

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA  
CAMPUS ITAQUI  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**DOSES, FONTES E ÉPOCAS DE APLICAÇÃO DE Zn:  
EFEITO NA GERMINAÇÃO, POTENCIAL  
FISIOLÓGICO DE SEMENTES E PRODUTIVIDADE DE  
ARROZ IRRIGADO POR INUNDAÇÃO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**Giovane Matias Burg**

**Itaqui, RS, Brasil**

**2014**

**GIOVANE MATIAS BURG**

**DOSES, FONTES E ÉPOCAS DE APLICAÇÃO DE Zn:  
EFEITO NA GERMINAÇÃO, POTENCIAL  
FISIOLÓGICO DE SEMENTES E PRODUTIVIDADE DE  
ARROZ IRRIGADO POR INUNDAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Agronomia da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), como requisito parcial para obtenção do grau de **Engenheiro Agrônomo**.

Orientador: Amauri Nelson Beutler

Itaqui, RS, Brasil  
2014

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais).

Burg, Giovane Matias.

Doses, fontes e épocas de aplicação de Zn: efeito na germinação, potencial fisiológico de sementes e produtividade de arroz irrigado por inundação/ Giovane Matias Burg. 2014.

30 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Agronomia)  
Universidade Federal do Pampa, 13/08/2014. Orientação:  
Amauri Nelson Beutler.

1. Micronutriente. 2. emergência. 3. *Oryza sativa*. I.  
Beutler, Amauri Nelson. II.Doses, fontes e épocas de  
aplicação de Zn: efeito na germinação, potencial  
fisiológico de sementes e produtividade de arroz irrigado  
por inundação.

GIOVANE MATIAS BURG

**DOSES, FONTES E ÉPOCAS DE APLICAÇÃO DE  
Zn: EFEITO NA GERMINAÇÃO, POTENCIAL  
FISIOLÓGICO DE SEMENTES E PRODUTIVIDADE DE  
ARROZ IRRIGADO POR INUNDAÇÃO.**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Graduação em  
Agronomia da Universidade Federal do  
Pampa (UNIPAMPA), como requisito  
parcial para obtenção do grau de  
**Engenheiro Agrônomo.**

Trabalho de conclusão de curso defendido e aprovado em: 13 de Agosto de 2014.  
Banca examinadora:

---

Prof. Dr. Amauri Nelson Beutler  
Orientador  
Curso de Agronomia - Unipampa

---

Prof. Dr. Cleber Maus Alberto  
Curso de agronomia - Unipampa

---

Prof. Dr. Marcos Toebe  
Curso de agronomia - Unipampa

## **DEDICATÓRIA**

*Dedico este trabalho aos meus pais, Benisio Burg e Maria Inês Burg, meu irmão Fernando Burg maiores incentivadores e fontes inesgotáveis de apoio, amor e compreensão, aos meus amigos e ao grupo de pesquisa pelas ajudas fornecidas. Dedico a todos que contribuíram de alguma forma para realização desde curso.*

## **AGRADECIMENTO**

Ao Prof. Dr. Amauri Nelson Beutler pela orientação no Trabalho de Conclusão de Curso e pelo apoio durante grande parte da graduação, pelas pesquisas, artigos científicos e conhecimentos adquiridos.

A Prof. Dra. Vanessa Neumann Silva, pela orientação e auxílio no Trabalho de Conclusão de Curso

A Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA, pela oportunidade de realização do curso de graduação.

Aos professores, minha gratidão pela forma de conduzir o curso em todas as etapas.

A todos os colegas de curso pelo convívio e pelos momentos de amizade.

Aos colegas do grupo de pesquisa Marcelo Raul Schmidt e Evandro Ademir Deak.

Aos colegas que participaram na área de pesquisa Matheus Martins Ferreira, Maicon Zambeli, Fernando Cintra e Otávio Silva Lucas, Lucas Antonio Telles Rodrigues. pelo apoio e companheirismo ao transcorrer do trabalho no grupo de pesquisa..

A todas as pessoas que, direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

A FAPERGS e CNPq pela concessão da bolsa fornecida durante os trabalhos de pesquisa durante a graduação.

## RESUMO

### DOSES, FONTES E ÉPOCAS DE APLICAÇÃO DE Zn: EFEITO NA GERMINAÇÃO, POTENCIAL FISIOLÓGICO DE SEMENTES E PRODUTIVIDADE DE ARROZ IRRIGADO POR INUNDAÇÃO

Autor: Giovane Matias Burg

Orientador: Amauri Nelson Beutler

Local e data: Itaquí, 13 de Agosto de 2014.

O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito de doses, fontes e épocas de aplicação de zinco (Zn) na germinação, potencial fisiológico de sementes e produtividade de arroz irrigado por inundação. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado: no experimento de laboratório utilizou-se em esquema fatorial  $6 \times 2$  e quatro repetições. Seis doses de Zn: 0, 50, 100, 200, 400 e  $800 \text{ g ha}^{-1}$  e duas fontes de Zn: Sulfato de Zinco heptahidratado ( $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) e Cloreto de Zinco ( $\text{ZnCl}_2$ ). Após o tratamento das sementes, foram avaliados a germinação, comprimento de plântulas, massa seca de plântulas, teste de frio, envelhecimento acelerado e emergência de plântulas. No campo, utilizou-se um esquema fatorial  $7 \times 3 \times 2$ , com três repetições constituídas de vasos de 7 L de solo. Utilizaram-se sete doses de Zn: 0, 50, 100, 200, 400, 800 e  $1600 \text{ g ha}^{-1}$ ; três épocas de aplicação: via semente, estágio vegetativo ( $V_4$ ), estágio vegetativo ( $V_{11}$ ), com as fontes  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  e  $\text{ZnCl}_2$ . Na colheita foram avaliados o número de panículas, massa seca da parte aérea, massa de 100 grãos e produtividade de grãos de arroz por vaso. O tratamento de sementes de arroz com Zn não alterou a germinação e emergência das plântulas. Dentre os componentes do potencial fisiológico a massa seca de plântulas e o teste de frio foram melhores quando a fonte de Zn utilizada foi o  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ . O tratamento de sementes de arroz com  $\text{ZnCl}_2$  proporcionou maior produtividade de grãos, comparado ao  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ . A aplicação de Zn via tratamento de sementes e via pulverização no estágio  $V_{11}$  promoveram maior produtividade de grãos de arroz, em relação ao estágio  $V_4$ .

Palavras-chave: micronutriente, emergência, desenvolvimento, *Oryza sativa*.

## ABSTRACT

### Zn APPLICATION RATES, SOURCES AND TIMES: EFFECT ON GERMINATION, SEED PHYSIOLOGICAL POTENTIAL AND FLOODED IRRIGATED RICE GRAIN YIELD

Author : Giovane Matias Burg

Advisor: Amauri Nelson Beutler

Place and date: Itaqui , 13 de Agosto 2014.

