre os tratamentos avaliados, porém houve redução da massa seca da parte aérea das plântulas, já a partir do potencial  $-0,2$  MPa, que foi mais drástica do que a redução observada para a massa seca da raiz. Este resultado também pode estar relacionado à estratégia das plantas de se adaptarem à condição de deficiência hídrica, mantendo ou aumentando o fluxo de reservas para o sistema radicular com o objetivo de manter o seu crescimento em busca de água.

Para a razão raiz: parte aérea das plântulas, houve efeito significativo do potencial osmótico, com o maior valor encontrado para o potencial de  $-0,6$  MPa (Figura 5C). Steiner et al. (2017), em estudo sobre a tolerância das culturas de aveia preta (*Avena strigosa* Schreb., cv. AgroPlanalto) e trigo (cv. Jadeíte 11) ao déficit hídrico durante a fase inicial de crescimento das plântulas, observaram que a proporção de matéria seca alocada na parte aérea das plântulas diminuiu em relação a alocada na raiz com a diminuição do potencial osmótico. Essa relação é um dos índices utilizados como estimativa da distribuição da matéria seca entre a parte aérea e os sistemas radiculares, sendo um bom indicador dos efeitos sobre a matéria seca da raiz e da parte aérea das plântulas (Boutraa et al., 2010). Steiner et al. (2017) afirmam que, durante a fase de estabelecimento da planta, a alocação de matéria seca para o sistema radicular aparenta ser um mecanismo de proteção para a cultura tolerar uma condição de falta de água.



**Figura 5.** Matéria seca da parte aérea (A), matéria seca da raiz (B) e razão raiz:parte aérea (C) de plântulas de trigo oriundas de sementes produzidas em plantas submetidas a diferentes lâminas de irrigação a partir da antese, e duas doses de silício aplicado via foliar, em função do potencial osmótico. ns – não significativo pelo teste F. As barras horizontais comparam os diferentes tratamentos dentro de cada potencial osmótico.

Em geral, os tratamentos de lâmina de irrigação e aplicação foliar de silício impostos durante a produção das sementes de trigo não influenciaram a germinação e o vigor, bem como a tolerância das sementes ao estresse hídrico na fase de germinação e desenvolvimento inicial de plântulas. Contudo, as sementes mostraram-se sensíveis ao estresse hídrico durante a germinação, sendo observadas reduções na germinação e na velocidade de germinação identificados pelos testes de germinação, primeira contagem de germinação, taxa de germinação e tempo médio de germinação, à medida que o potencial osmótico reduziu.

O crescimento das plântulas também sofreu efeitos do estresse hídrico durante a germinação das sementes de trigo e crescimento inicial das plântulas, que foi mais expressivo na parte aérea das plântulas em relação ao crescimento da raiz. Isso foi identificado no experimento pela avaliação do comprimento da parte aérea e da raiz e do índice da razão raiz: parte aérea que mostra a distribuição da matéria seca entre as duas estruturas. Estes resultados podem ser explicados pela possível adaptação das plântulas a condição de estresse imposta.

## CONCLUSÕES

A restrição hídrica na fase de maturação das sementes, bem como a aplicação foliar de silício nas plantas de trigo, não influenciou a germinação e o vigor das sementes e nem a tolerância delas à condição de estresse hídrico durante a germinação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, S.R.M.; SANTOS, J.M.; TABOSA, D.D.S.; BENEDETTI, E.; ALBRECHT, J.; CHAGAS, J.; SILVA, M.S. Estudos de cultivares de trigo submetidas ao estresse hídrico em casa de vegetação. In: **Embrapa Trigo-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: REUNIÃO DA COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO E TRITICALE, 8.; SEMINÁRIO TÉCNICO DO TRIGO, 9., 2014, Canela; REUNIÃO DA COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO E TRITICALE, 9.; SEMINÁRIO TÉCNICO DO TRIGO, 10., 2015, Passo Fundo. Anais... Passo Fundo: Biotrigo Genética: Embrapa Trigo, 2015.

ÁVILA, M.R.; BRACCINI, A.D.L.; SCAPIM, C.A.; FAGLIARI, J.R.; SANTOS, J.D. Influência do estresse hídrico simulado com manitol na germinação de sementes e crescimento de plântulas de canola. **Revista Brasileira de Sementes**, v.29, n.1, p.98-106, 2007.

