

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel
Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes



Dissertação

**Adubação com fontes de silício via solo na qualidade de sementes de trigo
sob estresse salino**

César Iván Suárez Castellanos

Pelotas, 2014

César Iván Suárez Castellanos

Adubação com fontes de silício via solo na qualidade de sementes de trigo sob estresse salino

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências.

Orientador: Dr. Antonio Carlos Souza Albuquerque Barros

Pelotas, 2014

Dados de catalogação na fonte:
(Gabriela Machado Lopes – CRB-10/1842)

C348a Castellanos, César Iván Suárez

Adubação com fontes de silício via solo na qualidade de sementes de trigo sob estresse salino / César Iván Suárez Castellanos; orientador Antonio Carlos Souza Albuquerque Barros - Pelotas, 2014.

56 f.: il.

Dissertação (Mestrado) Programa de Pós- Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, faculdade de Agronomia Eliseu Maciel. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2014.

1. *Triticum aestivum* L. 2. Estresse salino 3. Semente 4. Silício 5. Qualidade fisiológica I. Barros, Antonio Carlos Souza Albuquerque (orientador) II. Título.

CDD 633.11

César Iván Suárez Castellanos

Adubação com fontes de silício via solo na qualidade de sementes de trigo sob estresse salino

Dissertação aprovada, como requisito parcial, para obtenção do grau de Mestre em Ciências, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas.

Data da Defesa: 17 de Fevereiro de 2014

Banca examinadora

.....
Prof. Dr. Antonio Carlos Souza Albuquerque Barros (Orientador)
Doutor em Ciência e Tecnologia de Sementes pela Universidade Federal de Pelotas

.....
Dr. Geri Eduardo Meneghello.
Doutor em Ciência e Tecnologia de Sementes pela Universidade Federal de Pelotas

.....
Prof. Dra. Lilian Vanussa Madruga de Tunes
Doutora em Agronomia pela Universidade Federal de Santa Maria

.....
Prof. Dr. Jorge Luiz Martins
Doutor em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dedico esta dissertação aos meus pais, César e Marisela, por me apoiarem incondicionalmente em todas minhas decisões, além de me ajudarem nos momentos da vida quando estive perto de perder o caminho certo. Amo vocês.

Agradecimentos

Primeiro a Deus por me acompanhar nesta jornada e me dar força para superar todos os obstáculos;

Aos meus pais pelo apoio e conselhos que me levaram a conquistar mais uma meta;

A minha família, que embora à distância, sempre estiveram comigo nestes dois anos longe de casa;

À Universidade Federal de Pelotas (UFPel) e ao Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes pela oportunidade de aprimoramento dos conhecimentos.

À Organização de Estados Americanos e ao Grupo Coimbra de Universidades Brasileiras por me concederem a bolsa de estudos;

Ao meu orientador Dr. Antonio Carlos Souza Albuquerque Barros, pela sua orientação neste trabalho;

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes por todos os ensinamentos transmitidos;

Aos meus colegas e amigos, Mariana Peil, Cristiane Deuner, Carolina Borges, Elisa Lemes, Sandro de Oliveira, Mateus Pino, Alberto Bohn, Alex Leal, Flávio Abib, Winícius Menegaz, Lucas Griep e Daniel Fonseca, pela sua colaboração na execução do trabalho;

A Taciana M. A. Kuhn, por ser minha companhia e meu apoio neste país;

Ao grupo do Amigo Universitário da UFPel, em especial a Stefânia Costa, Mabel Mascarenhas, Rita G. Carvalho e Marcelo P. Cigales por fazerem mais fácil e agradável minha estadia nesta cidade;

A todas as pessoas que contribuíram na obtenção deste título.

Resumo

CASTELLANOS, César Iván Suárez. **Adubação com fontes de silício via solo na qualidade de sementes de trigo sob estresse salino**. 2014. 56f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Sementes) - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2014.

O trigo (*Triticum aestivum* L.) é um cereal da família *Poaceae*, que é usado como matéria-prima na fabricação de diversos alimentos. É o cereal mais produzido a nível mundial e a quarta maior cultura no Brasil. Calcula-se que 50% das áreas irrigadas no mundo apresentam problemas causados pela salinidade diminuindo a produção das culturas. O silício vem sendo usado para diminuir o estresse causado pelos sais nas plantas. O objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito da adubação com duas fontes de silício sobre a qualidade de sementes de trigo sob estresse salino. Foram realizados dois experimentos, um utilizando como fonte de silício o caulim e outro cinza de casca de arroz. Sementes de trigo da cultivar Quartzo foram semeadas em baldes de 10L contendo solo, o qual foi corrigido conforme a análise de solo e as recomendações técnicas para a cultura. O silício foi incorporado no momento da semeadura, sendo aplicadas doses crescentes de ambas as fontes: 0 (controle), 1.000, 2.000 e 3.000 Kg ha⁻¹. Para simular o estresse salino foi realizada a irrigação com soluções de NaCl durante todo o ciclo de cultivo, nas concentrações de 0 (controle), 8 e 16 mM. O experimento foi realizado sob desenho inteiramente casualizado com esquema fatorial 3x4 com quatro repetições. Foram avaliadas características agronômicas e a qualidade fisiológica das sementes. Os resultados mostraram que a aplicação de 3.000 Kg ha⁻¹ de silício em forma de caulim, aumenta a porcentagem de germinação das sementes produzidas quando as plantas não são expostas à estresse salino. A aplicação de silício via solo aumenta o peso de mil sementes em condições de estresse salino ou não. O uso de cinza de casca de arroz como fonte de silício, até uma dose de 2.000 Kg ha⁻¹, estimula o desenvolvimento das características agronômicas das plantas de trigo. As características agronômicas e qualidade fisiológica das sementes produzidas foram influenciadas diferenciadamente pelas fontes de silício usadas.

Palavras-chave: *Triticum aestivum* L.; estresse salino; semente; silício; qualidade fisiológica.

Abstract

CASTELLANOS, César Iván Suárez. **Fertilization whit sources of silicon in the soil in the seed quality of wheat under salt stress.** 2014. 56f. Dissertation (Master Degree em Ciência e Tecnologia de Sementes) - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2014.

Wheat (*Triticum aestivum* L.) is a cereal of the *Poaceae* family, which is used as feedstock in the manufacture of various foods. It is the most produced in the world and the fourth largest cereal crop in Brazil. It is estimated that 50% of irrigated areas in the world have problems caused by salinity decreasing crop yields. Silicon has been used to reduce stress caused by salts in plants. The objective of this study was to evaluate the effect of fertilization with two silicon sources on the quality of wheat seeds under salt stress. Two experiments were performed, one using a silicon source kaolin and other rice husk ash. Seeds of wheat cultivar Quartzo were sown in 10L buckets containing soil, which was corrected according to soil analysis and technical advice on the culture. Silicon was incorporated at the time of seeding, increasing doses of both sources being applied: 0 (control), 1.000, 2.000 and 3.000 Kg ha⁻¹. To simulate the salinity irrigation was performed with NaCl solutions throughout the crop cycle, at concentrations of 0 (control), 8 and 16 mM. The experiment was conducted in a completely randomized design with a 3x4 factorial design with four replications. Agronomic traits and seed quality were evaluated. The results showed that the application of 3.000 Kg ha⁻¹ of silicon in the form kaolin increased the rate of germination of seeds harvested when the plants are not exposed to salt stress. The application of silicon in the soil increases the weight of a thousand seeds in conditions of saline stress or not. The use of rice husk ash as a source of silicon to a dose of 2,000 Kg ha⁻¹, stimulates the development of agronomic traits in wheat plants. Agronomic and physiological seed quality is viewed differently influenced by the sources of silicon used.

Key-words: *Triticum aestivum* L; salt stress; seed; silicon; physiological quality.

Lista de Figuras

- Figura 1 - Peso de mil sementes (média das três concentrações de sal) em função da adubação com caulim por incorporação no solo na cultura de trigo, cv. Quartzo. PMS: peso de mil sementes. Capão do Leão, RS, Brasil, 2014. 27
- Figura 2 - Germinação das sementes produzidas (A), Primeira contagem de germinação das sementes produzidas (B). Figuras em função da interação entre a irrigação com água salina e a adubação com caulim por incorporação no solo na cultura de trigo, cv. Quartzo. mM: milimolar. Capão do Leão, RS, Brasil, 2014..... 30
- Figura 3 - Comprimento da parte aérea das plântulas oriundas das sementes produzidas (A), Comprimento da raiz das plântulas oriundas das sementes produzidas (B). Figuras em função da interação entre a irrigação com água salina e a adubação com caulim por incorporação no solo na cultura de trigo, cv. Quartzo. mM: milimolar. NS= não significativo. Capão do Leão, RS, Brasil, 2014. ... 32
- Figura 4 - Perfil eletroforético da enzima α -amilase. A) Sementes de trigo. B) Plântulas de trigo na primeira contagem de germinação. C) Plântulas de trigo na segunda contagem de germinação. Sementes produzidas por plantas de trigo, cv. Quartzo, em função da irrigação com soluções de NaCl e adubação via solo com caulim. mM: milimolar. Capão do Leão, RS, Brasil, 2014..... 34
- Figura 5 - Número de espigas por planta (A), CV%= 15,73. Número de espigas com sementes por planta (B), CV%= 18,36. Figuras (média das três concentrações de sal) em função da adubação com silício em forma de cinza de casca de arroz por incorporação no solo na cultura de trigo, cv. Quartzo. Capão do Leão, RS, Brasil, 2014. 36
- Figura 6 - Peso de espigas sem debulhar por planta (A), CV%= 14,76. Peso de espigas debulhadas por planta (B), CV%= 16,44. Figuras (média

	das três concentrações de sal) em função da adubação com silício em forma de cinza de casca de arroz por incorporação no solo na cultura de trigo, cv. Quartzo. Capão do Leão, RS, Brasil, 2014.	37
Figura 7 -	Peso de sementes produzidas por planta, CV%= 14,76. Figura (média das três concentrações de sal) em função da adubação com silício em forma de cinza de casca de arroz por incorporação no solo na cultura de trigo, cv. Quartzo. Capão do Leão, RS, Brasil, 2014.	38
Figura 8 -	Peso de mil sementes (PMS) em função da interação entre a irrigação com água salina e a adubação com cinza de casca de arroz por incorporação no solo na cultura de trigo, cv. Quartzo. mM: milimolar. Capão do Leão, RS, Brasil, 2014.....	40
Figura 9 -	Comprimento da parte aérea das plântulas oriundas das sementes produzidas (A). Comprimento da raiz das plântulas oriundas das sementes produzidas (B). Figuras em função da interação entre a irrigação com água salina e a adubação com cinza de casca de arroz por incorporação no solo na cultura de trigo, cv. Quartzo. mM: milimolar. NS= não significativo. Capão do Leão, RS, Brasil, 2014. ...	43
Figura 10 -	Perfil eletroforético da enzima α -amilase. Sementes de trigo (A). Plântulas de trigo na primeira contagem de germinação (B). Plântulas de trigo na segunda contagem de germinação (C). Sementes produzidas por plantas de trigo, cv. Quartzo, em função da irrigação com soluções de NaCl e adubação via solo com cinza de casca de arroz mM: milimolar. Capão do Leão, RS, Brasil, 2014.	44

Lista de Tabelas

- Tabela 1 - Número de espigas por planta (NE), número de espigas com sementes por planta (ES), número de sementes por espiga (SE), peso de espigas sem debulhar por planta (PESD), peso de espigas debulhadas por planta (PED), peso de sementes produzidas por planta (PS) e peso de mil sementes (PMS), em função da aplicação de doses de NaCl na água de irrigação no desenvolvimento da cultura de trigo, cv. Quartzo. Capão do Leão, RS, Brasil, 2014. 26
- Tabela 2 - Germinação (G) e primeira contagem de germinação (PCG) das sementes produzidas e comprimento da parte aérea (CPA) e da raiz (CR) das plântulas oriundas das sementes produzidas por plantas de trigo, cv. Quartzo, cultivadas sob manejo com aplicação de doses de NaCl na água de irrigação e doses de silício, na forma de caulim, via incorporação no solo. Capão do Leão, RS, Brasil, 2014. 29
- Tabela 3 - Massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca da raiz (MSR) das plântulas oriundas das sementes produzidas por plantas de trigo, cv. Quartzo, em função da aplicação de doses de NaCl na água de irrigação no desenvolvimento da cultura. Capão do Leão, RS, Brasil, 2014. 33
- Tabela 4 - Peso de mil sementes (PMS) e Número de Sementes por Espiga (SE) de plantas de trigo, cv. Quartzo, cultivadas sob manejo com aplicação de doses de NaCl na água de irrigação durante o desenvolvimento da cultura e da aplicação de doses de silício em forma de cinza de casca de arroz, via incorporação no solo. Capão do Leão, RS, Brasil, 2014. 39
- Tabela 5 - Germinação (G) e Primeira contagem de germinação (PCG) das sementes produzidas e massa da matéria seca da parte aérea (MSPA) e da raiz (MSR) das plântulas oriundas das sementes

produzidas por plantas de trigo, cv. Quartzo, cultivadas sob manejo com aplicação de doses de NaCl na água de irrigação durante o desenvolvimento da cultura. Capão do Leão, RS, Brasil, 2014..... 41

Tabela 6 - Comprimento da parte aérea (CPA) e comprimento da raiz (CR) de plântulas oriundas das sementes produzidas por plantas de trigo, cv. Quartzo, cultivadas sob manejo com aplicação de doses de NaCl na água de irrigação durante o desenvolvimento da cultura e da aplicação de doses de silício em forma de cinza de casca de arroz, via incorporação no solo. Capão do Leão, RS, Brasil, 2014. 42

Sumário

1.	Introdução	12
2.	Revisão de Literatura	14
2.1.	A cultura do trigo (<i>Triticum aestivum</i> L.)	14
2.2.	Estresse salino em plantas.....	15
2.2.1.	Efeito do sal nas plantas.....	15
2.2.2.	Tolerância das plantas ao sal.	16
2.3.	Silício (Si).	18
3.	Material e Métodos	20
3.1.	Parâmetros avaliados.....	21
3.1.1.	Características agronômicas.	21
3.1.2.	Qualidade fisiológica das sementes produzidas.....	22
3.2.	Procedimento estatístico.	23
4.	Resultados e Discussão	24
4.1.	Uso do caulim como fonte de silício.	24
4.1.1.	Características agronômicas	24
4.1.2.	Qualidade fisiológica das sementes produzidas.....	27
4.2.	Uso da cinza de casca de arroz como fonte de silício.....	35
4.2.1.	Características agronômicas.	35
4.2.2.	Qualidade fisiológica das sementes produzidas.....	40
5.	Considerações Finais	45
6.	Conclusões	47
	Referências	48
	Apêndices	54

1. Introdução

O trigo (*Triticum aestivum* L.) é um cereal da família *Poaceae*, que é usado como matéria-prima na fabricação de diversos alimentos, como por exemplo, pão, bolos, biscoitos e massas, entre outros (SCHEUER et al., 2011).

Entre os cereais, o trigo ocupa o primeiro lugar na produção mundial de grãos, sendo que na última safra (2012/2013), foram produzidos mundialmente mais de 697 milhões de Mg em cerca de 220 milhões de hectares (USDA, 2013b). No Brasil, a produção de trigo na safra 2012/2013 foi de 4.379.500 Mg em uma área de 1.895.400 hectares, dos quais 976.200 (51%) estão localizados no estado do Rio Grande do Sul (CONAB, 2013).

A Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) (2006) estimou que cerca de 45 milhões de hectares de terras irrigadas e 32 milhões não irrigadas no mundo, apresentam problemas causados pelos sais. Igualmente, calculou que a cada ano são perdidos em média 1,5 milhão de hectares de terras próprias para a agricultura devido à salinização dos solos.

No Brasil, estima-se que cerca de 20 a 25% das áreas irrigadas, apresentam algum grau de salinidade, sendo que a maior parte dessas terras encontra-se localizada na região do semiárido brasileiro (FAO, 2006). Igualmente, Machado e Terres (1995) estimaram que em torno de 200 mil hectares localizados nas planícies costeiras da Lagoa dos Patos e Mirim, e na orla atlântica do estado do Rio Grande do Sul, apresentam variados problemas ocasionados pela salinidade, causados pela origem do solo e/ou o uso de água salina na irrigação (VILLWOCK e TOMAZELLI, 1995 e CARMONA et al., 2011), pelo que, além de outros fatores, estas terras não são inclusas atualmente no zoneamento tritícola do estado (EMBRAPA AGROPECUÁRIA OESTE, 2011).

Segundo o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA, 2013a), a produtividade agrícola no mundo é limitada pelos efeitos da salinidade em torno de 50% das áreas irrigadas usadas na agricultura. Isto se deve ao fato de que atualmente muitos agricultores no mundo são obrigados a usar água salina nas suas

explorações agrícolas como consequência da falta de disponibilidade de recurso hídricos de boa qualidade, além do uso excessivo de fertilizantes nas lavouras com o objetivo de aumentar a produtividade, e a drenagem deficiente dessas áreas.

Várias pesquisas tem sido realizadas com o objetivo de viabilizar a utilização agrícola das áreas que apresentam problemas de salinidade, com destaque para a avaliação de espécies e cultivares sob vários níveis de estresse salino, o melhoramento genético de materiais com o objetivo de criar novas cultivares tolerantes, e vários métodos de manejo agrônômico com finalidade de diminuir os efeitos que a quantidade excessiva de sais causam nas plantas.

Dentre os manejos agrônômicos realizados para atenuar o efeito do estresse salino em plantas, encontra-se a tecnologia de utilização do silício. Segundo Epstein (1999), o silício não é um elemento essencial para as plantas, mas traz benefícios para as mesmas, como por exemplo, aumenta a rigidez dos tecidos, o teor de clorofila, a resistência das células ao dano mecânico, as taxas fotossintéticas, além disso, melhora o aproveitamento da água e confere tolerância a estresses bióticos (ataque de pragas e doenças) e abióticos, como o estresse salino ou hídrico, entre outros.

Conforme pesquisas realizados por Lima et al. (2011), a aplicação de silício na solução nutritiva no cultivo de milho sob estresse salino, atenuou o efeito negativo causado pelo sal sobre o crescimento das plantas, porém, no mesmo experimento realizado com feijão de corda, não foram encontrados os mesmos resultados. Igualmente, Tuna et al. (2008) observaram que o silício aplicado a plantas de trigo submetidas a estresse salino, diminuiu a permeabilidade da membrana plasmática ao sódio, mantendo-a para o potássio e o cálcio, aliviando o estresse causado pelo sal. Além disso, observaram que o transporte de sódio dentro das raízes das plantas foi reduzido moderadamente pela adição de silício nas condições de estresse salino. Já Miranda et al. (2002), verificaram que o silício não teve efeito positivo sobre a produção de matéria seca de folhas, caule e raízes de moringa (*Moringa oleífera*) submetidas a estresse salino.

Poucas são as pesquisas que avaliam o efeito do silício usado em condições de salinidade sobre a produção e qualidade de sementes de trigo. Portanto, este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da adubação com duas fontes de silício sobre a qualidade fisiológica de sementes de trigo sob estresse salino.

2. Revisão de Literatura

2.1. A cultura do trigo (*Triticum aestivum* L.).

O trigo é uma planta anual, cultivada entre as estações de inverno e primavera e o seu grão é processado em farinha, a qual pode ser consumida na forma de pão, massa, bolo, biscoitos entre outros alimentos. Quando o padrão de qualidade não atinge as exigências para o consumo humano, também pode ser usado como ração animal (EMBRAPA TRIGO, 2013). Segundo Miranda (2006), 65% do trigo produzido no mundo é consumido por humanos, 20% é usado na alimentação animal e 15% é usado como semente.

A semente de trigo é uma cariósida com tamanho entre seis e oito mm de comprimento e três a quatro mm de largura. É formada pelo endosperma e o embrião, os quais estão envoltos pelo pericarpo, a testa e a camada de aleurona. O endosperma representa ao redor de 83% da semente e é formado por grânulos de amido, enquanto o embrião ocupa uma pequena porcentagem da cariósida, contendo as estruturas básicas para dar origem a uma nova planta (SETTER e CARLTON, 2000).

O grão de trigo representa cerca de 30% da produção mundial de cereais (MIRANDA, 2006), e devido a sua adaptação a vários climas e solos, seu cultivo ocorre entre 30 e 60° de latitude Norte e 20 e 40° de latitude Sul, em condições particulares encontra-se também no equador e no círculo polar (QUAGLIA, 1991). No Brasil, ocupou a quinta maior área semeada na safra 2012/2013, depois da soja, milho, feijão e arroz (CONAB, 2013).

Esta espécie é considerada como acumuladora de silício (Si) devido ao processo ativo de absorção pelas raízes, atingindo teores médios de Si nas folhas acima de 10 g Kg⁻¹ de matéria seca (OLIVEIRA, 2009). Referente à sua tolerância à salinidade é considerada como medianamente tolerante, no entanto seu desenvolvimento em meios salinos prejudica o crescimento e a produtividade (MEDEIROS et al., 2010).

2.2. Estresse salino em plantas.

2.2.1. Efeito do sal nas plantas.

Segundo Taiz e Zeiger (2004), estresse é uma influência desvantajosa exercida sobre a planta, seja por fatores bióticos ou abióticos, nesse contexto a salinidade é um dos fatores abióticos de grande importância. No entanto, Lichtenthaler (2004), descreve o estresse de duas formas, sendo a primeira denominada como eu-estresse, que é a condição na qual a planta é submetida a um estresse suave, onde a mesma é estimulada e ativa o seu metabolismo celular, incrementando a atividade fisiológica da planta, que o converte em um fator positivo promovendo o crescimento vegetal. O outro tipo de estresse é conhecido por dis-estresse, que é gerado por uma situação desfavorável, seja pela intensidade do estresse ou pela duração do mesmo, afetando negativamente o metabolismo da planta resultando na diminuição do crescimento e desenvolvimento do vegetal.

O estresse causado pelos sais ou o seu efeito na planta dependem da concentração da solução que está em contato com as raízes, da granulometria do solo, do local onde as plantas são expostas ao estresse, do estágio de desenvolvimento da planta, se o estresse é abrupto ou escalonado, da duração do estresse e da interação deste com outros tipos de estresses, sejam bióticos ou abióticos (PRISCO e ENÉAS FILHO, 2010; RHOADES et al. (2000)).

De acordo com Dias e Blanco (2010), o efeito negativo que os sais ocasionam às plantas pode ser causado por três fatores. O primeiro é a dificuldade na absorção de água, o que é causado pela presença de sais na solução do solo, aumentando o potencial osmótico do mesmo até atingir níveis em que as plantas não têm força suficiente para superar esse potencial e absorver água. Dependendo do grau de salinidade, a planta pode até perder a água que se encontra no seu interior causando plasmólise, que é um fenômeno em que a água das células da planta passa para a solução do solo. O segundo fator é a toxicidade por íons específicos, o que acontece quando as plantas absorvem os sais do solo junto com a água, ocasionando toxidez por excesso de sais absorvidos. A alta concentração de sais na planta promove danos ao citoplasma das células, principalmente dos ápices das folhas, onde a planta vai perder, por transpiração, a água absorvida e em consequência aumentará os teores de sais no seu interior devido ao fato de que os mesmos não são transpirados junto com a água. Este tipo de dano reduz o rendimento das lavouras significativamente e seu nível vai depender do tempo do

estresse, da concentração de íons, da tolerância das cultivares a salinidade e do uso da água. O terceiro fator é a interferência indireta dos sais nos processos fisiológicos da planta, isso acontece quando as altas concentrações de cátions, principalmente de sódio, interferem nas propriedades físico-químicas do solo, afetando a disponibilidade de outros elementos, afetando assim, indiretamente o desenvolvimento normal das plantas.

Duarte et al. (2010), em experimento realizado com duas cultivares de trigo irrigado com soluções salinas de NaCl e conduzido até 98 dias após a semeadura, observaram, através de coletas a cada 14 dias, que a massa da matéria seca e a área foliar das plantas decresceram diretamente com o aumento da salinidade, diminuindo o acúmulo de matéria seca total mais do que a área foliar. Os pesquisadores observaram que a matéria seca das plantas foi reduzida em até 33,2%, quando comparado com o controle, na cultivar BRS 179, enquanto que na cultivar BRS 177, a redução foi de 55,5%.

Dias e Blanco (2010), reportaram que os efeitos mais comuns do estresse salino, são redução do crescimento da planta e vários distúrbios na permeabilidade das membranas, na troca hídrica, na condutância estomática, na fotossíntese e no equilíbrio iônico. No entanto, ainda são muito discutidas as formas de como os sais afetam as plantas, devido à complexidade do estresse salino.

2.2.2. Tolerância das plantas ao sal.

Conforme Parida e Das (2005) a tolerância ao estresse salino é conhecida como a habilidade que a planta possui para crescer e completar seu ciclo de vida quando cultivada em substratos que contêm uma alta concentração de sais solúveis.

Existem várias respostas das plantas ao estresse salino, as quais dependem em grande medida da espécie e da cultivar. No entanto, podem-se classificar todas as plantas em dois grandes grupos, dependendo do seu nível de tolerância à salinidade. O primeiro é denominado de plantas halófitas, as quais se caracterizam por se desenvolver normalmente em ambientes que possuem altas concentrações de sais. O segundo grupo é denominado de plantas glicófitas, que são as plantas que não conseguem se desenvolver normalmente em ambientes salinos. Em geral, as plantas glicófitas mostram uma redução no seu crescimento quando o meio de cultivo supera uma concentração de 10 mM de sais, no entanto esse valor pode variar dependendo da espécie e cultivar (WILLADINO e CAMARA, 2010).

Um dos fatores chave para estudar e caracterizar a tolerância das plantas ao sal é o estado de nutrição da planta, porque o cloreto de sódio prejudica a absorção de nutrientes, principalmente de potássio e cálcio, sendo este um fator de suma importância, já que se tem observado que plantas tolerantes à salinidade possuem a capacidade de manter altas as relações de K/Na, Ca/Na e NO_3/Cl nos tecidos (DIAS e BLANCO, 2010).

Conforme Parida e Das (2005), as plantas podem apresentar diferentes estratégias bioquímicas para superar o estresse salino, dentre as quais se encontram a acumulação seletiva ou exclusão de íons, o controle na absorção de íons nas raízes e o transporte dentro das folhas, a síntese de solutos compatíveis, alterações na estrutura das membranas, formação de enzimas antioxidantes, de hormônios e depósito de íons nas paredes celulares.

Segundo Silveira et al. (2010), o estresse salino induz três tipos de estresse na planta: osmótico, iônico e oxidativo. A planta tem desenvolvido diferentes formas para se proteger contra cada um deles. No caso de estresse osmótico, o mecanismo de proteção da planta é o ajustamento osmótico ou homeostase osmótica. Se o estresse for iônico, o mecanismo será a homeostase iônica, que compreende o balanço K/Na, a exclusão de Na e a compartimentalização e, por fim, no caso do estresse oxidativo a resposta da planta é a defesa antioxidante.

O ajustamento osmótico é um processo utilizado pelas plantas para diminuir o potencial hídrico a um patamar menor do que o do solo, com o fim de viabilizar a absorção de água, favorecendo a manutenção do turgor. Isto ocorre através do aumento do teor de solutos orgânicos e inorgânicos no interior da planta (WILLADINO e CAMARA, 2010).

Como consequência do ajustamento osmótico, a planta consegue absorver íons e compartimentalizá-los em certos tecidos e organelas de células associadas ao acúmulo de moléculas orgânicas. Em condições normais a relação K/Na, é de 10 a 20 e o desajuste dessa relação pode ocasionar a inibição da síntese de proteínas e a inibição de várias enzimas citoplasmáticas por causa do aumento do teor de Na e/ou pela diminuição do teor de K dentro da célula, provavelmente porque o potássio é um elemento ativador de enzimas importantes no metabolismo celular e a síntese de várias proteínas depende diretamente da concentração deste elemento, enquanto o sódio é inibidor da atividade de várias enzimas. É por esta razão que a homeostase iônica e osmótica envolvem a exclusão de sódio e a sua

compartimentalização no vacúolo, a fim de manter a relação K/Na (PRISCO e ENÉAS FILHO, 2010).

2.3. Silício (Si).

O silício não é considerado como um elemento essencial para as plantas, porque na sua falta, a planta consegue completar seu ciclo de vida, e, além disso, sua ação específica na planta não é conhecida, pode ser substituído por outro elemento e não está relacionado diretamente com a nutrição vegetal. Apesar disso o Si é classificado como elemento benéfico para as mesmas (BISSANI et al., 2008). Devido a estas características e a sua crescente utilização na agricultura, o Si foi incluso como elemento “benéfico ou útil para as plantas”, na normatividade brasileira que regula a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura (Decreto número 4.954, proferido pelo Ministério da Agricultura em 14 de janeiro de 2004, o qual aprovou o Regulamento da lei número 6.894 de 16 de dezembro de 1980) (BRASIL, 2004).

De acordo com Oliveira (2009), o silício é absorvido pelas raízes na forma de ácido monossilícico e o seu transporte é feito via xilema, pelo fluxo de transpiração, ou de forma ativa, usando proteínas transportadoras específicas, quando a planta é submetida a estresse ou condições de ataque por pragas e doenças. O silício é depositado nas paredes celulares, no lúmen celular e nos espaços intercelulares da raiz e do caule (SANGSTER et al., 2001).

O uso de silício na agricultura mostrou vários benefícios para as plantas, como o aumento na produtividade, tolerância a ataques de pragas e doenças, diminuição dos efeitos de metais tóxicos e tolerância ao estresse salino e hídrico, entre outros (RODRIGUES et al., 2011). Sousa et al. (2010) reportaram que a aplicação foliar de silicato de potássio em plantas de milho, contribuiu para o aumento da massa seca do colmo, da massa de mil grãos e da produtividade. Sávio et al. (2011), em estudo com três fontes de silício aplicadas via foliar sobre a produção de massa seca de *Urochloa decumbens* (Stapf) R.D. Webster e *Panicum maximum* Jacq, encontraram que a aplicação de silício aumentou a produção de forragem nas duas espécies cultivadas, independentemente da fonte usada.

Segundo Dias e Blanco (2010), o silício pode conferir certo grau de tolerância das plantas ao sal, da mesma forma que o K e o Ca, pois a absorção destes íons

contribui para manter altas as relações K/Na na planta. No entanto, ainda não foram descobertos nem completamente elucidados todos os mecanismos pelos quais o silício contribui com a tolerância ao estresse salino. Prova disto é que vários autores têm proposto várias hipóteses tentando explicar o efeito do silício sobre o estresse salino, porém nenhuma tem uma evidência clara. Dentro destas proposições são três as hipóteses que têm ganhado mais aceitabilidade na comunidade científica. A primeira é que o silício diminui a concentração de sais na planta devido à diminuição da transpiração pelo acúmulo do elemento nas folhas, a segunda é que o silício diminui o transporte de sódio nas raízes e a terceira é que o elemento tem funções fisiológicas que aumentam o metabolismo antioxidante (SHI et al., 2013).