This work aimed evaluate the effect of rates, sources and times of zinc (Zn) application on germination, seed physiological potential and flooded irrigated rice grain yield. The experimental design used was completely randomized: in laboratory experiment was used a factorial scheme 6 x 2 and four replications. Six Zn rates: 0, 50, 100, 200, 400 e 800 g ha<sup>-1</sup> and two Zn sources: zinc sulphate heptahydrate (ZnSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O) and zinc chloride (ZnCl<sub>2</sub>). After seed treatment were evaluated germination, seedling length, seedling dry matter, cold test, accelerated aging and seedling emergence. In field, was used a factorial scheme 7 x 3 x 2, with three replicates consisting of 7 L soil each. Were used seven Zn rates: 0, 50, 100, 200, 400, 800 e 1600 g ha<sup>-1</sup>; three application times: in seed, vegetative stage (V<sub>4</sub>), vegetative stage (V<sub>11</sub>); with ZnSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O and ZnCl<sub>2</sub>. In harvest were evaluated panicle number, shoot dry mass, 100 grains mass and rice grain yield. The rice seeds treatment with Zn do not change germination and seedling emergence. Among the parameters to assess rice seeds physiological potential, seedlings dry mass and germination at low temperature are benefited when using the ZnSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O. Rice seeds treatment with ZnCl<sub>2</sub> provides higher grain yield compared to ZnSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O. The Zn application by seed treatment and spraying in V<sub>11</sub> stadium promote higher rice grain yield in relation to V<sub>4</sub> stage.

Keywords: micronutrient, emergence, development, *Oryza sativa*.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Envelhecimento acelerado, teste de frio, índice de velocidade de emergência, comprimento de plântulas, massa seca de plântulas (laboratório) e produtividade de grãos de arroz (campo).....	20
<b>Figura 2:</b> Massa seca de plântulas (laboratório).....	21
<b>Figura 3:</b> Produtividade de grãos de arroz (campo).....	24
<b>Figura 4:</b> Foto das plantas de arroz um e sete dias após a aplicação de 1600 g ha <sup>-1</sup> de ZnCl <sub>2</sub> , no estádio V <sub>11</sub> .....	26

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1:** Valores médios de germinação de sementes e emergência de plântulas de arroz tratadas com doses e fontes de Zn..... 17
- Tabela 2:** ANOVA gerada usando sete doses de Zn, três épocas de aplicação (via semente, estágios V4 e V11 do crescimento do arroz e duas fontes de Zn ( $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$  e  $ZnCl_2$ ), três repetições e suas interações no campo no número de panículas, massa seca da parte aérea, massa de 100 grãos e produtividade/vaso..... 23
- Tabela 3:** Produtividade de grãos de arroz por vaso em razão da época de aplicação e das fontes de Zn..... 24

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	12
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	14
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	17
4 CONCLUSÃO .....	27
5 REFERÊNCIAS.....	28
6 ANEXO – FOTOS DO EXPERIMENTO.....	34

# 1 INTRODUÇÃO

O zinco (Zn) é um micronutriente essencial às plantas e está envolvido no crescimento e metabolismo, incluindo ativação enzimática, metabolismo de carboidratos, lipídios, ácidos nucleicos, regulação e expressão de genes, síntese de proteínas e desenvolvimento reprodutivo das plantas (Marschner, 1995).

O Zn é o micronutriente mais deficiente nos solos do mundo (Cakmak, 2002; Shivay et al., 2008), sendo que mais de 30% dos solos tem baixa disponibilidade de Zn (Alloway, 2008) e sua deficiência abrange países de vários continentes, refletindo em decréscimo de produtividade, do teor de Zn e redução da qualidade nutricional dos grãos (Alloway, 2008). Para a correção da deficiência de Zn são utilizados fertilizantes contendo Zn, porém tem alto custo (Mustafa et al., 2011).

A cultura do arroz irrigado é altamente sensível à deficiência de Zn, sendo este o micronutriente mais importante e limitante ao crescimento e produtividade da cultura (Rehman et al., 2012). Na cultura do arroz, a aplicação de Zn no solo, na semente ou na planta tem proporcionado aumento de produtividade e do teor de Zn nos grãos em vários países (Naik e Das, 2007; Shivay et al., 2008; Rehman et al., 2012). A aplicação de Zn via semente ou foliar pode ser feita com pequenas doses, reduzindo o custo, comparado à aplicação via solo que exige doses substanciais de Zn, para suprir as necessidades da cultura. Mustafa et al. (2011) verificaram que a aplicação foliar de 0,5% de Zn, 15 dias após o transplante, promoveu maior produtividade do arroz irrigado por inundação e valores semelhantes aos obtidos com a aplicação de 25 kg ha<sup>-1</sup> de ZnSO<sub>4</sub> via solo.

Entre as fontes de Zn existentes, o sulfato (ZnSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O) tem sido mais utilizado e recomendado como fonte do nutriente para aplicação no solo, semente ou pulverização sobre as plantas de arroz (Shivay et al., 2008; Boonchuay et al., 2013; Kabeya e Shankar, 2013), devido sua alta solubilidade em água e menor custo (Alloway, 2008; Shivay et al., 2008). O ZnSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O é uma das fontes mais solúveis de Zn, da mesma forma que o cloreto de Zn (ZnCl<sub>2</sub>), razão pela qual foram utilizadas nesse estudo.

Na aplicação foliar, a absorção de Zn pelas folhas está relacionada ao íon acompanhante. Para o ZnSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O tem-se verificado adsorção à parede celular, em folhas de feijão e café, comparado ao ZnEDTA, cuja retenção cuticular de Zn é uma barreira à absorção foliar do Zn via ZnSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O (Franco et al., 2005). Além disso,

no  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  há maior quantidade de ânions comparado ao  $\text{ZnCl}_2$  ( $\text{SO}_4^{2-} \times \text{Cl}^-$ ), os quais tem natureza tóxica, reduzindo o crescimento das plantas quando em doses elevadas (Aery e Sarkar, 2012).

Atualmente são obtidas altas produtividades de arroz irrigado por inundação, acima de  $10 \text{ t ha}^{-1}$ , resultando na necessidade de maior quantidade de nutrientes para a cultura, fato que tem estimulado o desenvolvimento de vários produtos contendo macro e micronutrientes, para aplicação via solo, semente e pulverização sobre as plantas, visando seu melhor desenvolvimento e produtividade. Dentre os micronutrientes, o Zn tem se destacado por proporcionar efeitos benéficos a cultura (Mustafa et al., 2011), visto que há redução da sua disponibilidade em solos alagados em razão da precipitação do  $\text{Zn(OH)}_2$  como resultado do aumento do pH, precipitação do  $\text{ZnCO}_3$  em virtude do acúmulo do  $\text{CO}_2$ , resultante da decomposição da matéria orgânica e precipitação do Zn (Camargo et al., 1999). Porém, há necessidade de mais estudos visando esclarecer a viabilidade, doses, fontes e época de aplicação para o arroz irrigado.