BARROSO, C.M.; FRANKE, L.B.; BARROS, I.B.I. Substrato e luz na germinação das sementes de rainha-do-abismo. **Horticultura brasileira**, v.28 n.2, p.236-240, 2010.

BECKERT, O.P.; SILVA, W.R. O uso da hidratação para estimar o desempenho de sementes de soja. **Bragantia**, v.61, n.1, p.61-69, 2002.

BEWLEY, J.D.; BRADFORD, K.J.; HILHORST, H.W.; NONOGAKI, H. **Seeds: Physiology of Development, Germination and Dormancy**. 3rd ed. Springer, New York. 392 p.

BILICHAK, A.; KOVALCHUK, I. Transgenerational response to stress in plants and its application for breeding. **Journal of experimental botany**, v.67, n.7, p.2081-2092, 2016.

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

BOUTRAA, T.; AKHKHA, A.; AL-SHOAIBI, A.A.; ALHEJELI, A.M. Effect of water stress on growth and water use efficiency (WUE) of some wheat cultivars (*Triticum durum*) grown in Saudi Arabia. **Journal of Taibah University for Science**, v.3, n.1, p.39-48, 2010.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**, Brasília: SNAD/DNDV/CLAV, 398 p. 2009.

BUKHARI, M.A.; ASHRAF, M.Y.; AHMAD, R.; WARAICH, E.A.; HAMEED, M. Improving drought tolerance potential in wheat (*Triticum aestivum* L.) through exogenous silicon supply. **Pakistan Journal of Botany**, v.47, n.5, p.1641-1648, 2015.

CONRATH, U.; BECKERS, G.J.M.; FLORS, V.; GARCIA-AGUSTIN, P.; JAKAB, G.; MAUCH, F.; NEWMAN, M.A.; PIETERSE, C.M.J.; POINSSOT, B.; POZO, M.J.; PUGIN, A.; SCHAFFRATH, U.; TON, J.; WENDEHENNE, D.; ZIMMERLI, L.; MAUCHMANI, B. Priming: getting ready for battle. **Molecular Plant-Microbe Interactions**. v.19, n.10, p.1062–1071, 2006.

DHANDA, S.S.; SETHI, G.S.; BEHL, R.K. Indices of drought tolerance in wheat genotypes at early stages of plant growth. **Journal of agronomy and crop science**, v.190, n.1, p.6-12, 2004.

EPSTEIN, E. A anomalia de silício em biologia vegetal. **Proceedings of National Academy of United States of America**, Washington, v.91, n.1, p.11-17, 1994.

ESKANDARI, H.; ALIZADEH-AMRAIE, A. Evaluation of seed quality of wheat (*Triticum aestivum*) under water limitation induced by a partial root-zone irrigation regime. **Seed Science and Technology**, v.45, n.1, p.248-251, 2017.

GAO, X.; ZOU, C.; WANG, L.; ZHANG, F. Silicon decreases transpiration rate and conductance from stomata of maize plants. **Journal of Plant Nutrition**, v.29, n.9, p.1637-1647, 2006.

GIROTTO, L.; ALVES, J.D.; DEUNER, S.; ALBUQUERQUE, A.C.S.; TOMAZONI, A.P. Tolerância à seca de genótipos de trigo utilizando agentes indutores de estresse no processo de seleção. **Revista Ceres**, v.59, n.2, 2012.

GONG, H.J.; CHEN, K.M.; ZHAO, Z.G.; CHEN, G.C.; ZHOU, W.J. Effects of silicon on defense of wheat against oxidative stress under drought at different developmental stages. **Biologia Plantarum**, v.52, n.3, p.592-596, 2008.

HSIAO, T.C.; XU, L.K. Sensitivity of growth of roots versus leaves to water stress: biophysical analysis and relation to water transport. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.51, p.1595-1616, 2000.

HUBBARD, M.; GERMIDA, J.; VUJANOVIC, V. Fungal endophytes improve wheat seed germination under heat and drought stress. **Botany**, v.90, n.2, p.137-149, 2012.

KASHIF, M. Performance of wheat genotypes under osmotic stress at germination and early seedling growth stage. **Sky Journal of Agricultural Research**, v.6, p.971-975, 2011.

Li, Y.; Li, X.; Yu, J.; Liu, F. Effect of the transgenerational exposure to elevated CO<sub>2</sub> on the drought response of winter wheat: Stomatal control and water use efficiency. **Environmental and Experimental Botany**, v.136, p.78-84, 2017.

