

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



Tese

**ESTRESSE ABIÓTICO PROVOCADO PELA SALINIDADE NA CULTURA DO
ARROZ IRRIGADO**

Elisa Souza Lemes

Pelotas, 2017

Elisa Souza Lemes

Estresse abiótico provocado pela salinidade na cultura do arroz irrigado

Tese apresentada à Universidade Federal de Pelotas, sob orientação do Eng. Agro. Dr. Géri Eduardo Meneghello, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, para obtenção do Título de Doutora em Ciências (área do conhecimento: Ciência e Tecnologia de Sementes).

Orientador: Eng. Agro. Dr. Géri Eduardo Meneghello

Coorientador: Prof. Dr. Tiago Zanatta Aumonde

Coorientador: Dra. Jucilayne Fernandes Vieira

Pelotas, 2017

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

L551e Lemes, Elisa Souza

Estresse abiótico provocado pela salinidade na cultura do arroz irrigado / Elisa Souza Lemes ; Géri Eduardo Meneghello, orientador ; Tiago Zanatta Aumonde, Jucilayne Fernandes Vieira, coorientadores. — Pelotas, 2017.

113 f. : il.

Tese (Doutorado) — Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2017.

1. Oryza sativa. 2. Estresse salino. 3. Produtividade. 4. Qualidade fisiológica. 5. Balanço nutricional. I. Meneghello, Géri Eduardo, orient. II. Aumonde, Tiago Zanatta, coorient. III. Vieira, Jucilayne Fernandes, coorient. IV. Título.

CDD : 633.18

Elaborada por Gabriela Machado Lopes CRB: 10/1842

Elisa Souza Lemes

Estresse abiótico provocado pela salinidade na cultura do arroz irrigado

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

Data da Defesa:

Banca examinadora:

.....
Dr. Géri Eduardo Meneghello (Orientador), Doutor em Ciência e Tecnologia de Sementes pela Universidade Federal de Pelotas

.....
Prof. Dr. Luis Osmar Braga Schuch (UFPel)

.....
Dr. Flávio Reina Abib (IF-CAVG)

.....
Dra. Andreia da Silva Almeida (Bolsista PNPd)

.....
Dra. Fernanda Reolon (Bolsista PNPd)

Dedico esta dissertação ao meu marido, meus irmãos, e em especial à minha mãe Zeli e ao meu pai Lori (in memoriam). Estas pessoas com muito amor, sabedoria e dedicação sempre estiveram ao meu lado me apoiando e fortalecendo nas horas difíceis.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela proteção, por ter me dado sabedoria e força, e por iluminar o meu caminho;

Ao meu marido, Sandro pelo amor, companheirismo, incentivo, paciência e ensinamentos;

À minha família pela torcida, incentivo e carinho;

Ao meu orientador Dr. Geri Eduardo Meneghello pela orientação, amizade, suporte e auxílio durante a realização deste trabalho;

À todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, pelos conhecimentos repassados ao longo do curso;

À Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel – Universidade Federal de Pelotas;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pela concessão da bolsa de estudos;

À Profa. Dra. Gizele Gadotti pelo incentivo, suporte e auxílio na realização do doutorado sanduíche nos Estados Unidos.

Ao Prof. Dr. Sabry Elias da Oregon State University (OSU) pela orientação, ensinamentos, paciência e amizade, e em especial à Yeaching Wu.

Aos amigos e colegas deste percurso André Brunet, André Mendonça, Cesar Suarez, Cristiane Deuner, Jefferson Araujo e Leticia Dias pela amizade e por terem tornado esse período da minha vida tão mais divertido e feliz, e em especial para Carolina Borges pela amizade, suporte e paciência durante nosso convívio nos EUA;

Aos estagiários Edinilson das Neves, Grégor Allgayer, Igor Leitzke, Silvana Fin e Ronan Ritter pela amizade e ajuda na condução dos experimentos;

Aos membros do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, pelo suporte e apoio demonstrado;

A todos os que de uma forma ou outra contribuíram para que esse momento acontecesse.

“A felicidade não se resume na ausência de problemas, mas sim na sua capacidade de lidar com eles.”

(Albert Einstein)

Resumo

LEMES, Elisa Souza. **Estresse abiótico provocado pela salinidade na cultura do arroz irrigado**, 2017. 113f. Tese (Doutorado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