O objetivo deste trabalho é avaliar o efeito de doses, fontes e épocas de aplicação de Zn na germinação, potencial fisiológico de sementes e produtividade de arroz irrigado por inundação.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Experimento de laboratório

O experimento foi realizado nas coordenadas geográficas 29° 12' 28" S e 56° 18' 28" W, 64 m de altitude, com arroz irrigado por inundação, cultivar Puitá INTA CI.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 6 x 2 e quatro repetições. Utilizaram-se seis doses de Zn: 0, 50, 100, 200, 400 e 800 g ha<sup>-1</sup> (considerando 100 kg ha<sup>-1</sup> de semente) e duas fontes de Zn: Sulfato de Zinco heptahidratado (ZnSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O) e Cloreto de Zinco (ZnCl<sub>2</sub>).

As sementes foram tratadas com a aplicação do Zn diluído em 5 mL de água, constituindo-se uma calda, que foi distribuída sobre as amostras de 50 g de sementes acondicionadas em sacos plásticos transparentes de 500 mL. Em seguida, as sementes foram homogeneizadas e transferidas para uma bandeja plástica para secagem, onde permaneceram por 50 min.

Após o tratamento, as sementes foram avaliadas quanto à germinação e o potencial fisiológico, conforme a metodologia descrita a seguir: a) Teste de germinação: foram utilizadas quatro repetições de 50 sementes para cada tratamento, as quais foram distribuídas em rolos de papel toalha, constituídas por três folhas umedecidas com água destilada, com peso equivalente a 2,5 vezes o peso do papel seco (Brasil, 2009) e envolvidos em saco de polietileno para evitar a perda de água. Após, os rolos com as sementes foram transferidos para câmara de germinação a 25 °C, durante 14 dias, efetuando-se as avaliações aos 5 e 14 dias após a semeadura de acordo com os critérios estabelecidos nas Regras para Análise de Sementes (Brasil, 2009); b) Comprimento de plântulas: utilizaram-se quatro repetições de 20 plântulas por tratamento, obtidas do teste de germinação, que foram mensuradas manualmente (Nakagawa, 1999); c) Massa seca de plântulas: após as medições, as 20 plântulas foram transferidas para sacos de papel e submetidas à 65 °C por 72 h, sendo após pesadas para obtenção da massa de matéria seca de plântulas (Nakagawa, 1999); d) Teste de frio: foi realizado com procedimento semelhante ao teste de germinação padrão, descrito anteriormente, diferindo apenas pela permanência das sementes em câmara de germinação regulada a 10 °C por 48 h; após foi realizada a transferência das mesmas para

câmara regulada à 25 °C, com avaliação aos 14 dias após o início do teste, de acordo com as Regras Para Análise de Sementes (Brasil, 2009); e) Envelhecimento acelerado: foi realizado com quatro repetições por tratamento, com uma fina camada de sementes distribuídas sobre tela metálica acoplada a caixas de plástico transparente (11 x 11 x 3,5 cm), contendo 40 mL de água. As caixas foram mantidas em câmara do tipo BOD (*Biochemical Organism Development*), a 41°C, durante 48 h (Marcos Filho, 1999). Em seguida, quatro subamostras de 50 sementes foram submetidas ao teste de germinação, seguindo metodologia descrita anteriormente, com avaliação realizada no quinto dia após a semeadura, conforme as Regras para Análise de Sementes (Brasil, 2009); f) Emergência de plântulas: quatro repetições de 25 sementes, por tratamento, foram semeadas em vasos com 7 L de solo, a 3 cm de profundidade, realizando-se duas irrigações diárias. Foram realizadas avaliações diárias contabilizando-se o número de plântulas emersas até os 14 dias após a semeadura.

## 2.2 Experimento de campo

Utilizou-se um Plintossolo Háplico, textura média (Embrapa, 2013), 190 g kg<sup>-1</sup> de argila, em viveiro protegido com sombrite. O clima é do tipo Cfa, subtropical úmido sem estação seca definida, com verões quentes (Peel et al., 2007). O solo foi coletado na camada de 0-20 cm, em área de campo nativo, e passado em peneira de 4 mm, cujas características químicas foram: pH H<sub>2</sub>O= 5,4; P= 1,5 mg L<sup>-1</sup> K= 0,102; Ca= 2,9; Mg= 1,0; Zn= 1,2 mg dm<sup>-3</sup>; Al= 0,2 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; V= 50%; MO= 2,3%.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 7 x 3 x 2, com três repetições constituídas de vasos com capacidade de 7 L de solo. Utilizaram-se sete doses de Zn: 0, 50, 100, 200, 400, 800 e 1600 g ha<sup>-1</sup>; três épocas de aplicação: via semente, estágio vegetativo (V<sub>4</sub>), estágio vegetativo (V<sub>11</sub>); e duas fontes de Zn: ZnSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O e ZnCl<sub>2</sub>.

Na semeadura foi realizada a adubação com N (50 kg ha<sup>-1</sup>), na forma de uréia; adubação com 350 kg ha<sup>-1</sup> de P, na forma de superfosfato triplo; e, 300 kg ha<sup>-1</sup> de K na forma de cloreto de potássio. A adubação com N, P e K foi de cinco vezes a recomendação de campo, e foi triturada em moinho tipo willey e homogeneizada em todo solo do vaso.

Dia 09/10/2013, foi realizada a semeadura de oito sementes por vaso, em linha, na profundidade de 3 cm e, aos 14 dias foi realizado o desbaste, deixando duas plantas equidistantes por vaso. Aos 20 dias após a semeadura, no estágio  $V_3/V_4$ , foi aplicado 50% do restante do N, em cobertura, e no dia seguinte foi aplicada a lâmina de água de 4 cm e mantida constante até a colheita do arroz, por meio de irrigações diárias. Aos 40 dias após a semeadura, no estágio vegetativo ( $V_{10}$ ), foram aplicados os outros 50% de N, na forma de uréia. Durante o cultivo do arroz foram realizados dois rodízios semanais dos vasos.

O Zn foi aplicado via tratamento de sementes (considerando densidade de  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  de sementes), via pulverizador (bico leque e vazão de  $160 \text{ L ha}^{-1}$ ), no estágio vegetativo  $V_4$  e  $V_{11}$ , aos 25 e 44 dias após a semeadura, as 10:00 h da manhã.

Na colheita foram avaliados o número de panículas, massa seca da parte aérea, massa de 100 grãos e produtividade de grãos de arroz por vaso, com 12% de umidade.