LIANG, Y.C.; SUN, W.C.; ZHU, Y.G.; CHRISTIE, P. Mechanisms of silicon-mediated alleviation of abiotic stresses in higher plants: a review. **Environmental Pollution**, v.147, n.2, p.422-428, 2007.

MA, J.; TAKAHASHI, E. Effect of silicate on phosphate availability for rice in a P-deficient soil. **Plant and Soil**, v.133, n.2, p.151-155, 1991.

MAGALHÃES-FILHO, J.R.; AMARAL, L.R.D.; MACHADO, D.F.S.P.; MEDINA, C.L.; MACHADO, E.C. Deficiência hídrica, trocas gasosas e crescimento de raízes em laranjeira ‘valência’ sobre dois tipos de porta-enxerto Laranjeira “Valência” sobre dois tipos de porta-enxertos. **Bragantia**. v.67. n.1, p.75-82. 2008.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. London: Academic, 1995. 889p.

MONTEIRO, J. E. **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. Brasília: INMET, 2009. 530p.

MORTELE, L.M.; SCAPIM, C.A.; LUCCA, A.B. Influência do estresse hídrico sobre o desempenho fisiológico de sementes de híbridos simples de milho-pipoca. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.32, n.6, p.1810-1817, 2008.

NOGUEIRA, R.J.; MORAES, J.A.P.D.; BURITY, H.A.; BEZERRA NETO, E. Alterações na resistência à difusão de vapor das folhas e relações hídricas em aceroleiras submetidas a déficit de água. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.13, n.1, p.75-87, 2001.

PEREIRA, M.D.; LOPES, J.C. Germinação e desenvolvimento de plântulas de pinhão manso sob condições de estresse hídrico simulado. **Semina: Ciências Agrárias**, v.32, n.4, p.1837-1842, 2011.

R Core Team (2017). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

- RAUF, M.; MUNIR, M.; HASSAN, M.U.; AHMAD, M.; AFZAL, M. Performance of wheat genotypes under osmotic stress at germination and early seedling growth stage. **African journal of biotechnology**, v.6, n.8, 2007.
- SARTO, M.V.M.; RAMPIM, L.; LANA, M.D.C.; ROSSET, J.S.; ECCO, M.; WOBETO, J.R. Attributes of soil chemical and development of culture wheat for each silicon fertilization. **Revista Agrarian**, v.7, n.25, p.390-400, 2014.
- SEGALIN, S.R.; HUTH, C.; ROSA, T.D.A.; PAHINS, D.B.; MERTZ, L.M.; NUNES, U.R.; MARTIN, T.N. Foliar application of silicon and the effect on wheat seed yield and quality. **Journal of Seed Science**, v.35, n.1, p.86-91, 2013.
- STEINER, F.; ZUFFO, A.M.; ZOZ, T.; ZOZ, A.; ZOZ, J. Drought tolerance of wheat and black oat crops at early stages of seedling growth. **Revista de Ciências Agrárias**, v.40, n.3, p.576-585, 2017.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918 p.
- TAVARES, L.C.; FONSECA, D.Â.R.; RUFINO, C.A.; OLIVEIRA, S.D.; BRUNES, A.P.; VILLELA, F.A. Adubação silicatada em trigo: rendimento e qualidade de sementes. **Revista de la Facultad de Agronomía**, v.113, n.1, p.94-99, 2014.
- TOLEDO, M.Z.; CASTRO, G.S.A.; CRUSCIOL, C.A.C.; SORATTO, R.P.; CAVARIANI, C.; ISHIZUKA, M.S.; PICOLI, L.B. Aplicação foliar de silício e qualidade fisiológica de sementes de aveia-branca e trigo. **Semina: Ciências Agrárias**, v.33, n.5, p.1693-1702, 2012.
- VILLELA, F.A.; DONI FILHO, L.; SEQUEIRA, E.L. Tabela de potencial osmótico em função da concentração de polietileno glicol 6.000 e da temperatura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.26, n.11/12, p.1957-1968, 1991.
- YAGMUR, M.; KAYDAN, D. Alleviation of osmotic stress of water and salt in germination and seedling growth of triticale with seed priming treatments. **African Journal of Biotechnology**, v.7, n.13, p. 2156–2162, 2008.