Atualmente, existem várias fontes de silício que podem ser usadas na agricultura, entre elas se encontram a cinza de casca de arroz e o caulim. A cinza proveniente da queima da casca de arroz é um subproduto da indústria do arroz que se obtém quando a casca do arroz, extraída no beneficiamento, é carbonizada em fornalhas ou fornos especiais a temperaturas controladas. A cinza de casca de arroz pode chegar a conter em média 92% de sílica (SiO_2) (FOLLETO et al., 2005). Já o caulim (silicato de alumínio), é uma rocha que passa por vários processos de acondicionamento, nos quais se incluem a moagem, classificação e o refinamento, até obter um pó esbranquiçado, livre de impurezas, não tóxico para as plantas nem para o meio ambiente. A composição química média do caulim é de 77,9% de SiO_2 ; 23,73% de Al_2O_3 ; 0,23% de CaO e 0,36% de K_2O com pH de 5,5.

Lemes (2013) usou cinza de casca de arroz via solo como fonte de silício em arroz irrigado sob estresse salino, encontrando que o Si aumentou o peso de sementes produzidas por planta e observou que a qualidade fisiológica das mesmas melhorou com o aumento da dosagem de silício, em todas as concentrações salinas testadas. Rufino (2010), observou que o recobrimento de sementes de soja com Ca, Mg e Si, usando como fontes destes elementos o cal dolomítico e o caulim, proporcionou bons resultados para a taxa de crescimento da cultura, a taxa de crescimento relativo e a taxa de assimilação líquida, além de aumentar o rendimento das sementes produzidas. Lima (2010) usou argilas silicatadas (caulinita) na produção de sementes de cereais, observando que estas não tiveram efeito sobre a produção e qualidade fisiológica de sementes de arroz, enquanto que seu efeito em trigo e cevada é diferente dependendo da cultivar.

3. Material e Métodos

Foram conduzidos dois experimentos de forma simultânea, ambos realizados em casa-de-vegetação na Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel” (FAEM) e no Laboratório Didático de Análise de Sementes do Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes da Universidade Federal de Pelotas (UFPEL) localizada no município de Capão do Leão – RS.

Foram utilizadas sementes de trigo, cultivar Quartzo, semeadas em baldes de 10 litros contendo solo, coletado do horizonte A1 de um PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico solódico (STRECK et al., 2008) pertencente à unidade de mapeamento Pelotas, no qual foi aplicado calcário, 15 dias antes da semeadura, e adubado, por incorporação, com Nitrogênio (N), Fósforo (P) e Potássio (K) no momento da semeadura, e no início do perfilhamento com mais uma dose de N em cobertura. Estas práticas foram realizadas considerando o resultado e interpretação da análise de solo realizada pelo Laboratório de Análise de Solos da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel da UFPEL e concordando com as indicações técnicas para a safra de trigo e triticale 2012 (EMBRAPA AGROPECUÁRIA OESTE, 2011).

O primeiro experimento consistiu na adubação por incorporação com caulim, como fonte de silício, no momento da semeadura. No segundo experimento foi usada cinza de casca de arroz como fonte de silício, aplicada também no momento da semeadura. Ambos os experimentos foram realizados num esquema fatorial 3 x 4 com quatro repetições em delineamento inteiramente casualizado, sendo o primeiro fator o estresse salino, causado pela irrigação realizada durante todo o cultivo com cloreto de sódio (NaCl), em doses de 0 (controle); 8 e 16 milimolar (mM) e o segundo fator, a adubação com doses de silício de 0 (controle); 1.000; 2.000 e 3.000 Kg ha⁻¹. A quantidade de silício ministrada em cada balde foi calculada considerando que a camada arável de uma lavoura de trigo em um hectare é entorno de dois milhões de litros e que o volume de cada balde usado no experimento foi de 10 litros. A partir desses valores, e considerando que o conteúdo de SiO₂ no caulim é de 77,9% e na cinza de casca de arroz é de 92%, calculou-se a quantidade necessária de caulim e cinza de casca de arroz.

Em cada balde foram semeadas 12 sementes, realizando-se um desbaste aos 15 dias após a emergência, deixando somente as cinco plantas de melhor aspecto em cada balde, considerando distribuição homogênea em toda superfície do balde para serem conduzidas até colheita, conformando assim, 48 unidades experimentais para cada experimento.

A colheita ocorreu quando mais de três quartos das espigas apresentaram cor dourada, indicando a maturidade fisiológica das sementes. As mesmas foram então retiradas, embaladas em sacos de papel e secas em estufa com circulação forçada de ar até atingirem 13% de umidade, momento em que ocorreu a debulha e o armazenamento em câmara fria. Após foram determinadas as características agrônômicas e realizadas as avaliações da qualidade fisiológica das sementes produzidas. As metodologias destes testes serão descritas a seguir.

3.1. Parâmetros avaliados.

3.1.1. Características agrônômicas.

Número de espigas por planta: No momento da colheita, contaram-se o total de espigas colhidas de cada planta. As mesmas foram embaladas em sacos de papel identificando-os com o número do tratamento e repetição.

Número de espigas com sementes por planta: Após a secagem das sementes, no laboratório foi determinado o número de espigas por planta que possuíam e que não possuíam sementes.

Peso de espigas sem debulhar por planta: Foi retirado o colmo de todas as espigas e, posteriormente, pesou-se o conjunto de espigas em balança analítica e o resultado foi expresso em gramas.

Peso de sementes produzidas por planta: Após a debulha, as sementes foram limpas e pesadas em balança analítica, obtendo-se o peso em gramas das sementes colhidas de cada planta.

Peso de espigas debulhadas por planta: Obtido pela diferença entre o peso das espigas sem debulhar e o peso das sementes.

Número de sementes por espiga: No momento da debulha foi contado o número total de sementes produzidas por planta. Esta quantidade foi dividida pelo número de espigas com sementes, obtendo-se assim o valor médio de sementes por espiga.

Peso de mil sementes: Contaram-se oito repetições de 100 sementes cada, calculando-se o peso de mil sementes conforme as Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009).

3.1.2. Qualidade fisiológica das sementes produzidas.

Teste de germinação: Realizado em rolos de papel para germinação (Germitest[®]) umedecidos com água destilada em proporção de 2,5 vezes o seu peso seco. Foram usadas 200 sementes por repetição distribuídas em quatro rolos de papel com 50 sementes cada. A temperatura de germinação foi de 20°C e a contagem feita aos quatro e oito dias após a semeadura conforme as Regras para Análise de Sementes RAS (BRASIL, 2009). O resultado foi expresso em porcentagem de plântulas normais.

Teste de primeira contagem de germinação: Realizado em conjunto com o teste de germinação, computando a porcentagem de plântulas normais aos quatro dias após a semeadura, conforme as RAS (BRASIL, 2009).

Comprimento de plântula: Conduzido conforme a metodologia descrita por Nakagawa (1999), usando-se 15 sementes para cada repetição e mensurando com uma régua o comprimento da parte aérea e o comprimento da raiz de 10 plântulas normais, selecionadas aleatoriamente para cada repetição aos oito dias após a semeadura. Os resultados foram expressos em metros, através da média das 10 plântulas mensuradas.

Matéria seca de plântula: Realizado com as mesmas plântulas usadas no teste de comprimento de plântula. As partes aérea e raiz foram separadas e cada repetição colocada em sacos de papel e levada para secar em estufa com circulação forçada de ar, regulada à temperatura de $60 \pm 2^\circ\text{C}$, até atingir peso constante (Krzyzanowski et al., 1999). Após, as amostras foram pesadas em balança com precisão de 4 casas decimais, sendo os resultados expressos em g plântula⁻¹.

Expressão da enzima α -amilase: A expressão dessa enzima foi avaliada em sementes e plântulas de primeira e segunda contagem de germinação, que para o caso do trigo são quatro e oito dias depois semeadura respectivamente (BRASIL, 2006). As sementes e as plântulas usadas para o experimento foram maceradas e agregada uma solução extratora composta por 9 partes de Tris – Citrato 0,2 N – pH: 8,3 (tris 6,2 g; ácido cítrico 1,6 g; água até completar 1 L), uma parte de Borato de Lítio 0,2 N – pH: 8,3 (Hidróxido de lítio 1,2 g; ácido bórico 11,89 g e água até

completar 1 L) e 0,15% de 2-mercaptoetanol, em proporção 1:2 p/v (SCANDALIOS, 1969). A eletroforese foi feita em géis de poliacrilamida aos 7% (acrilamida 3,325 g; bis-acrilamida 0,175 g; tampão do gel 50 mL; Temed 0,050 mL e persulfato de amônio 0,500 mL) contendo 5% de amido, aplicando-se 20 µL de cada amostra. Os géis foram revelados e corados de acordo com Alfenas (1998). Para a análise da expressão da enzima, a interpretação dos resultados foi baseada na análise visual dos géis de eletroforese, levando em consideração a intensidade de cada uma das bandas eletroforéticas.

3.2. Procedimento estatístico.

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância. Realizou-se comparação de médias pelo teste de Tukey para a irrigação salina e regressão polinomial para a dosagem de silício, ambos com 5% de probabilidade, utilizando o programa estatístico WinStat versão 1.0 (MACHADO e CONCEIÇÃO, 2003). Os dados em porcentagem foram submetidos à transformação $\text{arc. sen}(\text{raiz } x/100)$.

4. Resultados e Discussão

4.1. Uso do caulim como fonte de silício.

4.1.1. Características agronômicas.

A análise de variância demonstrou que os fatores não tiveram efeito sobre as variáveis: peso de espigas debulhadas por planta e número de sementes por espiga. As variáveis: número de espigas por planta, número de espigas com sementes por planta, peso de espigas sem debulhar por planta e peso de sementes produzidas por planta, mostraram efeito da aplicação de sal por meio da irrigação (Tabela 1), enquanto a variável peso de mil sementes mostrou efeito significativo do fator sal e do fator silício, porém, não ocorreu interação entre eles.

Na Tabela 1 é possível visualizar que quanto maior é o teor de sal na água de irrigação menor é a quantidade de espigas produzidas pelas plantas de trigo. No entanto, o número de espigas por planta, o número de espigas com sementes por planta, o peso das espigas sem debulhar por planta e o peso das sementes produzidas por planta não diferem entre as doses de concentração zero e oito mM de NaCl, porém diferem da dose de 16 mM, sendo que esta obteve os piores resultados para estas variáveis. Estes resultados concordam com encontrados por Ali et al. (2012), onde observaram que o rendimento de grãos de trigo, o número de espigas por planta, o comprimento da espiga e número de grãos por espigas, foram reduzidos quando as plantas foram submetidas a condições de estresse salino.

Igualmente, Blanco et al. (2008), observaram que o rendimento de grãos de milho e o crescimento da planta foram reduzidos em até 20% quando se realizou irrigação com água salina. Além disso, verificaram que as partes vegetativas das plantas foram mais afetadas pelo estresse salino do que as partes reprodutivas. Borzouei et al. (2012), observaram que plantas de trigo irrigadas com água salina e mantidas até colheita, produziram menor massa fresca e seca de raízes e folhas além de reduzir a produção de grãos, atribuindo esses resultados aos efeitos tóxicos causados pela alta concentração de sais, assim como ao desbalanceamento na absorção de nutrientes por parte das raízes.

Segundo Hu e Schmidhalter (2005), o déficit de água ou diminuição do potencial osmótico é a causa principal para que o crescimento das plantas se reduza quando submetidas a condições de estresse salino. Hu et al. (2006) reportaram também que condições de salinidade causam senescência prematura das folhas e distúrbios nutricionais nas plantas pela absorção de íons tóxicos, o que reflete na produtividade das lavouras.

Em relação ao peso de mil sementes, observou-se que os tratamentos que receberam irrigação com água salina produziram sementes com PMS maior que o observado na testemunha (sem sal), mas se pode observar através do número de sementes por espiga que há uma tendência a produzir mais sementes por espiga, porém de menor peso, quando ocorreu a irrigação com água sem sal (Tabela 1). Este resultado discorda com o encontrado por Lemes (2013), que observou que o peso de mil sementes de arroz, diminuiu à medida que se incrementou a concentração de NaCl na água de irrigação. No entanto, Jácome et al. (2003), encontraram resultados nos quais a solução com sal não teve efeito significativo sobre o peso de mil sementes de cultivares de algodão.

Na Figura 1 é apresentada a tendência do peso de mil sementes, que aumentou com a adição de caulim incorporado no solo junto com a fertilização de base. Pode-se observar que o resultado se ajusta a um modelo linear positivo, aumentando em $0,3 \text{ g Mg}^{-1}$ de caulim ministrado, obtendo-se um incremento de 0,9 gramas entre a dose zero e a dose de 3.000 Kg ha^{-1} de silício. Oliveira (2013) observou que o tratamento de sementes de soja com silício, aumentou o peso de mil sementes das sementes produzidas. Igualmente, Lima Filho e Tsai (2007), encontraram aumento do peso de sementes de aveia e trigo suplementadas com soluções de silício.

Tabela 1 - Número de espigas por planta (NE), número de espigas com sementes por planta (ES), número de sementes por espiga (SE), peso de espigas sem debulhar por planta (PESD), peso de espigas debulhadas por planta (PED), peso de sementes produzidas por planta (PS) e peso de mil sementes (PMS), em função da aplicação de doses de NaCl na água de irrigação no desenvolvimento da cultura de trigo, cv. Quartzo. Capão do Leão, RS, Brasil, 2014.

		Doses Silício (Kg ha ⁻¹)						CV %
		0	1000	2000	3000	Média		
NE	Doses NaCl (mM)	0	4,8	4,8	4,5	4,7	4,6 a	11,34
		8	4,5	4,2	4,0	4,4	4,4 a	
		16	4,3	4,1	3,9	3,3	3,9 b	
	Média	4,5	4,4	4,1	4,1	-		
ES	Doses NaCl (mM)	0	3,3	3,2	3,3	3,5	3,3 ab	17,44
		8	3,4	3,6	3,6	3,6	3,6 a	
		16	2,9	3,0	3,0	2,0	2,8 b	
	Média	3,2	3,3	3,3	3,0	-		
SE	Doses NaCl (mM)	0	21,52	23,31	21,52	19,12	21,37 ns	12,37
		8	21,80	19,95	19,77	21,29	20,70 ns	
		16	19,88	19,09	19,88	19,58	19,61 ns	
	Média	21,07	20,78	20,39	20,00	-		
PESD (g)	Doses NaCl (mM)	0	4,15	4,14	3,62	3,96	3,97 ab	11,41
		8	4,45	4,08	4,44	4,20	4,29 a	
		16	4,02	3,49	3,80	3,02	3,58 b	
	Média	4,21	3,90	3,95	3,73	-		
PED (g)	Doses NaCl (mM)	0	1,61	1,49	1,46	1,61	1,54 ns	10,96
		8	1,50	1,53	1,69	1,47	1,54 ns	
		16	1,43	1,49	1,45	1,27	1,41 ns	
	Média	1,51	1,50	1,53	1,45	-		
PS (g)	Doses NaCl (mM)	0	2,53	2,65	2,17	2,35	2,43 ab	16,58
		8	2,95	2,56	2,76	2,74	2,75 a	
		16	2,59	2,00	2,35	1,74	2,17 b	
	Média	2,69	2,40	2,43	2,28	-		
PMS (g)	Doses NaCl (mM)	0	36,19	36,70	36,71	37,09	36,67 b	1,67
		8	37,38	37,88	38,29	37,49	37,76 a	
		16	36,44	37,21	37,28	38,20	37,28 a	
	Média	36,67	37,26	37,43	37,59	-		

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV%: coeficiente de variação. ns: Não significativo.