As lavouras de arroz da Planície Costeira, localizadas na região litorânea do Rio Grande do Sul, sofrem, frequentemente, de prejuízos na produção decorrentes da salinização da água dos mananciais. O aumento da concentração salina, além de afetar negativamente o metabolismo celular das plantas, prejudica o crescimento e o desenvolvimento das plantas de arroz. Neste sentido, objetivou-se avaliar o efeito do estresse salino em diferentes fases do desenvolvimento da cultura do arroz sobre as características agrônômicas, a qualidade fisiológica de sementes produzidas e a atividade das enzimas antioxidantes de plântulas oriundas de sementes de duas cultivares contrastantes quanto a tolerância a salinidade (Estudo 1); sobre o acúmulo de sódio e macronutrientes da parte aérea das plantas ao final do cultivo sob estresse (Estudo 2); e, avaliar o efeito da salinidade sobre o crescimento inicial e acúmulo de sódio no tecido vegetal de duas cultivares de arroz (Estudo 3). Os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação e no Laboratório Didático de Análise de Sementes (LDAS). O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados com esquema de parcelas subdivididas (Estudo 1 e 2), sendo a parcela composta pelos estádios de desenvolvimento da cultura (C- Sem estresse (controle); EM- da emergência (E) até a maturidade (M); EAN- da emergência até a antese (AN); E35- da emergência até 35 dias após a emergência; 35AN- dos 35 dias após a emergência até a antese; e ANM- da antese até a maturidade) e a subparcela constituída das cultivares de arroz (IRGA 417 e BRS Bojuru) com quatro repetições. Para o Estudo 3, o delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado em esquema bifatorial AxB (Fator A: BRS Bojuru e IRGA 417; Fator B: com e sem estresse salino) com cinco repetições. O estresse salino foi obtido pela irrigação com solução de cloreto de sódio (NaCl) na concentração de 12 e 16 mM. Foram avaliadas as características agrônômicas, qualidade fisiológica das sementes produzidas, metabolismo antioxidante, acúmulo de sódio e macronutrientes e análise de crescimento. Com base nos resultados obtidos com os experimentos realizados foi possível verificar que a salinidade apresenta efeito negativo sobre as características agrônômicas e a qualidade fisiológica das sementes produzidas das cultivares BRS Bojuru e IRGA 417. O estresse causado no EM, na EAN e 35AN são os mais críticos para a produtividade de sementes e no acúmulo de nutrientes na parte aérea das cultivares de arroz. Plântulas oriundas das sementes produzidas sob estresse salino apresentam mecanismos enzimáticos antioxidantes eficientes. As cultivares apresentam redução no crescimento inicial em presença da salinidade, no entanto, a BRS Bojuru no início do crescimento, em condição de salinidade, apresenta maior altura de planta, área foliar e massa de matéria seca e menor teor de sódio que a IRGA 417.

Palavras-chave: *Oryza sativa*, estresse salino, metabolismo antioxidante, qualidade fisiológica, balanço nutricional.

Abstract

LEMES, Elisa Souza. **Abiotic stress caused by salinity in flooded rice**, 2017. 113f. Thesis (Doctorate in Science) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

Rice plantation of the Coastal Plain, located in the coastal region of Rio Grande do Sul, Brazil, often suffers from losses of productivity due to the salinization of water from the water springs. The high levels of salts in irrigation water, besides affect the plant cell metabolism, also harmful the growth and development of rice plants. In this sense, the objective of this study was to evaluate the effect of saline stress on different stages of rice development on agronomic characteristics, the physiological quality of seeds produced and the antioxidant enzymes activity of seedlings from two contrasting cultivars as to salinity tolerance (Study 1); On the sodium and macronutrients accumulation of the plant shoot at the end of the rice cultivation under salinity (Study 2); and, to evaluate the effect of salinity on the initial growth and sodium accumulation in the plant tissue of two rice cultivars (Study 3). The experiments were conducted in pots in a greenhouse and in the Seed Laboratory. The experiment model used was a randomized block design arranged in a split-plot scheme (Study 1 and 2), the plots consisted of different stages of rice development (C- Check control; EM- from emergency (E) to harvest maturity (M); EAN- from emergency to anthesis (AN); E35- from emergency to 35 days after emergency; 35AN- from 35 days after emergency to anthesis; and, ANM- from anthesis to harvest maturity) and the subplots consisted of two rice cultivars (IRGA 417 e BRS Bojuru) with four replications. The third study, the experiment model used was a completely randomized design, constituting an AxB factorial (Factor A: BRS Bojuru and IRGA 417; Factor B: with and without salt stress) with five replications. Two concentrations of water salinity (12 and 16 mM) by the addition of sodium chloride were used. The agronomic characteristics, physiological quality of seeds produced, antioxidant metabolism, sodium and macronutrient accumulation and growth analysis were evaluated. On the basis of the results of these experiments, it can be concluded that the salinity effect negatively the agronomic characteristics and the physiological quality of seeds produced from the BRS Bojuru and IRGA 417 cultivars. The most critical rice stages for the yield and the nutrients accumulation in the plant shoot of rice cultivars were EM, EAN, and 35AN. The seedlings from seeds produced under salinity present an efficient enzymatic antioxidant mechanism. The cultivars show reduced initial growth in the presence of salt stress. However, BRS Bojuru cultivar at early growth, in salinity condition, presented higher plant height, leaf area, dry matter mass and lower sodium content in its tissues than IRGA 417.

Keywords: *Oryza sativa*, salt stress, antioxidant metabolism, physiological quality of seeds, balanced plant nutritional.

Lista de Figuras

- Figura 1.** Regiões orizícolas do Rio Grande do Sul..... 05
- Figura 2.** Modelo bifásico de crescimento em resposta à salinidade..... 09
- Figura 3.** Peroxidação de lipídeos (A), conteúdo peróxido de hidrogênio (B) e atividade específica das enzimas superóxido dismutase- SOD (C), ascorbato peroxidase- APX (D) e catalase- CAT (E) de plântulas oriundas das cultivares IRGA 417 e BRS Bojuru, submetidas a diferentes períodos de estresse salino. 48
- Figura 4.** Acúmulo médio de fósforo, cálcio e magnésio na parte aérea de plantas de arroz das cultivares IRGA 417 e BRS Bojuru, cultivadas sob diferentes períodos de estresse. Barras de erro representam a DMS a nível de significância de $p \leq 0,05$ pelo teste de tukey..... 56
- Figura 5.** Acúmulo de nitrogênio (A), potássio (B) e sódio (C) em plantas de arroz das cultivares IRGA 417 e BRS Bojuru, cultivadas sob diferentes períodos de estresse..... 58
- Figura 6.** Relação sódio/potássio da parte aérea de plantas de arroz das cultivares IRGA 417 e BRS Bojuru, cultivadas sob diferentes períodos de estresse.....60
- Figura 7.** Relação sódio/cálcio da parte aérea de plantas de arroz das cultivares IRGA 417 e BRS Bojuru, cultivadas sob diferentes períodos de estresse..... 62
- Figura 8.** Relação sódio/magnésio da parte aérea de plantas de arroz das cultivares IRGA 417 e BRS Bojuru, cultivadas sob diferentes períodos de estresse. Barras de erro representam a DMS a nível de significância de $p \leq 0,05$ pelo teste de tukey..... 62