Foi realizada a análise de variância ao nível de 5% de probabilidade de erro. Quando significativo o F, foram comparadas as médias para os fatores qualitativos e ajustadas equações de regressão para os fatores quantitativos.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### Experimento de laboratório

A germinação de sementes de arroz não diferiu após aplicação de doses e fontes de Zn (Tabela 2). Segundo Rehman et al. (2012), o recobrimento de sementes de arroz com Zn não altera a germinação. Rufino et al. (2013) e Tavares et al. (2002) também não observaram diferenças na germinação de sementes de arroz tratadas com doses de produtos formulados contendo Zn.

**Tabela 1.** Valores médios de germinação de sementes e emergência de plântulas de arroz tratadas com doses e fontes de Zn.

Doses de Zn (g ha <sup>-1</sup> )	Germinação (%)		Emergência de plântulas (%)	
	ZnSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	ZnCl <sub>2</sub>	ZnSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	ZnCl <sub>2</sub>
0	82	82	88	88
50	89	82	92	96
100	81	86	92	96
200	82	87	100	92
400	84	86	92	84
800	84	85	84	96
CV (%)	5,0		7,6	

\* Não houve diferença significativa entre as doses e fontes de Zn.

Por outro lado, a maioria das variáveis avaliadas, relacionadas ao potencial fisiológico de sementes, foram alterados pelo tratamento de sementes com Zn.

O teste de envelhecimento acelerado revelou efeito negativo do tratamento de sementes com Zn, em ambas as fontes (Figura 1). A redução na capacidade germinativa das sementes, expostas às condições de envelhecimento acelerado, indica efeito prejudicial do tratamento de sementes no potencial de conservação destas durante o armazenamento, chegando a valores menores que 20% de germinação na dose de 800 g ha<sup>-1</sup> (Figura 1), causando a inviabilidade destas sementes. É possível que as doses utilizadas causaram excesso de Zn nas células

vegetais, pois este elemento quando em maiores quantidades geralmente induz a danos oxidativos, dando início à peroxidação de lipídios e à degradação de outros compostos na planta (Malavolta, 2006). Albuquerque et al. (2010) explicam que em níveis excedentes no ambiente, o Zn afeta o crescimento e o metabolismo normal das espécies vegetais, dessa forma, podendo causar efeitos fitotóxicos.

Solanki et al. (2011) observaram redução de 17% na germinação de *Vigna mungo* quando as sementes foram expostas a soluções com concentração de 1,5 mM de  $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ , durante todo o período de germinação, doses baixas, comparadas as utilizadas nesta pesquisa. Por exemplo, na menor dose de  $50 \text{ g ha}^{-1}$  de Zn, a solução para o tratamento de sementes apresentava concentração de 130 mM, o que pode justificar a redução no teste de envelhecimento acelerado, visto que nestas condições as altas temperaturas podem potencializar o efeito do tratamento.

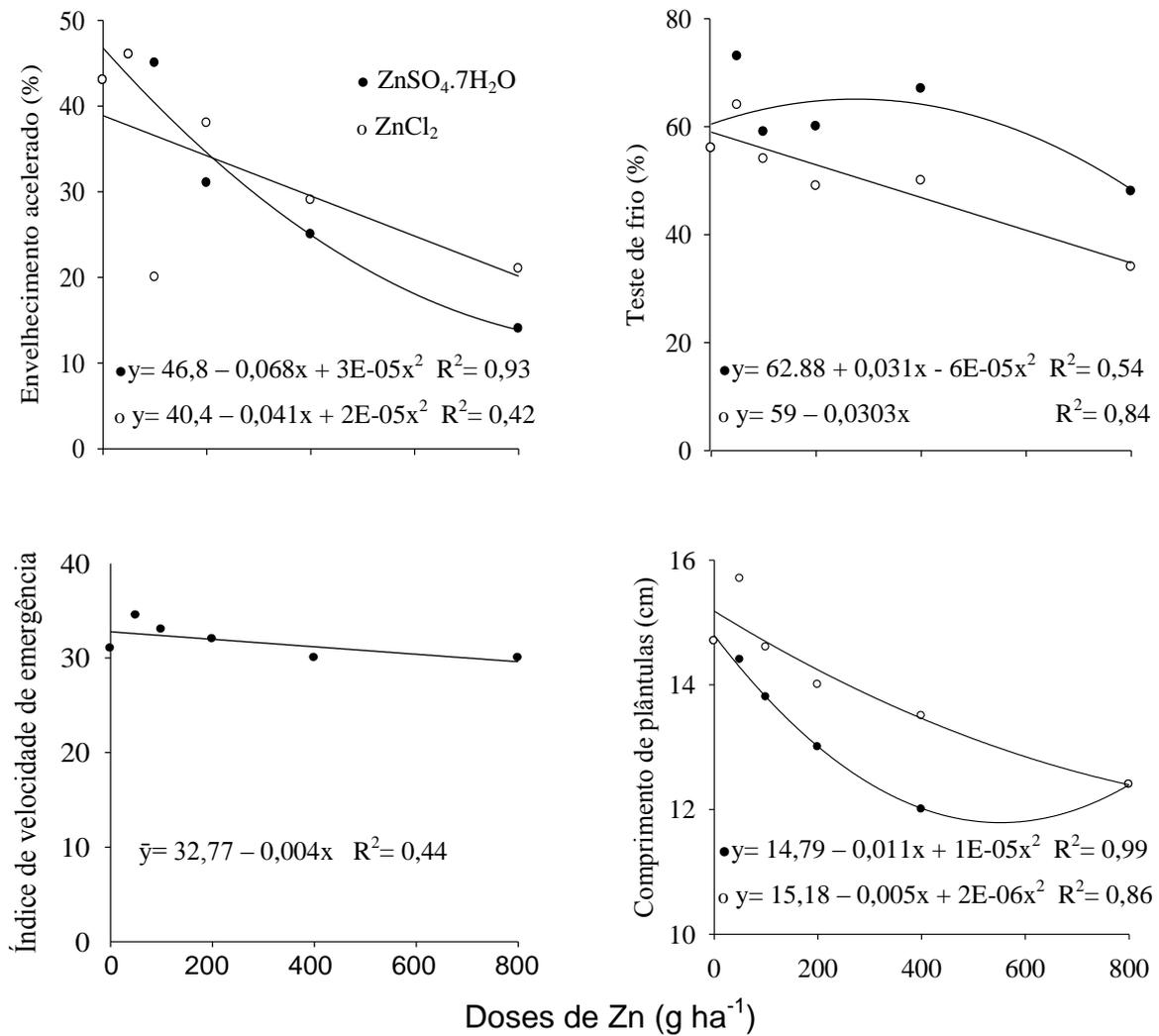
Para o teste de frio, verificou-se diferenças entre doses e fontes de Zn. O  $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$  melhorou o desempenho das sementes, com maior efeito na dose de  $283 \text{ g ha}^{-1}$ . Contudo, o  $ZnCl_2$  provocou prejuízos, com uma resposta linear decrescente (Figura 1). Isso é importante, pois em muitas regiões do mundo onde é cultivado o arroz irrigado, como no sul do Brasil, as temperaturas na época de instalação dos cultivos são baixas, e normalmente, causam redução da germinação e do estabelecimento de plantas. A temperatura ideal para germinação de sementes de arroz é em torno dos  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ , sendo que temperaturas inferiores podem causar prejuízos neste processo (Sharifi et al., 2010; Mertz et al., 2009). Isto, visto que baixas temperaturas alteram o padrão de embebição (Bewley et al., 2012), e em arroz causa ruptura da homeostase por aumentar a acumulação de espécies reativas de oxigênio e reduzir a atividade antioxidante de defesa (Bhattacharjee, 2013), causam danos nas mitocôndrias em níveis estruturais e metabólicos (Yin et al., 2009) e injúrias no crescimento da raiz primária (He e Yang, 2013).