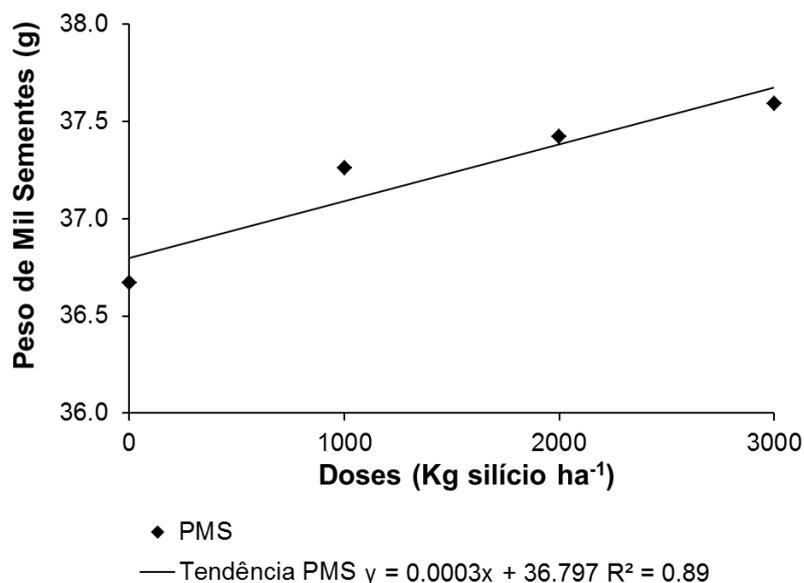


Figura 1 - Peso de mil sementes (média das três concentrações de sal) em função da adubação com caulim por incorporação no solo na cultura de trigo, cv. Quartzo. PMS: peso de mil sementes. Capão do Leão, RS, Brasil, 2014.

4.1.2. Qualidade fisiológica das sementes produzidas.

As variáveis, germinação e primeira contagem de germinação das sementes produzidas, mostraram resposta à interação entre os fatores sal e dosagem de silício (Tabela 2 e Figura 2).

A porcentagem de germinação não mostrou diferenças estatísticas em função da irrigação com água salina quando se adubou com caulim até 2.000 Kg ha⁻¹, no entanto quando foi aplicada a dose de 3.000 Kg ha⁻¹ de Si, observou-se que a germinação das sementes foi maior quando se irrigou com água sem sal (Tabela 2). Na Figura 2a se observa que a porcentagem de germinação, se ajusta a um modelo linear crescente quando a irrigação é realizada com água sem sal, aumentando em uma taxa de 0,4% por cada Mg de silício ministrado. Quando as plantas foram irrigadas com água de concentração de 8 mM de NaCl, os dados obtidos se ajustaram a um modelo quadrático negativo, observando-se que as doses de silício de 1.000 e 2.000 Kg ha⁻¹, mantiveram a porcentagem de germinação, em relação à dose zero, enquanto que na dose de 3.000 Kg ha⁻¹, houve uma redução da germinação. Na maior concentração de sal aplicada, 16 mM de cloreto de sódio, os dados da porcentagem de germinação se ajustaram a um modelo linear negativo, diminuindo em uma taxa de 0,6% por cada Mg de silício aportado. Lemes (2013) observou que a germinação de sementes de arroz produzidas em condições de

estresse salino e adubação com silício diminuiu conforme aumentou a concentração de sal na água de irrigação, porém não encontrou efeito do silício sobre esta variável de resposta. Lima et al. (2005) notaram que a germinação de sementes de arroz diminuiu conforme aumenta a dosagem de sal no substrato, concluindo que a salinidade afeta o desenvolvimento de plântulas normais e diminuiu o vigor das sementes.

A primeira contagem de germinação (PCG) das sementes de trigo teve um comportamento similar à porcentagem de germinação, não se obtendo diferenças estatísticas entre as concentrações de sal na água de irrigação quando se aplicou silício na forma de caulim, nas doses 0; 1.000 e 2.000 Kg ha⁻¹, mas quando o mesmo foi aplicado na dose de 3.000 Kg ha⁻¹ de Si, se observou que a PCG foi maior quando se irrigou com água sem sal (Tabela 2). Na Figura 2b, observa-se que nenhum modelo matemático se ajustou aos dados obtidos quando a irrigação foi feita com água sem sal, no entanto, quando a irrigação foi feita com água com concentração de sal de 8 mM, os dados ajustaram-se a um modelo quadrático negativo, observando-se que as doses 1.000 e 2.000 Kg ha⁻¹ de silício mantiveram constante a PCG, comparado com a dose zero, mas quando foi aplicada a dose de 3.000 Kg ha⁻¹ a PCG diminuiu. Quando a irrigação foi realizada com água com concentração de 16 mM, a PCG diminuiu de forma linear conforme aumentou a dosagem de silício em taxa de 1,5% por cada Mg de silício aplicado. Estes resultados concordam com os obtidos na porcentagem de germinação, onde se observou o mesmo comportamento. Lemes (2013) observou que a primeira contagem de germinação de sementes de arroz produzidas em condições de estresse salino e adubação com silício, mostrou comportamento quadrático em função da aplicação de silício, aumentando a PCG até a dose 1.000 Kg ha⁻¹ e depois diminuindo até chegar a ser menor que a dose zero. Esse comportamento foi observado nas três doses de sal utilizadas nesse experimento.

Tabela 2 - Germinação (G) e primeira contagem de germinação (PCG) das sementes produzidas e comprimento da parte aérea (CPA) e da raiz (CR) das plântulas oriundas das sementes produzidas por plantas de trigo, cv. Quartzo, cultivadas sob manejo com aplicação de doses de NaCl na água de irrigação e doses de silício, na forma de caulim, via incorporação no solo. Capão do Leão, RS, Brasil, 2014.

		Doses Silício (Kg ha ⁻¹)					Média	CV %
		0	1.000	2.000	3.000			
G (%)	Doses NaCl (mM)	0	99 a	99 a	98 a	100 a	99	0,75
		8	99 a	99 a	99 a	97 b	99	
		16	99 a	99 a	99 a	97 b	99	
	Média	99	99	99	98	-		
PCG (%)	Doses NaCl (mM)	0	95 a	94 a	92 a	94 a	94	2,52
		8	94 a	94 a	95 a	87 b	93	
		16	94 a	93 a	91 a	90 ab	92	
	Média	94	94	92	90	-		
CPA (m)	Doses NaCl (mM)	0	0,135 a	0,128 b	0,127 a	0,131 a	0,130	4,97
		8	0,132 a	0,140 a	0,134 a	0,129 a	0,134	
		16	0,129 a	0,144 a	0,131 a	0,135 a	0,135	
	Média	0,132	0,137	0,131	0,132	-		
CR (m)	Doses NaCl (mM)	0	0,156 a	0,146 b	0,142 b	0,155 a	0,150	3,78
		8	0,153 a	0,158 a	0,153 a	0,164 a	0,157	
		16	0,147 a	0,158 a	0,156 a	0,161 a	0,156	
	Média	0,152	0,154	0,150	0,160	-		

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV%: coeficiente de variação.

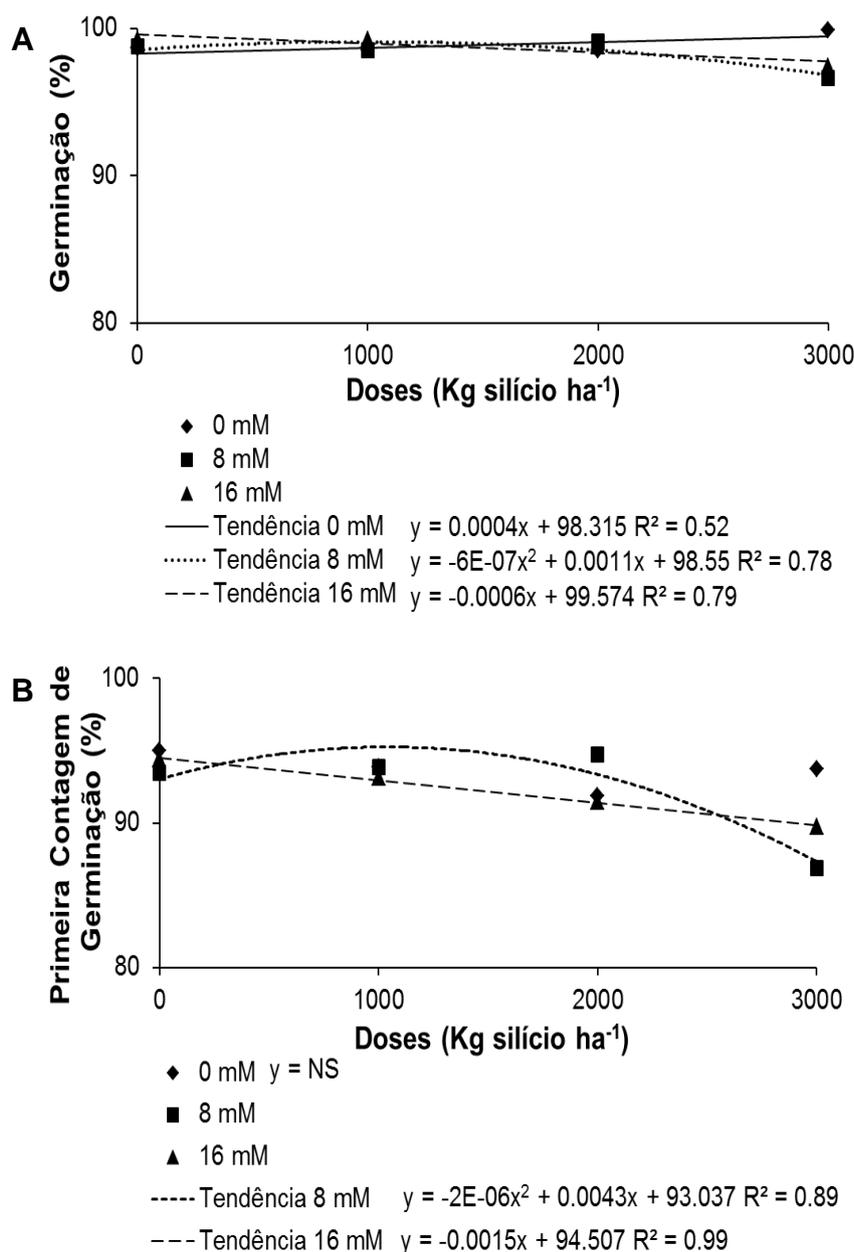


Figura 2 - Germinação das sementes produzidas (A), Primeira contagem de germinação das sementes produzidas (B). Figuras em função da interação entre a irrigação com água salina e a adubação com caulim por incorporação no solo na cultura de trigo, cv. Quartzo. mM: milimolar. Capão do Leão, RS, Brasil, 2014.

As variáveis comprimento de parte aérea e da raiz mostraram resposta à interação dos fatores (dose de sal e silício). Referente ao comprimento da parte aérea, este não mostrou diferenças estatísticas em função da irrigação com água salina quando se aplicou silício nas doses de 0; 2.000 e 3.000 Kg ha⁻¹, mas quando este foi aplicado na dose de 1.000 Kg ha⁻¹, o comprimento da parte aérea foi menor quando se irrigaram as plantas com água sem sal (Tabela 2). Na Figura 3a se

observa o comportamento do comprimento da parte aérea em função da aplicação de silício. Os resultados obtidos não se ajustaram a nenhum modelo matemático testado quando a irrigação foi feita com água sem sal e com água de concentração de 16 mM de NaCl. Quando a irrigação foi feita com água de concentração de 8 mM de NaCl, os dados se ajustaram a um modelo quadrático, aumentando o comprimento da parte aérea na dose de 1.000 Kg ha⁻¹ de Si e diminuindo até igualar a dose zero quando se adubou com 3.000 Kg ha⁻¹.

No comprimento de raiz se observou que nas dosagens de 0 e 3.000 Kg ha⁻¹ de Si, não houveram diferenças significativas entre as diferentes dosagens de sal. Entretanto nas doses de 1.000 e 2.000 Kg ha⁻¹, o comprimento de raiz foi menor quando se irrigou com água sem sal em comparação à irrigação com água salina, independente da dosagem de NaCl (Tabela 2). Os dados se ajustaram a um modelo quadrático quando as plantas foram irrigadas com água sem sal, ou seja, sem sofrer com este estresse. Enquanto que na irrigação com água salina, o comprimento da raiz aumentou de forma linear conforme se aumentou a dosagem de silício para ambas as concentrações de sal na água de irrigação, sendo um crescimento de 0,3 cm por Mg de silício aplicado quando se irrigou com água de concentração de 8 mM de NaCl e um crescimento de 0,4 cm por Mg de silício quando a irrigação foi feita com água de concentração de 16 mM (Figura 3b).

Lemes (2013) em um experimento onde se produziram sementes de arroz em condições de estresse salino e adubação com silício, observou que o comprimento da raiz das plântulas oriundas das sementes produzidas, não mostrou resposta ao efeito da irrigação salina e sim à aplicação de silício, ajustando-se a um modelo quadrático onde a dose de 1.000 Kg ha⁻¹ de silício aumentou ligeiramente o comprimento da raiz. Deuner et al. (2011), observaram que sementes de feijão-miúdo, diminuem a porcentagem de germinação, primeira contagem de germinação, comprimento e massa seca da parte aérea e raiz das plântulas oriundas, quando germinadas em substratos umedecidos com várias concentrações de NaCl.

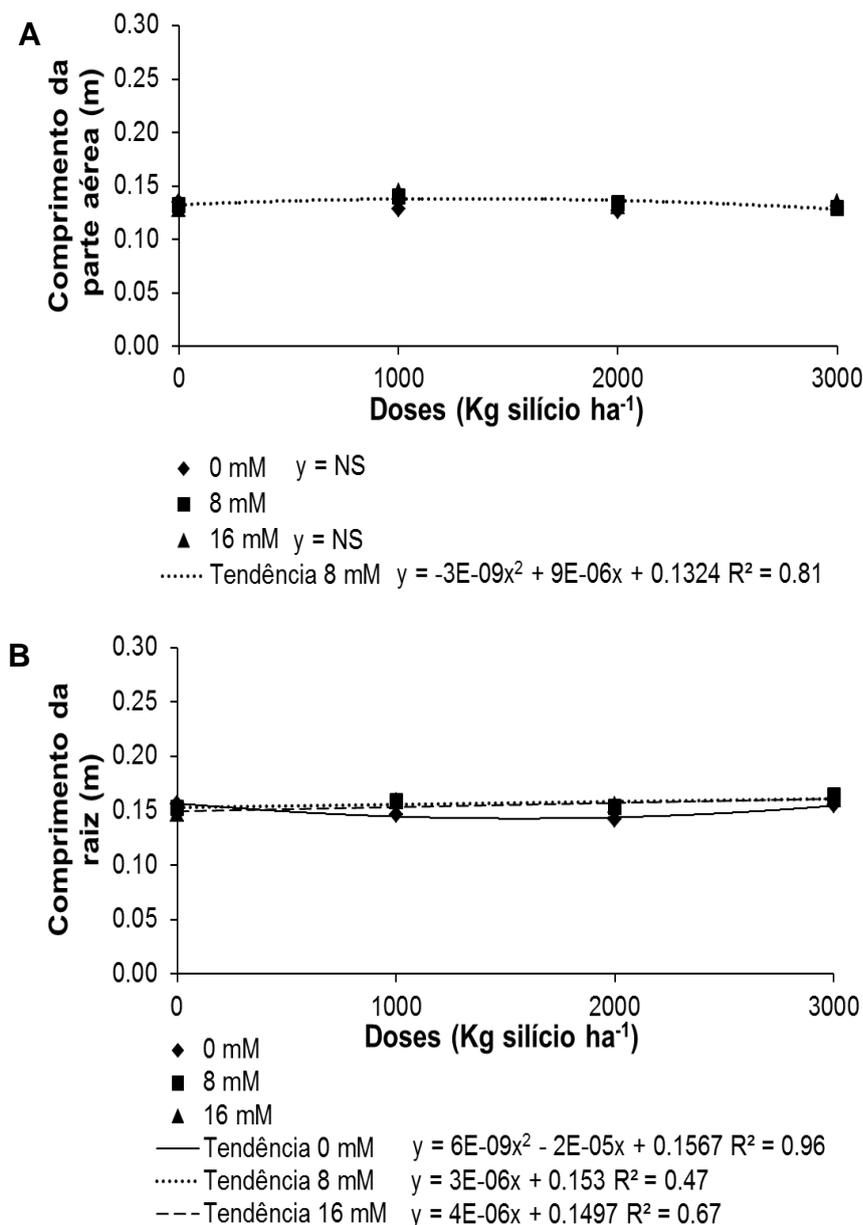


Figura 3 - Comprimento da parte aérea das plântulas oriundas das sementes produzidas (A), Comprimento da raiz das plântulas oriundas das sementes produzidas (B). Figuras em função da interação entre a irrigação com água salina e a adubação com caulim por incorporação no solo na cultura de trigo, cv. Quartzo. mM: milimolar. NS= não significativo. Capão do Leão, RS, Brasil, 2014.