Lista de Tabelas

- Tabela 1.** Resumo da ANOVA empregando-se o delineamento em parcelas subdivididas para o número de panículas por planta (NPANPL), número de sementes por planta (NSPL), peso de sementes por planta (PSPL), peso de 1000 sementes (PMS), número de panículas estéreis (NPANEST) e número de glumas estéreis por planta (NGEPL) das cultivares IRGA 417 e BRS Bojuru, submetidas a diferentes períodos de estresse salino..... 26
- Tabela 2.** Número de panículas por planta (NPANPL), número de sementes por planta (NSPL), peso de sementes por planta (PSPL) e peso de 1000 sementes (PMS) de sementes de arroz das cultivares IRGA 417 e BRS Bojuru, submetidas a diferentes períodos de estresse salino..... 28
- Tabela 3.** Número de panículas estéreis (NPANEST) e número de glumas estéreis por planta (NGEPL) de sementes de arroz das cultivares IRGA 417 e BRS Bojuru, submetidas a diferentes períodos de estresse salino..... 30
- Tabela 4.** Resumo da ANOVA empregando-se o delineamento em parcelas subdivididas para o número de panículas por planta (NPANPL), número de sementes por planta (NSPL), peso de sementes por planta (PSPL), peso de 1000 sementes (PMS), número de panículas estéreis (NPANEST) e número de glumas estéreis por planta (NGEPL) das cultivares IRGA 417 e BRS Bojuru, submetidas a diferentes períodos de estresse salino..... 31
- Tabela 5.** Número de panículas por planta (NPANPL), número de sementes por planta (NSPL), peso de sementes por planta (PSPL) e peso de 1000 (PMS) de sementes de arroz das cultivares IRGA 417 e BRS Bojuru, submetidas a diferentes períodos de estresse salino. 32

Tabela 6. Número de panículas estéreis (NPANEST) e número de glumas estéreis por planta (NGEPL) das cultivares IRGA 417 e BRS Bojuru, submetidas a diferentes períodos de estresse salino..... 34

Tabela 7. Resumo da ANOVA empregando-se o delineamento em parcelas subdivididas para a primeira contagem da germinação (PCG), germinação (G), envelhecimento acelerado (EA), teste de frio (TF), comprimento da parte aérea (CPA) e raiz (CR) e emergência em campo (EC) de sementes oriundas das cultivares IRGA 417 e BRS Bojuru, submetidas a diferentes períodos de estresse salino..... 35

Tabela 8. Porcentagem de plântulas normais obtidas no teste de primeira contagem da germinação (PCG) e germinação (G) de sementes de arroz oriundas das cultivares IRGA 417 e BRS Bojuru, submetidas a diferentes períodos de estresse salino..... 37

Tabela 9. Porcentagem de plântulas normais obtidas no teste de envelhecimento acelerado (EA), teste de frio (TF) e emergência em campo (EC) de sementes de arroz oriundas das cultivares IRGA 417 e BRS Bojuru, submetidas a diferentes períodos de estresse salino..... 38

Tabela 10. Comprimento da parte aérea (CPA) e de raiz (CR) de plântulas de arroz oriundas das cultivares IRGA 417 e BRS Bojuru submetidas a diferentes períodos de estresse salino..... 39

Tabela 11. Resumo da ANOVA empregando-se o delineamento em parcelas subdivididas para a primeira contagem da germinação (PCG), germinação (G), envelhecimento acelerado (EA), teste de frio (TF), comprimento da parte aérea (CPA) e raiz (CR) e emergência em campo (EC) de sementes oriundas das cultivares IRGA 417 e BRS Bojuru, submetidas a diferentes períodos de estresse salino..... 40

Tabela 12. Porcentagem de plântulas normais obtidas no teste de primeira contagem de germinação (PCG) e germinação (G) de sementes oriundas das cultivares IRGA 417 e BRS Bojuru, submetidas a diferentes períodos de estresse salino..... 41

Tabela 13. Porcentagem de plântulas normais obtidas no teste de frio (TF) e envelhecimento acelerado (EA) de sementes de arroz oriundas das cultivares IRGA 417 e BRS Bojuru produzidas sob estresse salino em diferentes períodos.....	42
Tabela 14. Comprimento da parte aérea (CPA) e de raiz (CR) de plântulas de arroz oriundas de sementes das cultivares IRGA 417 e BRS Bojuru, submetidas a diferentes períodos de estresse salino.	43
Tabela 15. Resumo da ANOVA empregando-se o delineamento em parcelas subdivididas para peroxidação de lipídeos, conteúdo de peróxido de hidrogênio e atividade específica das enzimas superóxido dismutase (SOD), ascorbato peroxidase (APX) e catalase (CAT) de plântulas oriundas das cultivares IRGA 417 e BRS Bojuru, submetidas a diferentes períodos de estresse salino.....	44
Tabela 16. Análise de variância de macronutrientes e sódio de plantas de arroz das cultivares BRS Bojuru e IRGA 417, submetidas a diferentes períodos de estresse salino.....	54
Tabela 17. Análise de variância das relações sódio/potássio (Na/K), sódio/cálcio (Na/Ca) e sódio/magnésio (Na/Mg) da parte aérea de plantas de arroz das cultivares BRS Bojuru e IRGA 417, submetidas a diferentes períodos de estresse salino.....	60
Tabela 18. Análise de variância para altura de plantas (AP), área foliar (AF) e massa da matéria seca (MMS) avaliadas aos 10, 20, 30, 40 e 50 dias após a emergência (DAE) de plantas de arroz das cultivares BRS Bojuru e IRGA 417, submetidas ao estresse salino.....	69
Tabela 19. Altura de plantas (AP), área foliar (AF) e massa da matéria seca (MMS) avaliadas aos 10, 20, 30, 40 e 50 dias após a emergência (DAE) de plantas de arroz das cultivares BRS Bojuru e IRGA 417, submetidas ao estresse salino.....	72