Portanto, é desejável um tratamento que possibilite melhor desempenho das sementes em condições de estresse, como o frio. Neste cenário, a literatura científica tem documentado intensivamente a importância do Zn para a manutenção da integridade de membranas celulares, especialmente de células de raiz (Cakmak, 2000), sendo possível que o mesmo elemento atue nas membranas das células do tecido de revestimento das sementes, regulando as trocas com o meio externo e atuando de forma essencial na germinação. Desta forma, em condições de baixas

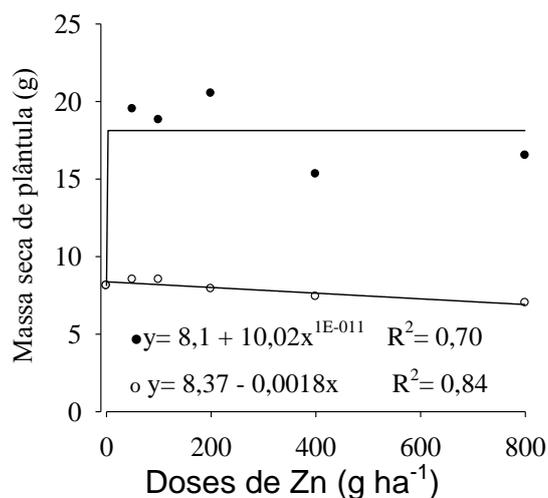
temperaturas, nas quais a embebição de sementes torna-se mais lenta, é possível que o Zn atue proporcionando uma reestruturação mais eficiente das membranas, permitindo às sementes que a absorção de água e a mobilização das reservas ocorra de forma mais rápida, propiciando maior velocidade de germinação nestas condições.

Para doses e fontes de Zn não houve diferença na emergência de plântulas (tabela 1). Contudo, o índice de velocidade de emergência revelou pequeno decréscimo linear com o incremento da dose de Zn (Figura 1). A maior velocidade de emergência de plântulas é importante, pois possibilita o mais rápido estabelecimento de plantas no campo e com isso reduz-se a interferência de plantas daninhas. O incremento da capacidade competitiva de plantas está relacionado com a emergência precoce (Bennett e Shaw, 2000; Horak e Loughin, 2000), pois plantas com elevada velocidade de emergência e de crescimento inicial possuem prioridade na utilização dos recursos do meio e, por isso, geralmente levam vantagem na utilização destes (Firbank e Watkinson, 1985). Além disso, a emergência mais rápida proporciona vantagem para as plântulas, pois as mesmas passam por menos tempo susceptíveis a fatores de estresse, os quais podem culminar na redução do crescimento e estabelecimento das plantas.

O comprimento de plântulas foi influenciado pelas doses e fontes de Zn, porém, não houve interação entre estes fatores. A aplicação de Zn reduziu o comprimento de plântulas (Figura 1), corroborando com estudos de Tavares et al. (2013), que verificaram redução do comprimento de plântulas de sementes tratadas com as doses de 0,12 a 0,25 g de Zn kg<sup>-1</sup> de sementes, cujas doses são inferiores a menor dose de 0,5 g de Zn kg<sup>-1</sup> de semente, utilizada neste trabalho. Isto ocorreu, possivelmente, em razão do excesso de Zn causar interferência no metabolismo celular, provocando ineficiência dos processos envolvidos na diferenciação e expansão celular, conforme Li et al. (2012).



**Figura 1.** Envelhecimento acelerado, teste de frio, índice de velocidade de emergência, comprimento de plântulas, massa seca de plântulas (laboratório) e produtividade de grãos de arroz (campo).



**Figura 2.** Massa seca de plântulas de arroz (laboratório).

Em sementes de trigo, Ozturk et al. (2006) verificaram elevada mobilização de Zn da semente, acumulado no embrião e na camada de aleurona, para a raiz primária e o coleoptilo em desenvolvimento, nas primeiras 36 h do processo de germinação, atribuindo isto a necessidade deste elemento para a diferenciação celular.

Considerando que foram aplicadas quantidades iguais de Zn para ambas fontes, há respostas divergentes, possivelmente em razão da quantidade de ânions presentes nas fontes. No  $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$  há maior quantidade de ânions comparado ao  $ZnCl_2$  ( $SO_4^{2-} \times Cl^-$ ), os quais tem natureza tóxica, reduzindo o crescimento das plântulas quando em doses elevadas (Aery e Sarkar, 2012), portanto, este fato explica a maior redução no comprimento das plântulas com a aplicação de  $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ .

Por sua vez, Li et al. (2012) ao tratar sementes de trigo com Zn, verificaram concentrações altas deste elemento próximas as raízes, aumentando o peróxido de hidrogênio e diminuindo a viabilidade celular e diretamente relacionado com a redução do crescimento radicular. Neste contexto, El-Ghamery et al. (2003) observaram que a embebição das sementes de trigo em soluções com concentrações maiores que  $25 \text{ mg L}^{-1}$  de  $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ , nas primeiras 24 h de germinação, causou efeitos tóxicos as células, com conseqüente inibição na divisão celular na região da radícula.

A massa seca de plântulas teve aumento superior a 100% com o tratamento de sementes com  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , (Figura 2), corroborando com Rozane et al. (2008), os quais verificaram que a aplicação  $8 \text{ g Zn kg}^{-1}$  de semente de  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  proporcionou maior produção de matéria seca de plântulas de arroz. Entretanto, Tavares et al. (2002) verificaram que o tratamento de sementes de arroz com doses entre 0 e  $0,25 \text{ g de Zn kg}^{-1}$  de semente não aumentou a matéria seca de plântulas, assim como, Bonnacarréré et al. (2003) trabalhando com arroz, cultivares BR-IRGA 410, EMBRAPA 7-TAIM e IRGA 417, verificaram nas doses de 0 a  $1,33 \text{ g de Zn kg}^{-1}$  de semente de  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ . Esses resultados indicam que doses maiores de  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  proporcionam aumento na massa seca das plântulas.