As variáveis massa da matéria seca da parte aérea e massa da matéria seca da raiz das plântulas mostraram resposta à dosagem de sal aplicada mediante a água de irrigação nas plantas de trigo (Tabela 3), sendo que se observou maior massa de parte aérea e raiz nos tratamentos onde a irrigação foi feita com água salina. Este aumento na massa pode estar relacionado com aumento no peso de mil sementes, onde os tratamentos que foram irrigados com água salina também

apresentaram os maiores pesos. Estes resultados são contrários aos encontrados por Lima et al. (2011), que observaram que o cloreto de sódio diminuiu significativamente a produção de massa seca da parte aérea e raiz de plântulas de feijão-de-corda e milho. Rodrigues et al. (2002), também observaram que o estresse salino aplicado em sementes de arroz, reduz a matéria seca da parte aérea e raiz das plântulas. Trabalhando com sementes de arroz, Lima et al. (2005) observaram que o NaCl não teve efeito sobre a massa da matéria seca das plântulas.

Tabela 3 - Massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca da raiz (MSR) das plântulas oriundas das sementes produzidas por plantas de trigo, cv. Quartzo, em função da aplicação de doses de NaCl na água de irrigação no desenvolvimento da cultura. Capão do Leão, RS, Brasil, 2014.

		Doses Silício Kg ha ⁻¹					CV %	
		0	1000	2000	3000	Média		
MSPA (g)	Doses NaCl (mM)	0	0,0874	0,0813	0,0755	0,0816	0,0814 b	7,37
		8	0,0846	0,0873	0,0894	0,0853	0,0866 a	
		16	0,0820	0,0889	0,0866	0,0887	0,0865 a	
	Média	0,0847	0,0858	0,0838	0,0852	-		
MSR (g)	Doses NaCl (mM)	0	0,0648	0,0671	0,0567	0,0709	0,0649 b	9,79
		8	0,0742	0,0769	0,0708	0,0746	0,0741 a	
		16	0,0640	0,0691	0,0748	0,0723	0,0701 a	
	Média	0,0677	0,0710	0,0674	0,0726	-		

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV%: coeficiente de variação.

Na Figura 4 é apresentada a expressão da enzima α -amilase nas sementes e nas plântulas de primeira e segunda contagem de germinação. Pela intensidade e tamanho das bandas, observa-se que a expressão desta enzima é menor nas sementes e vai aumentando conforme as plântulas vão se desenvolvendo. A expressão da enzima em sementes foi a mais baixa e foi igual para todos os tratamentos, já nas plântulas, os tratamentos onde se aplicou silício nas doses zero (controle) e 1.000 Kg ha⁻¹ com irrigação com solução de NaCl de concentração 8 mM, mostraram a menor expressão da enzima. Este mesmo comportamento se observou nas plântulas que foram obtidas de sementes produzidas sem silício e sem sal na água de irrigação.

A α -amilase é uma das enzimas hidrolíticas mais importantes nas sementes. A sua síntese é induzida pela giberelina na camada de aleurona, cerca de um dia após a absorção de água. Sua função é romper o amido armazenado na semente, causando a produção de maltose, que é um substrato solúvel disponível para o

desenvolvimento do embrião (BEWLEY e BLACK, 1978), sendo a sua expressão diretamente relacionada com a qualidade de sementes.

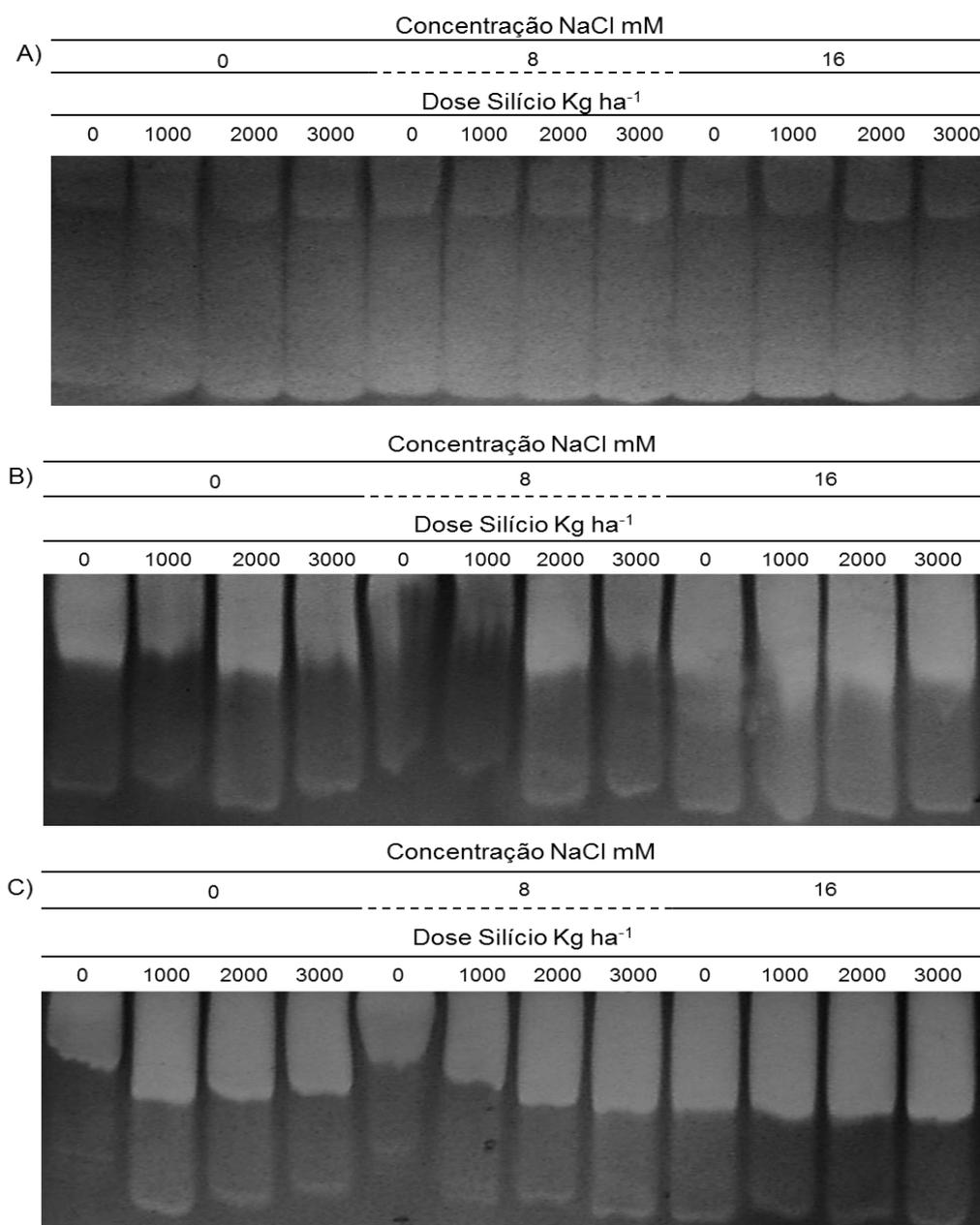


Figura 4 - Perfil eletroforético da enzima α -amilase. A) Sementes de trigo. B) Plântulas de trigo na primeira contagem de germinação. C) Plântulas de trigo na segunda contagem de germinação. Sementes produzidas por plantas de trigo, cv. Quartzo, em função da irrigação com soluções de NaCl e adubação via solo com caulim. mM: milimolar. Capão do Leão, RS, Brasil, 2014.

4.2. Uso da cinza de casca de arroz como fonte de silício.

4.2.1. Características agronômicas.

A análise de variância demonstrou que os tratamentos aplicados não mostraram efeito sobre o número de sementes por espiga (Tabela 4). O número de espigas por planta, número de espigas com sementes por planta, peso de espigas sem debulhar por planta, peso de sementes produzidas por planta e peso de espigas debulhadas por planta mostraram resposta só à aplicação de silício em forma de cinza de casca de arroz, mas não à aplicação de sal por meio da água de irrigação nem a interação entre os fatores. Para o peso de mil sementes se observou efeito da interação entre os fatores irrigação salina e silício.

A produção de espigas se ajustou a um modelo quadrático em função da dosagem de silício, crescendo com o aumento da dose e atingindo o ponto de máxima eficiência com o uso de 2.120 Kg ha⁻¹ de silício, após esta dosagem a produção de espigas começou a diminuir (Figura 5a). Este mesmo comportamento foi observado no número de espigas que produziram sementes, atingindo a máxima produção de espigas nos 2.093 Kg ha⁻¹ de silício (Figura 5b).

O peso de espigas sem debulhar (Figura 6a), ajustou-se a um modelo linear em função à adubação com silício, aumentando numa taxa de 0,4 g Mg⁻¹ de silício aplicado em forma de cinza de casca de arroz, enquanto que o peso das espigas debulhadas, apresentou um comportamento linear, aumentando em taxa de 0,1 g Mg⁻¹ de silício aplicado (Figura 6b). Finalmente, o peso das sementes produzidas, ajustou-se a um modelo quadrático negativo em função das doses de silício aplicadas, crescendo conforme aumentou a dosagem de silício até a dose de 2.400 Kg ha⁻¹ onde se manteve estável (Figura 7).

Considerando os resultados obtidos das características agronômicas, observa-se que a produção de espigas aumenta gradativamente com o aumento da dosagem de silício até ao redor da dose de 2.000 Kg ha⁻¹, a partir da qual se observa uma diminuição no número de espigas por planta e número de espigas com sementes por planta. Igualmente se observou que o peso da espiga e o peso da espiga debulhada crescem conforme aumenta a dosagem de silício, porém o peso das sementes produzidas por planta diminui a partir da dose de 2.000 Kg ha⁻¹. Isto sugere que em doses maiores a 2.000 Kg ha⁻¹ de silício em forma de cinza de casca

de arroz, aumentam a produção de palha na espiga e diminui o peso das sementes produzidas.

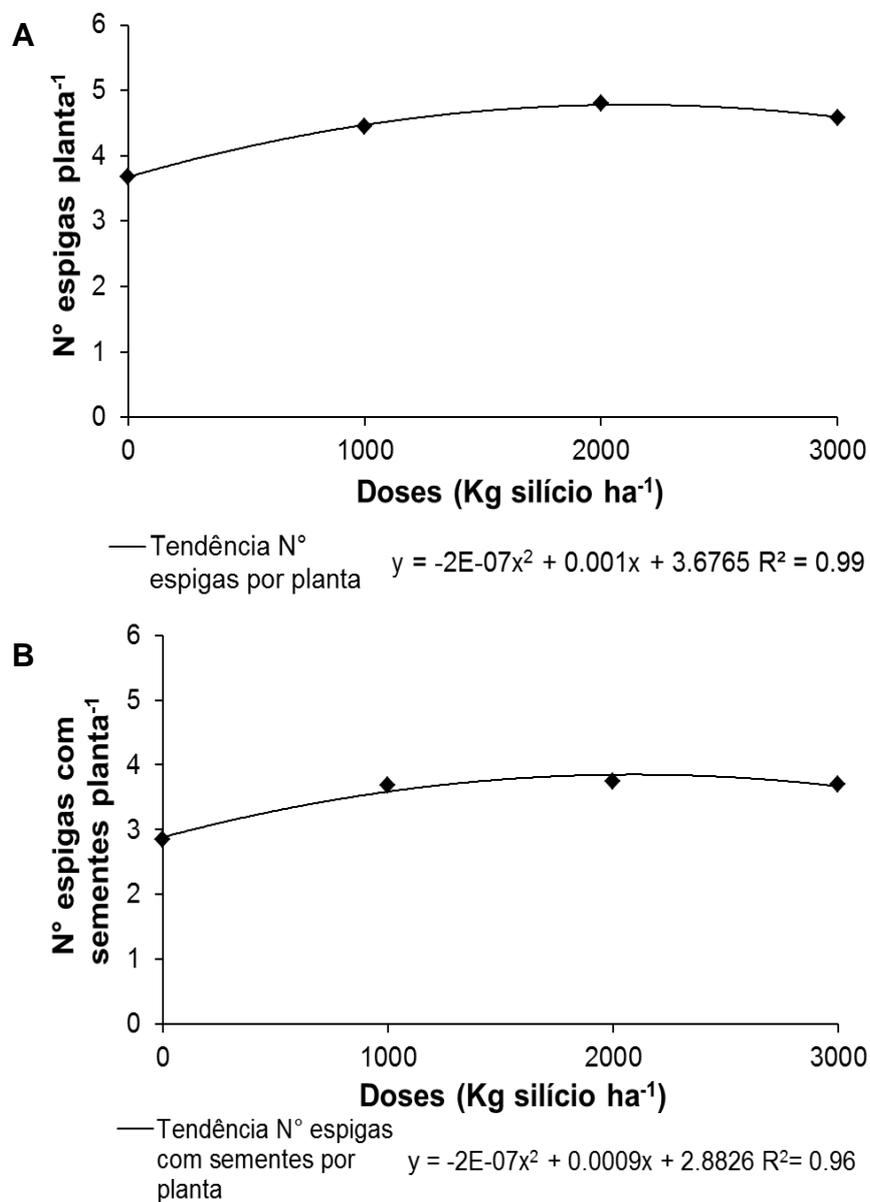


Figura 5 - Número de espigas por planta (A), CV%= 15,73. Número de espigas com sementes por planta (B), CV%= 18,36. Figuras (média das três concentrações de sal) em função da adubação com silício em forma de cinza de casca de arroz por incorporação no solo na cultura de trigo, cv. Quartzo. Capão do Leão, RS, Brasil, 2014.