Tabela 20. Teor de sódio da parte aérea de plantas avaliadas aos 10, 20, 30, 40 e 50 dias após a emergência (DAE) de sementes de arroz das cultivares BRS Bojuru e IRGA 417, submetidas ao estresse salino..... 75

Tabela 21. Taxa Assimilatória Líquida (TAL), Taxa de Crescimento Relativo (TCR) e Taxa de Crescimento da Cultura (TCC) de plantas de arroz das cultivares BRS Bojuru e IRGA 417, submetidas ao estresse salino..... 77

Sumário

1. Introdução	01
2. Revisão bibliográfica	04
2.1. A cultura do arroz e sua importância	04
2.2. Salinidade	05
2.2.1. Salinidade no solo	06
2.2.2. Salinidade na germinação	08
2.2.3. Salinidade nas plantas	09
2.2.3.1. Desbalanço nutricional.....	12
2.2.3.2. Atividade enzimática.....	13
2.2.4. Tolerância das plantas à salinidade.....	14
3. CAPÍTULO I- Salinidade na cultura do arroz irrigado: metabolismo antioxidante, características agronômicas e qualidade de sementes	17
3.1. Introdução	17
3.2. Material e Métodos	20
3.2.1. Variáveis avaliadas.....	21
3.2.1.1. Características agronômicas	21
3.2.1.2. Qualidade fisiológica das sementes produzidas.....	22
3.2.1.3. Metabolismo antioxidativo.....	23
3.2.2. Delineamento Experimental e Procedimento estatístico.....	25
3.3. Resultados e Discussão.....	25
3.3.1. Características agronômicas.....	25
3.3.1.1. Características agronômicas de plantas de arroz produzidas na safra 2013/14.....	26
3.3.1.2. Características agronômicas de plantas de arroz produzidas na safra 2014/15.....	31
3.3.2. Qualidade fisiológica das sementes produzidas.....	35
3.3.2.1. Qualidade fisiológica das sementes de arroz produzidas na safra 2013/14	35

3.3.2.2. Qualidade fisiológica das sementes de arroz produzidas na safra 2014/15	40
3.3.3 Atividade Enzimática	44
3.4. Conclusões.....	49
4. CAPITULO II- Salinidade: Reflexos no acúmulo de sódio e de macronutrientes na parte aérea de plantas de arroz.....	50
4.1. Introdução	50
4.2. Material e Métodos	52
4.2.1. Delineamento Experimental e Procedimento estatístico.....	53
4.3. Resultados e Discussão.....	53
4.4. Conclusões.....	63
5. CAPITULO III- Crescimento inicial e acúmulo de sódio em plantas de arroz submetidas à salinidade.....	64
5.1. Introdução	64
5.2. Material e Métodos	66
5.2.1. Variáveis avaliadas.....	67
5.2.2. Delineamento Experimental e Procedimento estatístico.....	68
5.3. Resultados e Discussão.....	68
5.4. Conclusões.....	78
6. Considerações finais	79
Referências bibliográficas	80

1 INTRODUÇÃO

O arroz é o segundo cereal mais produzido no mundo, perdendo apenas para o milho (SOSBAI, 2016). Além disso, esse cereal é o principal alimento para mais da metade da população Mundial (VAN NGUYEN; FERRERO, 2006). O Brasil está entre os dez principais produtores de arroz, e para a safra 2016/2017 a estimativa de produção é de 10,8 milhões de toneladas. Desse total, o Rio Grande do Sul será responsável por cerca de 8,5 milhões de toneladas (CONAB, 2017).

Contudo, alguns fatores ambientais, denominados estresses ou distúrbios ambientais, podem limitar a produtividade agrícola, a exemplo, o estresse salino (ASHRAF; HARRIS, 2004). A salinidade pode ser definida como a situação de excesso de sais solúveis, sódio trocável ou ambos, em horizontes ou camada superficiais, afetando o desenvolvimento vegetal (RIBEIRO et al., 2009). No entanto, o problema da salinidade nos solos agricultáveis está relacionado às respostas das plantas, no metabolismo vegetal, afetando o desenvolvimento vegetal desde a germinação, provocando redução na produtividade e, em casos mais severos, podendo levar a morte (FARIAS, 2008).

Um dos principais fatores que proporcionam condições de estresse salino nos cultivos é a qualidade da água de irrigação, sendo estabelecida pela presença de concentrações excessivas de sais solúveis na água (GOMES et al., 2004), que afetam o crescimento das plantas. Todavia, a irrigação de lavouras de arroz com água salina proveniente de rios litorâneos, como o Tramandaí e o Mampituba, e da Lagoa dos Patos e Mangueira é um fator que contribui para a salinidade dos solos da região sul do Brasil.

O arroz produzido no Brasil provém tanto do sistema de cultivo em terras altas (sequeiro) como em várzeas (irrigado), os quais são responsáveis por 12 e 88% da produção total. No Rio Grande do Sul, o sistema de irrigação da cultura do arroz é por inundação, podendo conduzir à salinização dos solos com drenagem inadequada, especialmente as lavouras da região litorânea que utilizam a água da laguna dos patos, que está sujeita à salinização pela entrada de água do mar quando baixa o

nível deste manancial, tornando-se uma das maiores limitações ambientais na produção (LIMA, 2008).