Contudo, observa-se que o  $\text{ZnCl}_2$  reduziu linearmente a matéria seca. Yemeni e Al-Helal (2003) verificaram que sementes de arroz expostas a concentrações de 0,5 a 100 mM de  $\text{ZnCl}_2$  durante as primeiras 96 h de germinação tiveram inibição do processo, com redução expressiva do crescimento inicial de plântulas. Trabalhando com sementes de trigo, Stanković et al. (2011) verificaram que sementes expostas à soluções de  $\text{ZnCl}_2$  tiveram redução no comprimento de raízes e parte aérea de plântulas diretamente proporcionais ao aumento da concentração de Zn, com efeitos a partir de doses de 0,01M, concluindo que o  $\text{ZnCl}_2$  exerce efeito negativo no crescimento de plântulas desta espécie, assim como Aery e Sarkar (2012) verificaram para sementes de soja com doses de 10 a  $1000 \mu\text{g mL}^{-1}$  de  $\text{ZnCl}_2$ . As concentrações utilizadas por estes últimos autores são semelhantes as utilizadas nesta pesquisa. Contudo, é importante ressaltar que, diferente dos trabalhos citados acima, as sementes de arroz utilizadas nesta pesquisa estavam com apenas 13% água no momento do tratamento com Zn, sendo após submetidas à germinação e não expostas a soluções com este elemento durante a embebição, que potencializa a absorção de Zn pela semente. É possível que o  $\text{ZnCl}_2$  tenha causado efeito prejudicial no crescimento de plântulas, visto que pode alterar a respiração celular, o processo fisiológico mais sensível a presença de metais em excesso (Stanković et al., 2011). Quando o Zn acumula-se no citoplasma de mitocôndrias, ocorre inibição do ciclo de Krébs e o transporte de elétrons na fosforilação oxidativa (Munzuroglu e Geckil, 2002; Plekhanov e Chemeris, 2003), inibindo, portanto, a formação de ATP, necessária para todos os processos envolvidos no crescimento e desenvolvimento de plântulas.

## Experimento de campo

**Tabela 2.** ANOVA gerada usando sete doses de Zn, três épocas de aplicação (via semente, estágios V4 e V11 do crescimento do arroz e duas fontes de Zn ( $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$  e  $ZnCl_2$ ), três repetições e suas interações no campo no número de panículas, massa seca da parte aérea, massa de 100 grãos e produtividade/vaso.

Fontes de variação	Grau de liberdade m	Quadrado médio			
		Número de panículas	Massa seca	Massa de 100 grãos	Produtividade/vaso
Doses (A)	6	38,03 <sup>ns</sup>	70,36 <sup>ns</sup>	0,003 <sup>ns</sup>	49,21 <sup>ns</sup>
Épocas (B)	2	29,78 <sup>ns</sup>	185,41 <sup>ns</sup>	0,008 <sup>ns</sup>	861,09 <sup>**</sup>
Fontes (C)	1	2,29 <sup>ns</sup>	2,43 <sup>ns</sup>	0,020 <sup>ns</sup>	99,73 <sup>ns</sup>
A x B	12	23,19 <sup>ns</sup>	88,60 <sup>ns</sup>	0,007 <sup>ns</sup>	120,22 <sup>ns</sup>
A x C	6	16,64 <sup>ns</sup>	68,20 <sup>ns</sup>	0,008 <sup>ns</sup>	80,16 <sup>ns</sup>
B x C	2	81,34 <sup>ns</sup>	186,43 <sup>ns</sup>	0,018 <sup>ns</sup>	543,48 <sup>*</sup>
A x B x C	12	74,52 <sup>ns</sup>	34,52 <sup>ns</sup>	0,008 <sup>ns</sup>	208,98 <sup>ns</sup>
Error	84	69,74	90,00	0,008	130,12
CV (%)		9,88	6,87	3,62	8,95

<sup>ns</sup> Não significativo a  $p \leq 0,05$ . <sup>\*</sup> Significativo a  $p \leq 0,05$ . <sup>\*\*</sup> Significativo a  $p \leq 0,01$ .

A massa seca da parte aérea, o número de panículas e a massa de 100 grãos de arroz não diferiram em razão da dose, época de aplicação e fonte de Zn. (Tabela 2)

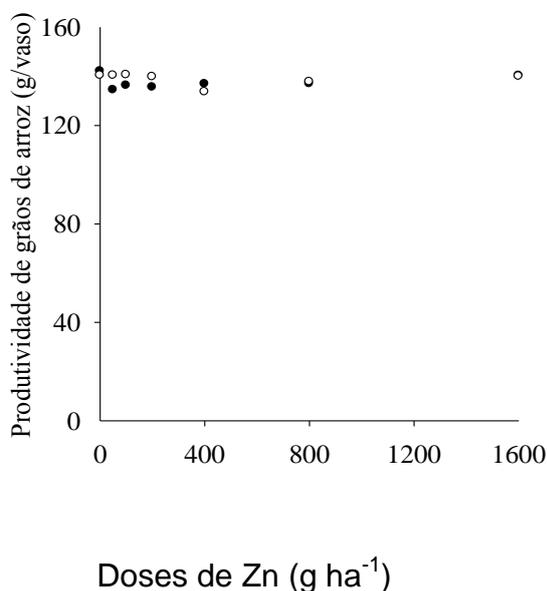
Porém, a aplicação de Zn via semente e no estágio V<sub>11</sub> resultaram em maior produtividade, comparado ao estágio V<sub>4</sub> (Tabela 3).

**Tabela 3.** Produtividade de grãos de arroz por vaso em razão da época de aplicação e das fontes de Zn.

Época aplicação	Produtividade de grãos de arroz, g/vaso		
	Fontes de Zn	ZnSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	ZnCl <sub>2</sub>
Semente	140,4 a	136,1 Bb	144,8 Aa
V <sub>4</sub>	132,7 b	131,0 Ab	134,6 Ab
V <sub>11</sub>	142,0 a	145,2 Aa	138,7 Aab
CV (%)	8.9		

Médias seguidas da mesma letra maiúscula, na linha, e minúscula na coluna, não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Isto justifica-se pelo fato da pequena área foliar das plantas de arroz no estágio V<sub>4</sub>, que resulta na absorção de pequena quantidade do Zn aplicado via pulverização, comparado as outras formas de aplicação. Ainda, as fontes de Zn diferiram apenas na aplicação via semente, situação em que o ZnCl<sub>2</sub> resultou em maior produtividade de grãos (Figura 3).