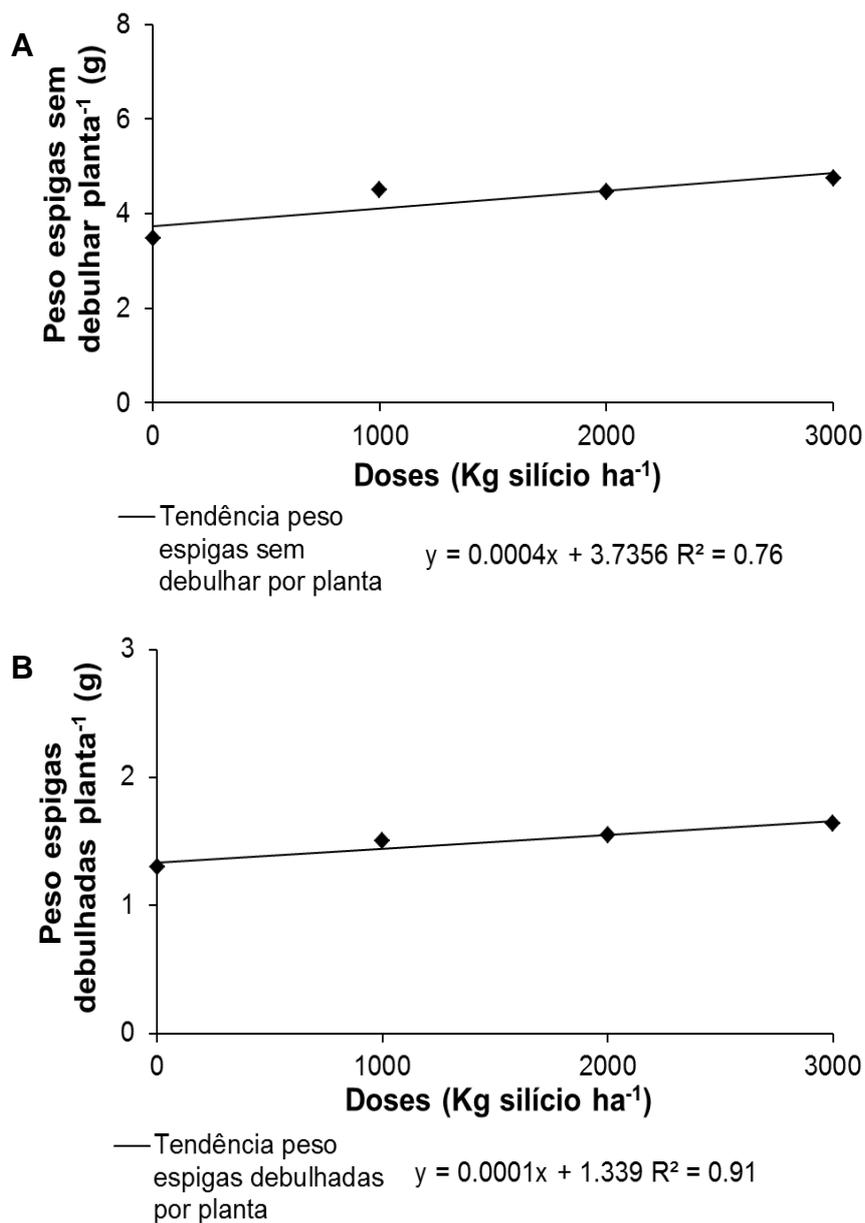


Figura 6 - Peso de espigas sem debulhar por planta (A), CV%= 14,76. Peso de espigas debulhadas por planta (B), CV%= 16,44. Figuras (média das três concentrações de sal) em função da adubação com silício em forma de cinza de casca de arroz por incorporação no solo na cultura de trigo, cv. Quartzo. Capão do Leão, RS, Brasil, 2014.

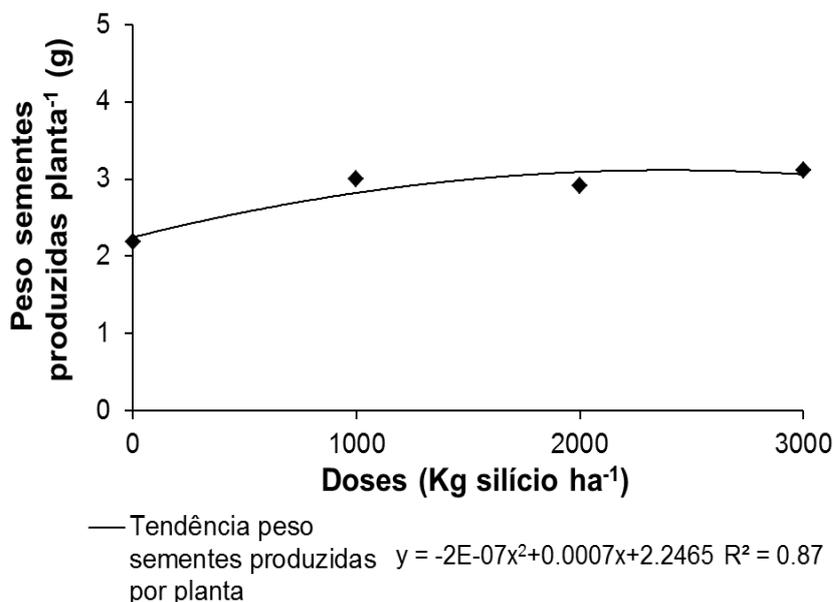


Figura 7 - Peso de sementes produzidas por planta, CV%= 14,76. Figura (média das três concentrações de sal) em função da adubação com silício em forma de cinza de casca de arroz por incorporação no solo na cultura de trigo, cv. Quartzo. Capão do Leão, RS, Brasil, 2014.

Os resultados obtidos neste experimento discordam dos encontrados por Segalin et al. (2013), que não observaram diferenças na produção de sementes de trigo quando adubado via foliar com várias doses de silício. No entanto, Pershin et al. (1995), observaram que a adubação com silício em arroz aumenta o rendimento e o peso de mil sementes. Igualmente Singh et al. (2005) observaram que a adubação com silício em plantas de arroz, aumentou a produção de matéria seca da planta, a altura da planta e a produtividade de grãos. Já em outro experimento com trigo, Tahir et al. (2006), observaram que o aporte de silicato de cálcio para as plantas foi positivo para o rendimento de sementes e matéria seca da planta, tanto em condições normais quanto em condições de estresse salino.

O peso de mil sementes (PMS) mostrou resposta à interação dos fatores sal e silício (Tabela 4 e Figura 8). Esta variável não foi influenciada pela quantidade de sal quando estas foram combinadas com as doses de 2.000 e 3.000 Kg ha⁻¹ de silício, mas quando não foi aplicado silício, o peso de mil sementes foi maior quando as plantas foram irrigadas com água salina. Na Figura 8 se pode observar que quando a irrigação foi feita com água sem sal e com água de concentração 8 mM de sal, o peso de mil sementes se ajustou a um modelo quadrático negativo e quando a irrigação foi feita com água de concentração de 16 mM de NaCl, esta variável teve

comportamento linear positivo. De forma geral se observou que o PMS foi maior quando a irrigação foi feita com água sem sal do que com água salina, além do aumento da dosagem de silício ter sido positivo para o peso de mil sementes independentemente da qualidade da água de irrigação. Toledo et al. (2012), não acharam diferenças significativas no peso de mil sementes em várias cultivares de aveia branca e trigo produzidas com adubação foliar de silício. Igualmente, Fonseca (2012), não achou efeito do tratamento de sementes de trigo com silício sobre o peso de mil sementes. No entanto, Oliveira (2013) encontrou efeito positivo do tratamento com silício em sementes de soja sobre o peso de mil sementes.

Tabela 4 - Peso de mil sementes (PMS) e Número de Sementes por Espiga (SE) de plantas de trigo, cv. Quartzo, cultivadas sob manejo com aplicação de doses de NaCl na água de irrigação durante o desenvolvimento da cultura e da aplicação de doses de silício em forma de cinza de casca de arroz, via incorporação no solo. Capão do Leão, RS, Brasil, 2014.

		Doses Silício (Kg ha ⁻¹)					Média	CV %
		0	1000	2000	3000			
PMS (g)	Doses NaCl	0	35,11 b	37,21 b	37,64 a	37,94 a	36,98	1.33
		8	37,30 a	38,84 a	38,43 a	38,60 a	38,29	
		16	36,45 a	36,61 b	38,43 a	38,62 a	37,53	
	Média	36.29	37.55	38.17	38.39	-		
SE	Doses NaCl	0	21,4	19,7	21,5	22,8	22,8 ns	10,43
		8	20,9	22,9	19,9	21,6	21,6 ns	
		16	23,3	22,0	21,1	22,1	22,1 ns	
	Média	21,9 ns	21,5 ns	20,8 ns	22,2 ns	-		

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV%: coeficiente de variação. ns: Não significativo.

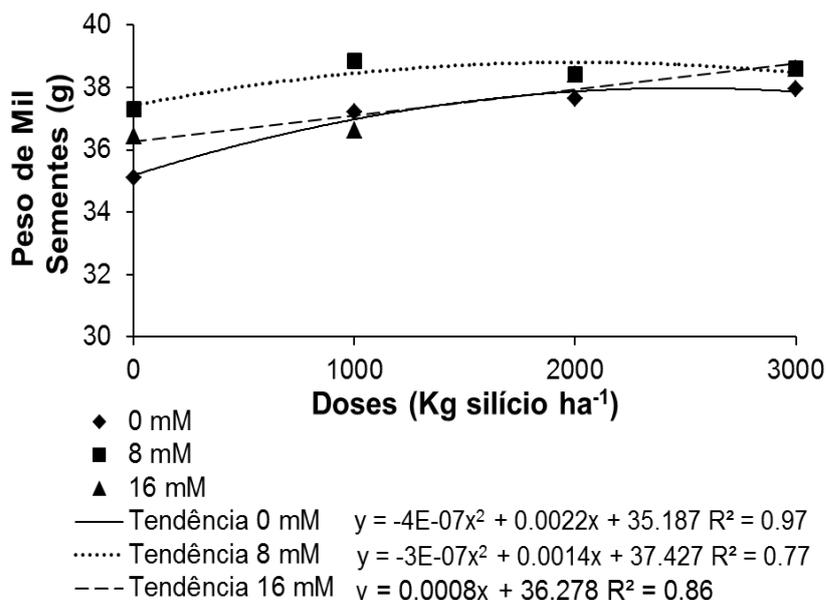


Figura 8 - Peso de mil sementes (PMS) em função da interação entre a irrigação com água salina e a adubação com cinza de casca de arroz por incorporação no solo na cultura de trigo, cv. Quartzo. mM: milimolar. Capão do Leão, RS, Brasil, 2014.

4.2.2. Qualidade fisiológica das sementes produzidas.

A porcentagem de germinação e a primeira contagem de germinação (%) foram influenciadas somente pelo fator sal (Tabela 5), enquanto o comprimento da parte aérea e da raiz das plântulas oriundas das sementes produzidas mostraram resposta à interação entre os fatores sal e silício. A massa da matéria seca da parte aérea e da raiz não foram influenciadas por nenhum dos fatores usados neste experimento (Tabela 5).

Nos resultados obtidos, observou-se que a porcentagem de germinação foi maior na irrigação com água de concentração de 8 mM, enquanto a primeira contagem de germinação teve melhor desempenho quando as plantas foram irrigadas com ambas concentrações de NaCl, em relação ao controle (sem sal). Este resultado discorda do encontrado por Matichenkov et al. (2005) que observaram que o silício aumentou a porcentagem de germinação de sementes de trigo em condições de estresse salino. Lemes (2013) também observou que sementes de arroz produzidas em condições de estresse salino apresentaram menor número de plântulas normais, tanto no teste de germinação como na primeira contagem de germinação, comparadas às sementes produzidas sem estresse.

Referente ao comprimento da parte aérea das plântulas pode-se observar, na Figura 9a, que quando as plantas foram irrigadas com água sem sal e com água de concentração de 8 mM de NaCl, a dosagem de silício não teve efeito significativo. Quando as plantas foram irrigadas com água de concentração de 16 mM, os resultados ajustaram-se a um modelo quadrático, aumentando o comprimento da parte aérea conforme se aumentaram as doses de silício, até atingir o topo máximo na dose de 1.000 Kg ha⁻¹ quando o comprimento da parte aérea da plântula começou a diminuir. Conforme a Tabela 6 pode-se observar que a dosagem de sal não teve efeito sobre o comprimento da parte aérea das plântulas quando se aplicou silício nas doses de 0; 1.000 e 2.000 Kg ha⁻¹, no entanto, quando se adubaram as plantas com 3.000 Kg ha⁻¹ de silício, o comprimento da parte aérea foi significativamente menor quando a irrigação foi feita com água de concentração de 16 mM de NaCl.

Tabela 5 - Germinação (G) e Primeira contagem de germinação (PCG) das sementes produzidas e massa da matéria seca da parte aérea (MSPA) e da raiz (MSR) das plântulas oriundas das sementes produzidas por plantas de trigo, cv. Quartzo, cultivadas sob manejo com aplicação de doses de NaCl na água de irrigação durante o desenvolvimento da cultura. Capão do Leão, RS, Brasil, 2014.

		Doses Silício (Kg ha ⁻¹)					CV	
		0	1000	2000	3000	Média	%	
G (%)	Doses NaCl (mM)	0	98	98	98	98	98 b	0,79
		8	99	99	100	99	99 a	
		16	98	99	98	99	98 b	
	Média	98	99	99	99	-		
PCG (%)	Doses NaCl (mM)	0	86	89	90	86	88 b	2,66
		8	91	93	93	90	92 a	
		16	92	89	92	91	91 a	
	Média	90	90	92	89	-		
MSPA (g)	Doses NaCl (mM)	0	0,0831	0,0904	0,0894	0,0895	0,0881 ns	7,56
		8	0,0922	0,0852	0,0946	0,0916	0,0909 ns	
		16	0,0800	0,0911	0,0932	0,0867	0,0877 ns	
	Média	0,0851	0,0889	0,0924	0,0893	-		
MSR (g)	Doses NaCl (mM)	0	0,0715	0,0740	0,0721	0,0747	0,0731 ns	8,89
		8	0,0731	0,0688	0,0712	0,0727	0,0714 ns	
		16	0,0634	0,0700	0,0696	0,0787	0,0704 ns	
	Média	0,0693	0,0709	0,0710	0,0754	-		

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV%: coeficiente de variação.

Tabela 6 - Comprimento da parte aérea (CPA) e comprimento da raiz (CR) de plântulas oriundas das sementes produzidas por plantas de trigo, cv. Quartzo, cultivadas sob manejo com aplicação de doses de NaCl na água de irrigação durante o desenvolvimento da cultura e da aplicação de doses de silício em forma de cinza de casca de arroz, via incorporação no solo. Capão do Leão, RS, Brasil, 2014.

		Doses Silício (Kg ha ⁻¹)					Média	CV %
		0	1000	2000	3000			
CPA (m)	Doses NaCl (mM)	0	0,131 a	0,136 a	0,131 a	0,144 a	0,135	6,00
		8	0,136 a	0,137 a	0,133 a	0,141 a	0,137	
		16	0,127 a	0,143 a	0,133 a	0,124 b	0,131	
	Média	0,131	0,139	0,132	0,136			
CR (m)	Doses NaCl (mM)	0	0,151 a	0,157 a	0,154 ab	0,166 a	0,157	4,14
		8	0,152 a	0,163 a	0,145 b	0,162 a	0,156	
		16	0,141 a	0,166 a	0,162 a	0,144 b	0,153	
	Média	0,148	0,162	0,154	0,158			

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV%: coeficiente de variação.