De forma geral, a salinização ocorre em locais onde, o equilíbrio entre a precipitação ou irrigação e a evaporação é deslocada para cima na direção da evaporação. Pode ser identificado três processos principais. i) A elevação do nível freático até a superfície: ocorre em terras áridas não irrigadas e com lençol freático próximo da superfície do solo e os sais se acumulam por evaporação da água na superfície do solo, podendo formar uma camada de sal visível; ii) Excessivo uso da água para irrigação em climas secos e solos pesados: causa a acumulação porque a água é evaporada e os sais não são lixiviados pela precipitação, acumulando-se na superfície do solo; iii) Intrusão de água salgada: ocorre em áreas costeiras, onde a água do mar substitui a água subterrânea, que foi sobre explorada (LANNETA; COLONNA, 2013).

Os efeitos diretos da salinidade ocorrem devido à concentração elevada de sódio ou outros cátions na solução do solo, que interferem nas condições físicas deste ou na disponibilidade de outros elementos, afetando indiretamente o crescimento e o desenvolvimento das plantas. Em muitos casos a concentração de sais não atinge níveis osmóticos ou tóxicos capazes de prejudicar a absorção de água pelas plantas. No entanto, a concentração de íons diversos podem provocar interferências indiretas e ser um obstáculo à absorção de nutrientes e, conseqüentemente, às atividades metabólicas em geral (ALSHAMMARY et al., 2004; MANSOUR; SALAMA, 2004).

A alternativa econômica mais viável para utilizar áreas com problemas de salinização dos solos é o uso de cultivares tolerantes (GHEYI et al., 1987). Um dos métodos mais difundidos para determinação da tolerância das plantas ao excesso de sais é a observação da porcentagem de germinação em substratos salinos (LIMA; TORRES, 2009). A tolerância à salinidade em plantas é de suma importância, pois o sal se constitui em fator limitante para a produção agrícola, interferindo no desenvolvimento e no metabolismo da planta, ocasionando estresse osmótico, em função do decréscimo do potencial hídrico na rizosfera que dificulta a absorção d'água (SOUZA FILHO et al., 2003), tornando-se a água menos disponível para a planta, induzindo à diminuição do potencial osmótico (PRISCO, 1980), provocando a ativação de rotas de sinalização relacionadas ao déficit hídrico e ao acúmulo de proteínas envolvidas na aclimação à salinidade (TAIZ et al., 2017).

O aumento da concentração salina, além de afetar o metabolismo celular das plantas, prejudica o crescimento e o desenvolvimento das plantas de arroz. Portanto, surge uma necessidade de se entender a dinâmica da salinidade da água e do solo, e o conhecimento dos possíveis efeitos que podem causar no crescimento das plantas e conseqüentemente no rendimento de sementes e grãos de arroz irrigado por inundação, tornando-se essencial para a sustentabilidade das lavouras nas áreas com esse problema.

Diante disso, o objetivo do trabalho foi avaliar o efeito do estresse salino em diferentes fases do desenvolvimento da cultura do arroz sobre as características agronômicas, a qualidade fisiológica das sementes produzidas e o balanço nutricional das plantas sob esta condição.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A cultura do arroz e sua importância

O gênero *Oryza* pertence à divisão Angiosperma, classe das monocotiledôneas - único embrião e cotilédone – à ordem Glumiflora, família *Poaceae* (antiga *Gramineae*), a subfamília Bambusoideae ou Oryzoideae, e à tribo *Oryzea* (BOTELHO, 1914). Este gênero é composto por 23 espécies, entre as quais se encontram duas espécies cultivadas, *Oryza sativa* e *Oryza glaberrima*, e seus parentes silvestres. A espécie *O. glaberrima* possui seu cultivo e consumo restrito a região Oeste e Central da África. As espécies silvestres do gênero *Oryza* são importantes fontes recursos genéticos e tem desempenhado papéis significativos no melhoramento de arroz, contribuindo com genes valiosos para a resistência a doenças, insetos-praga e estresses abióticos (VAUGHAN et al., 2003).

Entre as espécies cultivadas, o arroz (*Oryza sativa* L.) é um dos cereais mais cultivados no mundo, com grande importância do ponto de vista econômico e social. O consumo médio mundial do arroz é de 60 kg por pessoa por ano, sendo que nos países asiáticos, onde são produzidos 90 % desse cereal, são os que apresentam as médias mais elevadas, situadas entre 100 e 150 kg por pessoa por ano. Este cereal é uma das principais fontes de carboidratos e de substâncias orgânicas que fornecem 20 % da energia e 15 % da proteína per capita necessária ao homem, contribuindo para a restauração e o desenvolvimento dos tecidos (MAGALHÃES JÚNIOR et al., 2004).

Além disso, é uma cultura extremamente versátil, que se adapta a diferentes condições de solo e clima, sendo considerada a espécie que apresenta maior potencial para o combate a fome no mundo (AGRIANUAL, 2012). A grande expansão na produção do arroz deve-se pela crescente necessidade de alimento, acarretando num desafio de alcançar altos padrões de qualidade e de produtividade (MIELEZRSKI et al., 2009).

No contexto nacional, o Rio Grande do Sul destaca-se como principal produtor, sendo responsável por cerca de 79 % do total produzido, seguido por Santa Catarina

com produção em torno de 10 % (CONAB, 2017). No Rio Grande do Sul, as lavouras de arroz estão localizadas em seis regiões distintas quanto ao clima, solo e estrutura fundiária, sendo elas: Fronteira Oeste, Campanha, Depressão Central, Planície Costeira Interna, Planície Costeira Externa e Sul (Figura 1).