**Figura 3.** Produtividade de grãos de arroz (campo).

A pequena resposta do arroz à aplicação de Zn, mesmo utilizando-se uma adubação elevada de NPK para obtenção de alta produtividade, deve-se possivelmente ao fato do solo, sob vegetação nativa, apresentar alto teor de Zn, 1,2 mg dm<sup>-3</sup>, conforme Manual de adubação e Calagem (2004), para solos drenados, e

teores médios de matéria orgânica, 2,3%. Assim certamente as necessidades da cultura em Zn forma supridas pelo solo, mesmo sendo um solo de textura média, 190 g kg<sup>-1</sup> de argila e originário de área natural sob vegetação de campo nativo. Segundo Manual de adubação e Calagem (2004), a deficiência de Zn é mais característica em solos arenosos e com baixo teor de matéria orgânica, os quais disponibilizam pequenas quantidades de Zn às plantas.

Por outro lado, em solos inundados a concentração de Zn decresce após o alagamento (Camargo et al., 1999; Mustafá et al., 2011), em razão da precipitação do Zn(OH)<sub>2</sub> como resultado do aumento do pH, precipitação do ZnCO<sub>3</sub> em virtude do acúmulo do CO<sub>2</sub>, resultante da decomposição da matéria orgânica e precipitação do ZnS (Camargo et al., 1999). Desta forma, são necessárias maiores quantidades de Zn em solos inundados, para suprir a demanda do arroz, razão pela qual esta apresenta frequentemente deficiência do nutriente e decréscimo de produtividade (Rehman et al., 2012). Em solos inundados, Xan (2003) menciona que a concentração mínima de Zn no solo para o pleno desenvolvimento do arroz irrigado é de 1,5 mg kg<sup>-1</sup>.

Boonchuay et al. (2013) também não verificaram aumento na produção de massa seca da parte aérea, número de panículas e da produtividade de arroz irrigado quando aplicaram ZnSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O, em vários estádios reprodutivos, após a diferenciação da panícula, em solo com teor de Zn de 1,05 mg kg<sup>-1</sup>. Shivay et al. (2008) obtiveram maior produtividade de arroz com a aplicação de ZnSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O, quando o solo apresentava teor de Zn de 0,68 mg kg<sup>-1</sup>. Estes resultados permitem inferir que a baixa resposta a aplicação de Zn neste estudo, possivelmente, deve-se aos teores satisfatórios presentes no solo, em sua condição natural, permitindo desenvolvimento satisfatório das plantas.

De acordo com os resultados obtidos no quadro de análise de variância (tabela 1) não houve efeito significativo dos tratamentos para número de panículas, massa seca, massa de mil grãos. Para a produtividade por vaso houve interação significativa entre épocas e fontes de Zn

Ressalta-se que, na aplicação foliar, no estádio V<sub>11</sub>, ocorreram lesões nas folhas a partir da dose de 400 g ha<sup>-1</sup>, quando foi utilizado o ZnCl<sub>2</sub>, com maior intensidade na dose de 1600 g ha<sup>-1</sup>, como pode ser observado na figura 3, o que se

deve provavelmente, a fitotoxidez, sem contudo causar redução da produtividade de grãos (Figura 4).



**Figura 4:** Efeito de fitotoxicidade na planta de arroz após aplicação de zinco.

## 4 CONCLUSÕES

O tratamento de sementes de arroz com Zn não alterou a germinação e emergência das plântulas.

Dentre os componentes do potencial fisiológico a massa seca de plântulas e o teste de frio foram melhores quando a fonte de Zn utilizada foi o  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ .

O tratamento de sementes de arroz com  $\text{ZnCl}_2$  resulta maior produtividade de grãos comparado ao  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ .

A aplicação de Zn via tratamento de sementes e via pulverização no estádio  $V_{11}$  promoveram maior produtividade de grãos de arroz, em relação ao estádio  $V_4$ .

## 5 REFERÊNCIAS

AERY, N. C.; SARKAR, S. Metal species vis-à-vis seed germination and early seedling growth responses in soybean. **Journal of Chemical, Biological and Physical Sciences**, v. 2, p. 763-769, 2012.

ALBUQUERQUE, K. A. D.; OLIVEIRA, J. A.; SILVA, P. A.; VEIGA, A. D.; CARVALHO, B. O.; ALVIM, P. O. Storage and quality of tomato seeds enriched with micronutrients and growth regulators. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, p. 20-28, 2010.

ALLOWAY B. J. **Zinc in soils and crop nutrition**. 2 ed. Belgium: Iza and Ifa Brussels, 2008. 135 p.

BHATTACHARJEE, S. Heat and chilling induced disruption of redox homeostasis and its regulation by hydrogen peroxide in germinating rice seeds. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v. 19, p. 119-207, 2013.

BENNETT, A. C.; SHAW, D. R. Effect of *Glycine max* cultivar and weed control on weed seed characteristics. **Weed Science**, v. 48, p. 431-435, 2000.

BEWLEY, J. D.; BRADFORD, K. J.; HILHORST, H. W. M.; NONOGAKI, H. **Seeds, physiology of development, germination and dormancy**, 3 ed. London, 2012. 392 p.

BONNECARRÈRE, R. A. G.; LONDERO, F. A. A.; SANTOS, O.; SCHMIDT, D.; PILAU, F. P.; MANFRON, P. A.; DOURADO NETO, D. Answer of genotypes of rice irrigated to the zinc application. **Revista da Faculdade de Zootecnia, Veterinária e Agronomia**, v. 10, p. 214-222, 2003.

BOONCHUAY, P.; CAKMAK, I.; RERKASEM, B.; PROM-U-THAI, C. Effect of different foliar zinc application at different growth stages on seed zinc concentration and its impact on seedling vigor in rice. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 59, p. 180-188, 2013.

Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. 1 ed. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento/Assessoria de Comunicação Social, 2009. 399 p.

CAKMAK, I. Possible roles of zinc in protecting plant cells from damage by reactive oxygen species. **New Phytologist**, v. 146, p. 185–205, 2000.

CAKMAK, I. Plant nutrition research: Priorities to meet human needs for food in sustainable ways. **Plant and Soil**, v. 247, p. 3–24, 2002.

CAMARGO, F. A. O.; SANTOS, G. A.; ZONTA, E. Alterações eletroquímicas em solos inundados. **Ciência Rural**, v. 29, p. 171-180, 1999.

EL- GHAMERY, A. A.; EL-KHOLY, A.; EL-YOUSER, A. Evaluation of cytological effects of Zn<sup>2+</sup> in relation to germination and root growth of *Nigella sativa* L. and *triticum aestivum* L., **Mutat Res**, v. 537, p. 29-41

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; CLARK, R. B. Micronutrients in crop production. **Advances in Agronomy**, v. 77, p. 185-268, 2002.