O comprimento da raiz das plântulas apresentou resposta à irrigação com água salina quando se adubaram as plantas com as doses de 2.000 e 3.000 Kg ha⁻¹ de silício (Tabela 6), sendo o comprimento maior na irrigação com água de concentração de 16 mM e menor com a irrigação na dose de 8 mM de NaCl quando aplicada a dose de 2.000 Kg ha⁻¹, enquanto que, quando aplicada a dose de 3.000 Kg ha⁻¹, a irrigação com água de concentração de 16 mM afetou o comprimento da raiz. Quando se adubou com as doses zero e 1.000 Kg ha⁻¹ de silício, o comprimento da raiz não apresentou resposta à dosagem de sal aplicada na irrigação. Também se pode observar, que as doses de silício não tem efeito sobre o comprimento da raiz quando as plantas são irrigadas com água de concentração de 8 mM, mas quando as plantas são irrigadas com água sem sal, se observa uma resposta positiva ao silício, aumentando de forma linear conforme aumenta a dosagem de silício com uma taxa de 0,4 cm Mg⁻¹ de silício aplicada. Igualmente se observou que quando as plantas foram irrigadas com água de concentração de 16 mM, o comprimento de raiz apresenta um comportamento de tipo quadrático, aumentando até atingir o topo na dose de 1.500 Kg ha⁻¹, onde começa a decrescer até ser igualar à dose zero (Figura 9b). Fonseca (2012), não encontrou diferenças significativas no comprimento da parte aérea de plântulas de trigo oriundas de sementes produzidas a partir de sementes recobertas com silicato de alumínio em várias doses. Em experimento similar, mas trabalhando com soja, Rufino (2010) observou que o silício

tem uma influência positiva sobre o comprimento da parte aérea das plântulas oriundas das sementes produzidas.

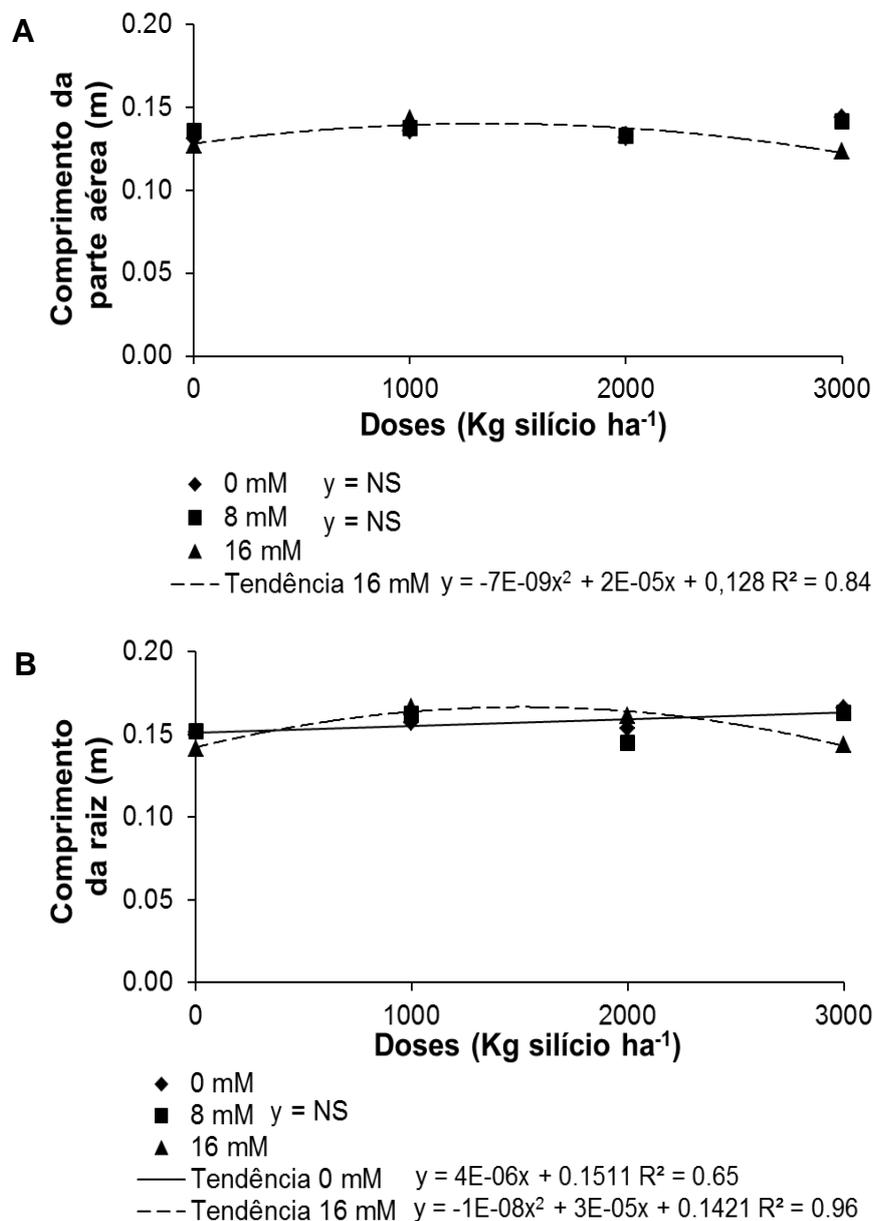


Figura 9 - Comprimento da parte aérea das plântulas oriundas das sementes produzidas (A). Comprimento da raiz das plântulas oriundas das sementes produzidas (B). Figuras em função da interação entre a irrigação com água salina e a adubação com cinza de casca de arroz por incorporação no solo na cultura de trigo, cv. Quartzo. mM: milimolar. NS= não significativo. Capão do Leão, RS, Brasil, 2014.

Na Figura 10 é apresentado o perfil eletroforético da enzima α -amilase. Observa-se que a expressão da enzima foi menor em sementes e maior em plântulas de segunda contagem de germinação. Também nota-se que nas sementes e plântulas obtidas dos tratamentos que não tiveram aporte de silício e se irrigou

com água sem sal, a atividade da enzima foi menor do que nos outros tratamentos. Este mesmo comportamento se observou quando foi aplicado caulim como fonte de silício. De forma geral pode-se dizer que a expressão da enzima α -amilase foi semelhante nas amostras estudadas. Os resultados obtidos concordam com a germinação das sementes produzidas, onde se encontraram germinações superiores a 98% para todos os tratamentos estudados.

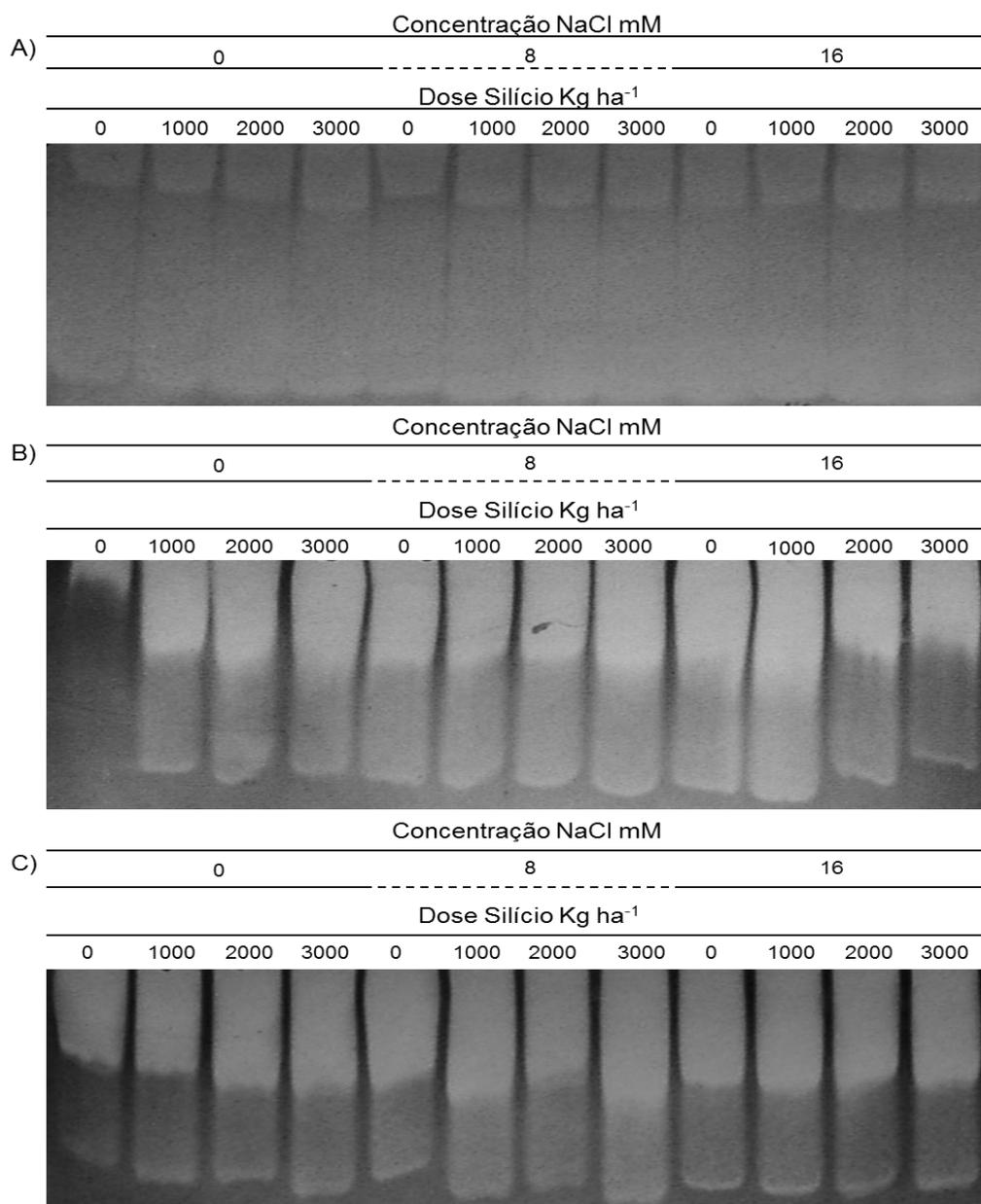


Figura 10 - Perfil eletroforético da enzima α -amilase. Sementes de trigo (A). Plântulas de trigo na primeira contagem de germinação (B). Plântulas de trigo na segunda contagem de germinação (C). Sementes produzidas por plantas de trigo, cv. Quartzo, em função da irrigação com soluções de NaCl e adubação via solo com cinza de casca de arroz mM: milimolar. Capão do Leão, RS, Brasil, 2014.

5. Considerações Finais

A dosagem de sal utilizada para realizar este experimento não é elevada o suficiente para provocar a morte das plantas ou impedir a produção de sementes. No entanto, observou-se que o estresse salino apresentou efeitos negativos sobre as variáveis estudadas.

Por outro lado, é importante mencionar que na literatura são escassos os relatos de pesquisas com o efeito que tem o uso do silício sob a produção e qualidade fisiológica de sementes produzidas sob estresse salino, dificultando a discussão dos resultados deste trabalho.

Observou-se que o número de espigas por planta, o número de espigas com sementes por planta, o peso das espigas sem debulhar por planta e o peso das sementes produzidas por planta diminuíram com o aumento da dosagem de sal na água de irrigação, quando aplicado caulim como fonte de silício.

O peso de mil sementes aumentou numa taxa de $0,3 \text{ g Mg}^{-1}$ de silício aplicado via solo em forma de caulim.

A aplicação de silício na forma de caulim, junto com a adubação de base, aumenta a porcentagem de germinação das sementes produzidas numa taxa de $0,4\% \text{ Mg}^{-1}$ de silício aplicado, quando as plantas mãe não são expostas a estresse salino.

Observou-se que a cinza de casca de arroz conseguiu atenuar os efeitos causados pelo sal sobre as características agronômicas, enquanto o caulim não demonstrou o mesmo efeito.

A aplicação de 2.000 Kg ha^{-1} de silício, usando como fonte a cinza de casca de arroz, inibe o efeito da irrigação com água salina de concentração de até 16 mM de cloreto de sódio. Este aumentou a produção de espigas por planta (1,2 espigas por planta a mais que na dose controle), a produção de espigas com sementes por planta (uma espiga por planta a mais que na dose controle) e o peso das sementes produzidas (0,6 gramas por planta a mais que na dose controle).

O peso de mil sementes manifestou que a aplicação de silício, usando como fonte a cinza de casca de arroz, resultou em um acréscimo de 3,03 e 1,63 gramas

quando as plantas foram irrigadas com água de concentrações de NaCl de 0 e 8 mM, sendo os pontos de máxima eficiência a aplicação de Si em quantidade de 2.750 e 2.333 Kg ha⁻¹, respectivamente. Na concentração de 16 mM o PMS aumentou em uma taxa de 0,8 g Mg⁻¹ de silício aportado.

Mesmo com diferenças estatísticas entre os tratamentos estudados, se observou que a qualidade das sementes produzidas foi muito alta, obtendo-se em ambos os experimentos germinações superiores a 90%. Este resultado foi corroborado com a análise da enzima alfa amilase, onde se observou similaridade entre os tratamentos.

6. Conclusões

O uso de cinza de casca de arroz como fonte de silício, até uma dose de 2.000 Kg ha⁻¹, provoca aumento no número de espigas e no peso de sementes por planta.

A aplicação de silício via solo, independente da fonte usada e da presença de estresse salino, aumenta o peso de mil sementes.

As características agronômicas e a qualidade fisiológica das sementes de trigo produzidas são influenciadas diferenciadamente pelas fontes de silício usadas.

O padrão eletroforético da enzima α -amilase nas sementes produzidas não é influenciado pelo estresse salino nem pela aplicação de silício.

Referências

ALFENAS, A.C. **Eletroforese de isoenzimas e proteínas afins**. Viçosa: UFV, 1998, 574p.

ALI, A.; BASRA, S.M.A.; IQBAL, J.; HUSSAIN, S.; SUBHANI, M.N.; SARWAR, M.; AHMED, M. Augmenting the salt tolerance in wheat (*Triticum aestivum*) through exogenously applied silicon. **African Journal of Biotechnology**, Nairóbi. v.11, n.3, p. 642-649. 2012.

BEWLEY, J.D.; BLACK, M. **Physiology and biochemistry of seeds in relation to germination. Development, germination and growth**. Berlim: Springer Verlag, 1978, v.1, 306p.

BISSANI, C. A.; CAMARGO, F. A. O.; GIANELLO, C.; TEDESCO, M. J. **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas**. 2.ed. Porto Alegre, 2008. 344p.
BLANCO, F.F.; FOLEGATH, M.V.; GHEYI, H.R.; FERNANDES, P.D. Growth and yield of corn irrigated with saline water. **Scientia Agricola**. Piracicaba., v.65, p. 574-580, 2008.

BORZOUËI, A.; KAFI, M.; AKBARI-GHOGDI, E.; MOUSAVI-SHALMANI, M. Long term salinity stress in relation to lipid peroxidation, super oxide dismutase activity and proline content of salt sensitive and salt-tolerant wheat cultivars. **Chilean Journal of Agricultural Research**. Chilán. v.72, n.4, p.476-482. 2012.

BRASIL DECRETO Nº 4954. Aprova o regulamento da lei nº 6.894 de 16 de janeiro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura, e dá outras providências. **Normas jurídicas** DEC 004954, 14 jan., Brasília. 2004, pp. 27.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília: Mapa/ACS, 2009.

CARMONA, F.C.; ANGHINONI, I.; WEBER, E.J. **Salinidade da água e do solo e seus efeitos sobre o arroz irrigado no Rio Grande do Sul**. Cachoeirinha. IRGA/Estação Experimental, Seção de Agronomia, 2011.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento de safra brasileira: grãos, décimo levantamento, julho 2013**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acessado em 07 ago. 2013.

DEUNER, C.; MAIA, M. S.; DEUNER, S.; ALMEIDA, A. S.; MENEGHELLO, G. E. Viabilidade e atividade antioxidante de sementes de genótipos de feijão-miúdo submetidos ao estresse salino. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 33, n.4, p. 711-720, 2011.

DIAS, N.S.; BLANCO, F.F. Efeito dos sais no solo e na planta. In: GHEYI, H.R.; DIAS, N.S.; LACERDA, C.F. (Ed). **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza, INCT Sal, 2010. 472p.