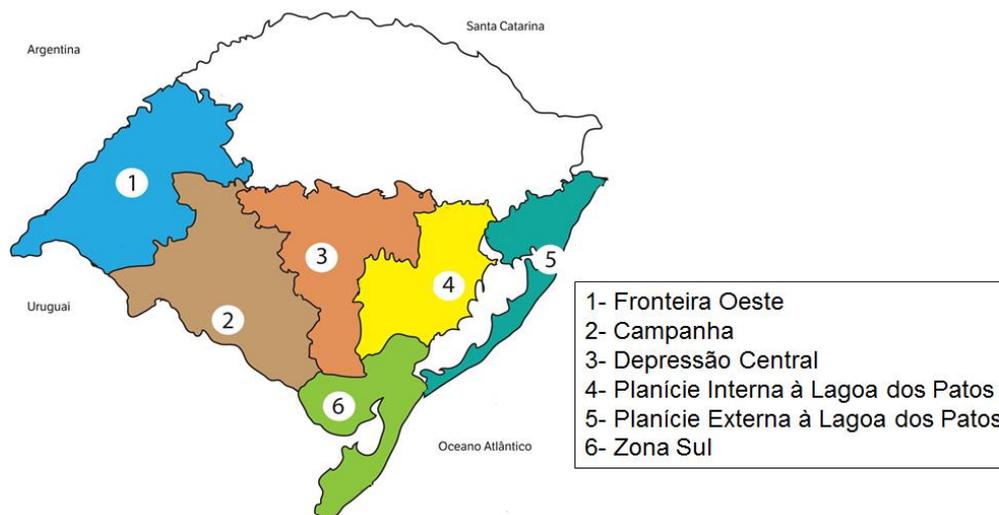


Figura 1. Regiões orizícolas do Rio Grande do Sul. (Adaptado de Klering et al., 2016)

Contudo, a sustentabilidade da produção orizícola depende do uso das terras com aptidão para essa cultura e da adoção de práticas de cultivo e de manejo do solo que permitam corrigir ou minimizar as possíveis limitações e favorecer a produtividade da cultura (SOSBAI, 2016). Assim sendo, o produtor para ser mais competitivo no mercado necessita adotar tecnologias que diminuem os riscos a que as plantas estão expostas no campo. Tais práticas, estão relacionadas com o uso de cultivares adaptadas para cada região de cultivo, semeadura em época recomendada, manejo adequado do solo, controle de pragas e doenças (FERREIRA, 2014) e uso de água de irrigação de boa qualidade.

2.2 Salinidade

Estresse é a condição causada por um ou mais fatores externos que tendem a alterar um equilíbrio (NILSEN; ORCUTT, 1996), podendo o estresse ser de natureza biótica ou abiótica. O estresse abiótico é um fator limitante para o crescimento das plantas e produção de alimentos em muitas regiões do mundo. Diante disso, o conhecimento da interferência dos sais na planta e no solo, bem como os fenômenos

envolvidos são fundamentais quando se pretende adotar práticas de manejos adequados da água e de cultivo visando à produção em ambiente salino.

2.2.1 Salinidade no solo

A salinização é um dos principais fatores da degradação do solo, estima-se que existem cerca de 1 a 5 bilhões de hectares de solos afetados por sais em quantidades acima do recomendado para o desenvolvimento satisfatório dos vegetais, com grande parte de todas as áreas irrigadas do mundo sofrendo com a redução da produção devido ao excesso de sais no solo (RIBEIRO et al., 2003; SOUSA, 2007). No Brasil, a área afetada pela salinidade constitui cerca de 4 milhões de hectares e se concentra principalmente na região Nordeste do país (OLIVEIRA, 1997). Além destas áreas, 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; TOMAZELLI, 1995; CARMONA et al., 2011).

O excesso de sais solúveis na solução do solo é decorrência de uma combinação de fatores: climáticos (baixo índice pluviométrico e elevada taxa de evapotranspiração), edáficos (baixa capacidade de lixiviação dos sais e presença de camadas impermeáveis) e de manejo do solo (irrigação com águas salinizadas, uso excessivo de agroquímicos, etc.) (GHAFOOR et al., 2004; QADIR; OSTER, 2004; RIBEIRO, 2010). Esses fatores combinados contribuem para a redução da produtividade das culturas, ocasionando elevados prejuízos socioeconômicos (GHEYI, 2000; RHOADES et al., 2000; MUNNS, 2002).

Dentre os estresses abióticos em plantas, a salinidade é um dos mais importantes, além de trazer prejuízos às propriedades físicas e químicas do solo, provoca a redução generalizada do crescimento das plantas cultivadas, acarretando em sérios prejuízos à atividade agrícola (CAVALCANTE et al., 2010). A alta concentração de sódio (Na^+) de um solo pode não apenas prejudicar diretamente as plantas, mas também degradar a estrutura do mesmo, diminuindo a porosidade e a permeabilidade à água (TAIZ et al., 2017). O aumento das concentrações de sais e sódio trocável, ocasiona a redução da fertilidade do solo e, a longo prazo, pode levar a desertificação (D'ALMEIDA et al., 2005).

Além disso, a salinidade afeta também as propriedades físicas do solo, provocando desestruturação, aumento da densidade e redução das taxas de infiltração de água no solo pelo excesso de íons sódicos (RHOADES et al., 2000). A principal caracterização desse efeito é a expansão da argila quando umedecida e a contração quando seca (SERTÃO, 2005). Dessa forma, seu excesso na solução do solo provoca a dispersão da argila e, assim, acarreta em uma camada adensada que dificulta o crescimento, respiração, expansão radicular, além da absorção de água e fixação de gás carbônico pela planta (TÁVORA et al., 2001). A alta condutividade elétrica observada em solos salinos se deve as altas concentrações de sais, podendo prejudicar a absorção de nutrientes e interferir no desenvolvimento das plantas (MENDES et al., 2008). O efeito na prática da salinidade sobre o solo é a perda de nutrientes e a susceptibilidade à erosão, além da contaminação do lençol freático e das reservas hídricas subterrâneas.