FRANCO, I. A. L.; MARTINEZ, H. E. P.; ZABINI, A. V.; FONTES, P. C. R. Translocação e compartimentalização de Zn aplicado via ZnSO<sub>4</sub> e ZnEDTA nas folhas de cafeeiro e feijoeiro. **Ciência Rural**, v. 35, p. 332-339, 2005.

FIRBANK, L. G.; WATKINSON, A. R. On the analysis of competition within two-species mixtures of plants. **Journal of Applied Ecology**, v. 22, p. 503-517, 1985.

HE, D.; YANG, P. Proteomics of rice seed germination. **Frontiers in Plant Science**, v. 4, p. 1-9, 2013.

HORAK, M. J.; LOUGHIN, T. M. Growth analysis of four *Amaranthus* species. **Weed Science**, v. 48, p. 347-355, 2000.

KABEYA, M. J.; SHANKAR, A. G. Effect of different levels of zinc on growth and uptake ability in rice zinc contrast lines (*Oryza Sativa* L.). **Asian Journal of Plant Science and Research**, v. 3, p. 112-116, 2013.

LI, X.; YANG, Y.; ZHANG, J.; JIA, L.; QIAOXIA, L.; ZHANG, T.; QIAO, K.; MA, S. Zinc induced phytotoxicity mechanism involved in root growth of *Triticum aestivum* L. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 86, p. 198–203, 2012.

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

MALAVOLTA, E. **Nutrition plants manual**. 2 ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

MARCOS FILHO J.; KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA-NETO, J. B. Accelerated aging to assess parsley seed vigor. **Horticultura Brasileira**, v. 17, p. 1-24, 1999.

MERTZ, L. M.; HENNING, F. A.; SOARES, R. C.; BALDIGA, R. F.; PESKE, F. B.; MORAES, D. M. Physiological changes in rice seeds exposed to cold in the germination phase. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 31, p. 262-270, 2009.

MUNZUROGLU, O.; GECKIL, H. Effects of metals on seed Germination, root elongation, and coleoptile and hypocotyl growth in *Triticum aestivum* and *Cucumis sativus*. **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 43, p. 203-213, 2002.

MUSTAFA, G.; EHSANULLAH; AKBAR, N.; QAISRANI, S. A.; IQBAL, A.; KHAN, H. Z.; JABRAN, K.; CHATTHA, A. A.; TRETOWAN, R.; CHATTHA, T.; ATTA, B. M. Effect of zinc application on growth and yield of rice (*Oryza sativa* L.). **International Journal for Agro Veterinary and Medical Sciences**, v. 5, p. 530-535, 2011.

NAKAGAWA, J.; KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B.; Seed Vigor tests based in seedling evaluation. **Seed vigor: concepts and tests**, Londrina, Abrates 1999. 218 p.

NAIK, S. K.; DAS, D. K. Effect of split application of zinc on yield of rice (*Oryza sativa* L.) in an inceptisol. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 53, p. 305-313, 2007.

OZTURK, L.; YAZICI, M. A.; YUCEL, C.; TORUN, A.; CEKIC, C.; BAGCI, A.; OZKAN, H.; BRAUN, H. J.; SAYERS, Z.; CAKMAK, I. Concentration and localization of zinc during seed development and germination in wheat. **Physiologia Plantarum**, v. 128, p. 144–152, 2006.

PLEKHANOV, S. E. L.; CHEMERIS, Y. K. Early toxic effects of Zinc, Cobalt, and Cadmium on photosynthetic activity of the Green Alga *Chlorella pyrenoidosa* Chick S-39. **Biology Bulletin of the Russian Academy of Sciences**, v. 30, p. 506-511, 2002.

REHMAN, H.; AZIZ, T.; FAROOQ, M.; WAKEEL, A.; RENGEL, Z. Zinc nutrition in rice production systems: a review. **Plant and Soil**, v. 361, p. 203-226, 2012.

ROZANE, D. E.; PRADO, R. M.; ROMUALDO, L. M.; SIMÕES, R. R. Response in rice cv. brs Soberana seedlings to addition of zinc to seeds. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, p. 847-854, 2008.

RUFINO, C. A.; LEMES, E. S.; TAVARES, L. C.; VILLELA, F. A. Physiological quality of rice seeds treated with macro and micronutrients. **Revista de la Facultad de Agronomía**, v. 112, p. 11-17, 2013.

SHARIFI, P. Evaluation on sixty-eight rice germplasms in cold tolerance at germination. **Rice Science**, v. 17, p. 77-81, 2013.

SOLANKI, R.; ANJU, P.; DHANKHAR, R. Zinc and copper induced changes in physiological characteristics of *Vigna mungo* (L.). **International Journal of Pharma and Bio Sciences**, v. 32, p. 747-751, 2011.

TAVARES, L. C.; FONSECA, D. A. R.; BRUNES, A. P.; RUFINO, C. A.; MENEGUELLO, G. E.; BARROS, A. A. S. Performance of rice seeds treated with zinc, boron and molybdenum. **Journal of Seed Science**, v. 35, p. 532-539, 2002.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; ANGLINONI, I.; BISSANI, C. A., CAMARGO, F. A. O.; WIETHOLTER, S.; Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Sociedade brasileira de ciência do solo, v.25, p. 401, 2004

SHIVAY, Y. S.; KUMAR, D.; PRASAD, R.; AHLAWAT, I. P. S. Relative yield and zinc uptake by rice from zinc sulphate and zinc oxide coatings onto urea. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 80, p. 181–188, 2008.

STANKOVIĆ, M.; TOPUZOVIĆ, M.; MARKOVIĆ, A.; PAVLOVIĆ, D. Influence of zinc (Zn) on germination of wheat (*Triticum aestivum* L.). **Biotechnology & Biotechnological Equipment**, v. 24, p. 236-239, 2010.

YEMENI, A.; AL-HELAL, A. A. Effect of zinc chloride and lead nitrate on seed germination and early seedling growth of rice and alfalfa. **Journal of King Saud University Science**, v. 15, p. 39-47, 2003.

YIN, G.; SUN, H.; XIN, X.; QIN, G.; LIANG, Z.; JING, X. Mitochondrial damage in the soybean seed axis during imbibition at chilling temperatures. **Plant and Cell Physiology**, v. 50, p. 1305-1318, 2009.

YAN, X. X. Research on genotypic difference in zinc nutrition of rice. **Guangdong Trace Element Science**, v. 10, p. 6-9, 2003.

## 6 ANEXO – FOTOS DO EXPERIMENTO



Figuras 1, 2, 3, 4 representam experimento realizado na casa de vegetação na Universidade Federal do Pampa-UNIPAMPA, Itaqui.