DUARTE, G.L.; SILVA, R.N.; LOPES, N.F.; MORAES, D.M.; PEREIRA, A.L.A. Análise de crescimento de dois genótipos de trigo (*Triticum aestivum* L.) sob efeito da salinidade. **Revista Thema**, Pelotas. v.7, n.2, Pelotas, 2010.

EMBRAPA AGROPECUARIA OESTE. Informações Técnicas para Trigo e Triticale – safra 2012. **Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale**. Dourados, MS, 25 a 28 de julho de 2011.

EMBRAPA TRIGO. **Cultura do Trigo**, Passo Fundo – RS, 22 ago. 2013. Online. Disponível em: <<http://www.cnpt.embrapa.br/culturas/trigo/index.html>>. Acessado em 22 ago. 2013.

EPSTEIN, E. Silicon. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Washington v. 50, n. 01, p. 641-664, 1999.

FOLETTTO, E. L.; HOFFMANN, R.; HOFFMANN, R. S.; PORTUGAL JR., U. L.; JAHN, S. L. Aplicabilidade das cinzas da casca de arroz. **Química Nova**, São Paulo. v.28, n.6, p. 1055-1060, 2005.

FONSECA, D.A.R. **Desempenho de sementes de trigo recobertas com silicato de alumínio**. 2012. 59p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Sementes)-Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2012.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Water in agriculture: opportunity untapped**. Roma. 2006.

HU, Y.; BURUCS, Z.; SCHMIDHALTER, U. Short-term effect of drought and salinity on grown and mineral elements in wheat seedlings. **Journal of Plant Nutrition**. Philadelphia, v,29, p.2227-2243. 2006.

HU, Y.; SCHMIDHALTER, U. Drought and salinity: a comparison of their effects on mineral nutrition of plants. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**. Philadelphia. v.185, p.541-549. 2005.

JÁCOME, A. G.; OLIVEIRA, R. H.; FERNANDES, P. D.; GONÇALVES, A. C. A. Comportamento produtivo de genótipos de algodão sob condições salinas. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 25, n. 1, p. 187-194, 2003.

KRZYZANOWSKI, C.F.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO; J.B. Associação Brasileira de Tecnologia de Sementes, **Comitê de Vigor de Sementes**. Londrina: ABRATES, 1999.

LEMES, E.S. **Aplicação de cinza da casca de arroz, via solo, como fonte de silício em arroz irrigado sob estresse salino**. 2013. 68p. Dissertação (Mestrado

em Ciência e Tecnologia de Sementes)-Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2013.

LICHTENTHALER, H.K. El estrés y la medida del estrés en plantas. In: REIGOSA, M.J.; PEDROL, N.; SÁNCHEZ, A. (Ed). **La Ecofisiología Vegetal – Una ciencia de síntesis**. Madrid. 2004.

LIMA, B.A.D. **Uso da argila silicatada como fonte de silício na produção de sementes de cereais**. 2010. 40p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Sementes)-Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Pelotas, 2010.

LIMA FILHO, O. F.; TSAI, S. M. **Crescimento e produção do trigo e da aveia branca suplementados com silício**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento Embrapa Agropecuária Oeste. 2007. 34 p.

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

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

MACHADO, A. A.; CONCEIÇÃO, A. R. **Sistema de análise estatística para Windows**. WinStat. Versão 1.0. Pelotas. UFPel, 2003.

MACHADO, M.O.; TERRES, A.L. Tolerância de genótipos à salinidade do solo - safra 1994/1995. In: **Reunião da cultura do arroz irrigado, 21**, Porto Alegre, 1995. Anais. Porto Alegre: IRGA, 1995. p.48-50.

MATICHENKOV, V. V.; KOSOBROUKHOV, A. A.; SHABNOVA, N. I.; BOCHARNIKOVA, E. A. Plant response to silicon fertilizers under salt stress. **Agrokhimiya**, Moscow, v.10, p.59-63, 2005.

MEDEIROS, J.F.; NASCIMENTO, L.B.; GHEYI, H.R.; Manejo do solo-água-planta em áreas afetadas por sais. In: GHEYI, H.R; DIAS, N.S.; LACERDA, C.F. (Ed). **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza, INCT Sal, 2010. 472p.

MIRANDA, J.R.P.; CARVALHO, J.G.; SANTOS, D.R.; FREIRE, A.L.O.; BERTONI, J.C.; MELO J.R.M.; CALDAS, A.L. Silício e cloreto de sódio na nutrição mineral e produção de matéria seca de plantas de moringa (*Moringa oleifera* Lam.). **Revista Brasileira da Ciência do Solo**. Viçosa, v.26. p,957-965, 2002.

MIRANDA, M.Z. **Trigo: germinação e posterior extrusão para obtenção de farinha integral extrusada de trigo germinado**. Embrapa Trigo, Passo Fundo, 2006. Documentos Online. Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do74.pdf>. Acessado em 27 set. 2013.

- NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados no desempenho das plântulas. In: KRZYŻANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R. D. e FRANÇA NETO, J.B. **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999.
- OLIVEIRA, L.A. **Silício em plantas de feijão e arroz: absorção, transporte, redistribuição e tolerância ao cádmio**. 2009. 157 f. Tese (Doutorado) – Centro de energia nuclear na agricultura. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.
- OLIVEIRA, S. **Silício oriundo da cinza de casca de arroz carbonizada como promotor do rendimento e da qualidade fisiológica de sementes de soja**. 2013. 67p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Sementes)-Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2013.
- PARIDA, A.K.; DAS, A.B. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, New York, v,60. p,324–349, 2005.
- PERSHIN, B. M.; PERSHIMA, A. N.; EGORINA, L. M. Silicon and rice production in the Primorskii region. **Agrikhimiya**, Moskow, v.10, p. 68-74, 1995.
- PRISCO, J.T.; FILHO, E.G. Fisiologia e bioquímica do estresse salino em plantas. In: GHEYI, H.R.; DIAS, N.S.; LACERDA, C.F. (Ed). **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza, INCT Sal, 2010. 472p.
- QUAGLIA, G. **Ciencia y tecnología de la panificación**. Segunda edición. p-485. Zaragoza: Acribia, 1991.
- RHOADES, J. D.; KANDIAH, A.; MASHALI, A. M. **Uso de águas salinas para a produção agrícola**. Campina Grande: UFPB, 2000. 117 p.
- RODRIGUES, F.A.; OLIVEIRA, L.A.; KORNDÖRFER, A.P.; KORNDÖRFER, G.H. Silício: um elemento benéfico e importante para as plantas. **Informações Agrônomicas N° 134**. International Plant Nutrition Institute - Brasil. Piracicaba. 2011.
- RODRIGUES, L.N.; FERNANDES, P.D.; GHEYI, H.R.; VIANA, S.B.A. Germinação e formação de mudas de arroz irrigado sob estresse salino. **Revista Brasileira de Engenharia agrícola e Ambiental**. Campina Grande. v.6, n.3, p.397-403, 2002.
- RUFINO, C.A. **Aplicação de cálcio, magnésio e silício nas sementes de soja**. 2010, 55p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Sementes)-Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2010.
- SANGSTER, A.G.; HODSON, M.J.; PARRY, D.W. Silicon deposition and anatomical studies in the inflorescence bracts of four *Phalaris* species with their possible relevance to carcinogenesis. **New Phytologist**, Sheffield. v.93, p.105-122, 2001.
- SÁVIO, F.L.; SILVA, G.C.; TEIXEIRA, I.R.; BORÉM, A. Produção de biomassa e conteúdo de silício em gramíneas forrageiras sob diferentes fontes de silício. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.32, n.1, p.103-110. 2011.

SCANDÁLIOS, J.G. Genetic control of multiple molecular forms of enzymes in plants: a review. **Biochemical Genetics**, New York. v.3, n.1, p.37-79, 1969.

SCHEUER, P.M.; FRANCISCO, A.; MIRANDA, M.Z.; LIMBERGER, V.M. Reiew. Trigo: Características e utilização na panificação. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**. Campina Grande, v.13, n.2, p211-222. 2011.

SEGALIN, S.R.; HUTH, C.; ROSA, T.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**, Londrina. v.35, n.1, p.86-91, 2013.

SETTER, T.L.; CARLTON, G. The structure and development of the cereal plant. In: AUSTRALIAN GOVERNMENT. **The Wheat Book, Principles and Practice**. Camberra. 2000. 45p.

SHI, Y.; WANG, Y.; FLOWERS, T.J.; GONG, H. Silicon decreases chloride transport in rice (*Oryza sativa* L.) in saline conditions. **Journal of Plant Physiology**. Stuttgart, v.170, p.847-853, 2013.

SILVEIRA, J.A.G.; SILVA, S.L.F.; SILVA, E.N.; VIÉGAS, R.A. Mecanismos biomoleculares envolvidos com a resistência ao estresse salino em plantas. In:

GHEYI, H.R.; DIAS, N.S.; LACERDA, C.F. (Ed). **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza, INCT Sal, 2010. 472p.

SINGH, A. K.; SINGH, R.; SINGH, K. Growth, yield and economics of rice (*Oryza sativa*) as influenced by level and time of silicon application. **Indian Journal of Agronomy**, New Delhi, v.50, n.3, p.190-193, 2005.

SOUSA, J.V.; RODRIGUES, C.R.; LUZ, J.M.Q.; CARVALHO, P.C.; RODRIGUES, T.M.; BRITO, CH. Silicato de potássio via folhar no milho: Fotossíntese, crescimento e produtividade. **Bioscience Journal**, Uberlândia. v.26, n.4, p-502-513. 2010.

STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E., NASCIMENTO, P.C.; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E. PINTO, L.F.S. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2.ed. Porto Alegre, EMATER/RSASCAR, p. 222. 2008.

TAIZ. L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Terceira edição. Tradução Eliane Romanato Santarém. Porto Alegre: Artmed, 2004.

TAHIR, M. A.; RAHMATULLAH; AZIZ, T.; ASHRAF, M.; KANWAL, S.; MAQSOOS, M. A. Beneficial effects of silicon in wheat (*Triticum aestivum* L.) under salinity stress. **Pakistan Journal of Botany**, Pakistan, v. 5, n.38, p. 1715-1722, 2006.

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**. Londrina. v.33, n.5, p.1693-1702. 2012.

TUNA, A.L.; KAYAB, C.; HIGGS, D.; AMADOR, B.M.; AYDEMIR, S.; GIRGIN A.R. Silicon improves salinity tolerance in wheat plants. **Environmental and Experimental Botany**. Philadelphia. v.62, p.10–16, 2008.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Frequently Asked Questions About Salinity**. Disponível em:

<<http://www.ars.usda.gov/Aboutus/docs.htm?docid=10201>>. Acessado em 14 ago. 2013a.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **World wheat supply and disappearance. USDA, Foreign Agricultural Service, Production, Supply and Distribution Database**. Disponível em:

<http://www.ers.usda.gov/datafiles/Wheat_Wheat_Data/Yearbook_Tables/World_Production_Supply_and_Disappearance/wheatyearbooktable03.pdf>. Acessado em 07 ago. 2013b.

VILLWOCK, J.A.; TOMAZELLI, L.J. **Geologia costeira do Rio Grande do Sul**. Notas Técnicas 8. Porto Alegre. p.1-45. 1995.

WILLADINO, L.; CAMARA, T.R. Tolerância das plantas à salinidade: aspectos fisiológicos e bioquímicos. **Enciclopédia biosfera, centro científico conhecer**. Goiânia, v.6. n.11. 2010.

Apêndices

Apêndice A. Quadrados Médios obtidos na Análise de variância do primeiro experimento. Adubação com caulim via solo e irrigação com água salina de plantas de trigo, cv. Quartzo.

FV	GL	Quadrado Médio						
		NE	ES	SE	PESD	PED	PS	PMS
Dose NaCl	2	1,98 **	2,43 **	12,62 ns	2,03 **	0,09 ns	1,36 **	4,73 **
Dose Si	3	0,49 ns	0,20 ns	2,60 ns	0,47 ns	0,02 ns	0,37 ns	1,95 **
Dose NaCl * Dose Si	6	0,41 ns	0,64 ns	6,88 ns	0,33 ns	0,04 ns	0,24 ns	0,68 ns
Resíduo	36	0,24	0,31	6,47	0,20	0,03	0,16	0,38

* Significativo a 5%; ** Significativo a 1%; ns, Não significativo.

FV	GL	Quadrado Médio					
		G	PCG	CPA	CR	MSPA	MSR
Dose NaCl	2	1,61 ns	10,56 ns	0,96 ns	2,21 **	$1,43 \times 10^{-4} *$	$3,43 \times 10^{-4} **$
Dose Si	3	2,19 *	40,08 **	1,19 ns	2,01 **	$8,58 \times 10^{-6} ns$	$7,80 \times 10^{-5} ns$
Dose NaCl * Dose Si	6	3,85 **	17,60 *	1,09 *	1,13 *	$7,32 \times 10^{-5} ns$	$8,93 \times 10^{-5} ns$
Resíduo	36	0,55	5,47	0,44	0,34	$3,91 \times 10^{-5}$	$4,65 \times 10^{-5}$

* Significativo a 5%; ** Significativo a 1%; ns, Não significativo.

Apêndice B. Quadrados Médios obtidos na Análise de variância do segundo experimento. Adubação com cinza de casca de arroz via solo e irrigação com água salina de plantas de trigo, cv. Quartzo.

FV	GL	Quadrado Médio						
		NE	ES	SE	PESD	PED	PS	PMS
Dose NaCl	2	1,53 ns	0,08 ns	3,37 ns	0,15 ns	<0,00 ns	0,10 ns	6,98 **
Dose Si	3	2,83 **	2,23 **	3,78 ns	3,74 **	0,25 **	2,11 **	10,65 **
Dose NaCl * Dose Si	6	0,72 ns	0,68 ns	6,17 ns	0,82 ns	0,08 ns	0,46 ns	1,54 **
Resíduo	36	0,47	0,41	5,08	0,40	0,06	0,25	0,25

* Significativo a 5%; ** Significativo a 1%; ns, Não significativo.

FV	GL	Quadrado Médio					
		G	PCG	CPA	CR	MSPA	MSR
Dose NaCl	2	6,04 **	61,72 **	1,07 ns	0,61 ns	$4,82 \times 10^{-5} ns$	$2,94 \times 10^{-5} ns$
Dose Si	3	0,26 ns	12,88 ns	1,45 ns	4,14 **	$1,07 \times 10^{-4} ns$	$8,22 \times 10^{-5} ns$
Dose NaCl * Dose Si	6	0,84 ns	11,68 ns	1,74 *	3,33 **	$7,01 \times 10^{-5} ns$	$5,12 \times 10^{-5} ns$
Resíduo	36	0,62	5,74	0,65	0,41	$4,52 \times 10^{-5}$	$4,05 \times 10^{-5} ns$

* Significativo a 5%; ** Significativo a 1%; ns, Não significativo.

Apêndice C. Análise de laboratório do solo usado.

pH água	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC_{efetiva}	Saturação (%)		Índice
1:1			cmol _c /dm ³			Al	Bases	SMP
5.1	2.1	0.8	0.8	3.9	3.8	21	44	6.1

% Mat. Org.	% Argila	Textura	P-Mehlich	CTCpH7	K
m/v	m/v		mg/dm ³	cmol _c /dm ³	mg/dm ³
1.4	27	3	1.8	6.9	40

Cu	Zn	B	Fe	Mn	Na	Relações			
			mg/dm ³			Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	K/Ca+Mg
2.1	0.5	0.4	1500	115	16	2.6	20.5	7.8	0.06