Alguns trabalhos têm demonstrado que a irrigação das culturas com água salina tem aumentado a quantidade de sais no solo, o que vem a prejudicar a estrutura do mesmo. Em trabalho realizado com alface-americana irrigada com diferentes níveis de salinidade da água, Gervásio et al. (2000), encontraram elevados níveis de sal no extrato do solo com o aumento da condutividade elétrica da água, após colheita da cultura. Da mesma forma, Santana et al. (2003) verificaram que a irrigação do solo cultivado com feijoeiro também aumentou a condutividade elétrica do solo. De acordo com Chaves et al. (1998), além do pH, a simples presença de sais no solo reduz a absorção de água pelas raízes, devido aos efeitos do potencial osmótico sobre o sistema radicular das plantas, interferindo no desenvolvimento vegetal

Portanto, a salinidade, uma vez que influencia na estrutura do solo, também diminui capacidade do solo em armazenar água e, conseqüentemente, sua absorção pelas plantas. Neste caso, afeta a absorção dos nutrientes, pois o mecanismo de contato íon-raiz ocorre em solução aquosa (fluxo em massa) e, assim, interferindo na absorção principalmente de N, S, Ca e Mg (PRADO, 2008), efeito semelhante ao observado em solos compactados (NOVAIS; MELLO, 2007). Deste modo, a salinidade pode afetar a fisiologia das plantas cultivadas devido às alterações químicas e físicas do solo (SERTÃO, 2005).

2.2.2 Salinidade na germinação

A habilidade das sementes em germinar em solos com alta concentração de sais é crucial para a sobrevivência e perpetuação das espécies. Além dos efeitos deletérios da presença de sais em excesso no solo, outro efeito pode ser verificado na germinação e no crescimento inicial das plântulas, os quais são os estádios de desenvolvimento das espécies vegetais mais sensíveis à salinidade e independem da tolerância da planta mãe ao sal (FERREIRA; REBOUÇAS, 1992). Nos casos mais graves, o excesso de sais causa a morte das plântulas (SILVA; PRUSKI, 1997). Embora o estresse salino, na maioria das vezes, ocasiona a redução da germinação ou o atraso do processo germinativo, seus efeitos são modificados pela interação com outros fatores ambientais como temperatura e luz.

O alto teor de sais, especialmente de cloreto de sódio (NaCl), influencia significativamente a resposta germinativa das sementes, uma vez que as sementes ao absorverem água do substrato, absorvem também os sais que, por excesso, provocam toxidez e, conseqüentemente, acarretam distúrbios fisiológicos às sementes, resultando em decréscimo na porcentagem de germinação. Ainda, o aumento no teor de sais no substrato provoca redução do potencial hídrico, induzindo a uma menor capacidade de absorção de água pelas sementes, com influência direta na germinação e no desenvolvimento inicial das plântulas (CAMPOS; ASSUNÇÃO, 1990; CAVALCANTE; PEREZ, 1995; FANTI; PEREZ, 1996; ŽIVKOVIĆ et al., 2007).

O efeito da salinidade na germinação foi comprovado por Deuner et al. (2011), que verificaram que plântulas de feijão-miúdo submetidas ao estresse salino tem seu desenvolvimento afetado negativamente pelas concentrações salinas. Lima et al. (2005), trabalhando com sementes de arroz verificaram decréscimo na porcentagem de plântulas normais. Em trabalho realizado por Garcia et al. (2007) em sementes de milho oriundas de plantas submetidas ao estresse salino, concluíram que o aumento da salinidade diminuiu a porcentagem de germinação, o índice de velocidade de germinação e a matéria fresca e seca da parte aérea das plântulas. Segundo Galina (2004), o vigor das sementes e o crescimento das plântulas de arroz e feijão são prejudicados pelos níveis de salinidade. Larré et al. (2014) verificaram que sementes de arroz submetidas a solução salina na concentração de 100 mM, o excesso de sal causou redução significativa da germinação. No entanto, Cavalcante (2016) verificaram que as sementes de arroz da cultivar BRS AG mantém sua viabilidade até

a concentração de 100 mM de NaCl, enquanto que a cultivar BRS Pampa, apresentou-se mais suscetível aos efeitos do estresse salino, quando submetidas às mesmas condições.

2.2.3 Salinidade nas plantas

A salinidade exerce efeitos de forma direta ou indireta, lenta ou brusca, total ou parcial sobre o desenvolvimento e produção das culturas (SERTÃO, 2005). Os efeitos prejudiciais da alta salinidade nas plantas são diversos e podem afetar as plantas de várias maneiras: estresse por seca, toxicidade iônica, desbalanço nutricional, estresse oxidativo, alterações de processos metabólicos, desorganização de membrana e redução da divisão e expansão celular (MUSCOLO et al., 2007, 2013; ZHU, 2007; SIDARI et al., 2008).

O efeito da salinidade sobre as plantas é consequência de dois distintos componentes do estresse salino: (1) o componente osmótico – resultante da elevada concentração de solutos na solução do solo, provocando um déficit hídrico pela redução do potencial osmótico; (2) o componente iônico – decorrente dos elevados teores de Na^+ e Cl^- , e da alterada relação K^+ / Na^+ e outros nutrientes. O modelo bifásico de redução do crescimento (Figure 2), proposto por Munns e Termaat, identifica a diminuição do potencial osmótico como o primeiro fator de redução do crescimento e, o efeito específico dos íons, como o segundo (MUNNS, 1993).

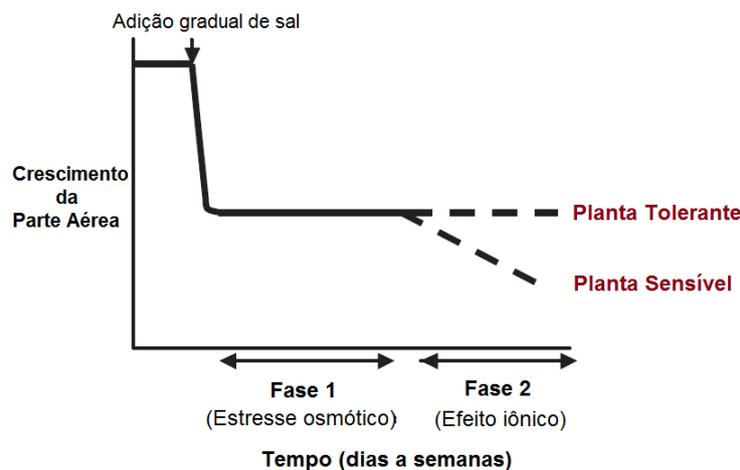


Figura 2. Modelo bifásico de crescimento em resposta à salinidade. (Adaptado de Läuchli; Grattan, 2007)

A salinidade pode ter suas consequências na planta dividida em duas fases, na primeira, onde o crescimento da planta é afetado pelos sais que estão no exterior da mesma e é regulado por sinalização proveniente da raiz, sobretudo pelo ácido abscísico (ABA). A segunda fase caracteriza-se pela redução do crescimento resultante do acúmulo de sais no interior da planta. A causa desta injúria é função da elevada quantidade de sal absorvida, a qual ultrapassa a capacidade da planta de compartimentalizá-lo no vacúolo. Conseqüentemente, a concentração de sais aumenta no citoplasma e inibe a atividade de enzimas de várias rotas metabólicas (WILLADINO et al., 1996; PRISCO; GOMES FILHO, 2010).

Durante o crescimento e desenvolvimento das plantas, a salinidade pode ser considerada um fator limitante por interferir em vários processos fisiológicos, como a fotossíntese por exemplo, reduzindo assim a produção e alocação de biomassa. Isto ocorre porque o estresse salino, mais propriamente associado ao acúmulo de NaCl nos tecidos, promove redução nos processos de síntese de ATP acoplada à fase fotoquímica da fotossíntese, além de promover alterações no processo respiratório, assimilação do nitrogênio e metabolismo de proteínas (MUNNS, 2002). Apesar de algumas plantas possuírem mecanismos de ajuste osmótico e consigam sobreviver, o fato da planta entrar mais rapidamente em condições de estresse, provoca o fechamento dos estômatos reduzindo a fotossíntese e diminuindo assim a translocação de nutrientes da raiz para a parte aérea, além de promover um gasto de energia para absorção de íons na forma ativa (SILVA, 2002).

A quantidade elevada de sais afeta o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade da cultura (GRATTAN et al., 2002, CARMONA et al., 2011), devido ao aumento da pressão osmótica da solução do solo, na acumulação de íons em excesso no tecido vegetal, que podem ser tóxicos ou causar deficiência de outros nutrientes, ou ainda, na alteração da condição nutricional da planta, quanto à exigências e habilidades de absorção de nutrientes (FAGERIA, 1985; BERNSTEIN, 1961; MAAS; HOFFMAN, 1977). Contudo, o grau ou a concentração de sais que determinam essa redução varia com a espécie, podendo esse fato estar relacionado com a tolerância de cada espécie à salinidade (FERREIRA et al., 2001).

Segundo Dias e Blanco (2010), o efeito negativo que os sais ocasionam às plantas pode ser causado por três fatores: i) 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. ii) 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. iii) 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 nutrientes, afetando assim, indiretamente o desenvolvimento normal das plantas.

A salinidade tem efeito prejudicial sobre o crescimento e desenvolvimento das plantas comprovado por vários pesquisadores. Rodrigues et al. (2005), verificaram que a salinidade afeta o crescimento e a produção de grãos da cultivar de arroz Formoso. Ainda segundo, Scivittaro et al. (2012) a estatura das plantas e a produção de matéria fresca e seca da parte aérea de genótipos de arroz diminuem proporcionalmente ao aumento do nível de sal na água de irrigação aplicada na fase vegetativa. Harter (2014) constatou que o aumento da salinidade ocasionou redução no número de panículas por planta, no peso total das panículas, no peso de sementes cheias, na porcentagem de sementes cheias e no peso de mil sementes de cultivares de arroz. Castellanos (2014) verificou redução nos componentes do rendimento da cultivar de trigo Quartzo quando cultivadas sob diferentes concentrações salinas. Oliveira et al. (2015) constataram que o número de vagens do feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] reduziu em resposta à salinidade.

2.2.3.1 Desbalanço nutricional

A redução do crescimento das plantas, devido à salinidade, também pode ser atribuída à menor absorção de alguns elementos importantes, estando o Ca e o K entre os mais bem documentados (RENGEL, 1992; LACERDA, 2000). Em estudo com plantas jovens de goiabeira, Ferreira et al. (2001), observaram redução na concentração de K nos tecidos da planta (raízes, caule e folhas), como resultado do estresse salino. Essa menor absorção de K tem sido atribuída à maior competição entre o Na e o K pelos sítios de absorção ou a um maior fluxo de K das raízes (MARSCHNER, 1995).

A redução na concentração de K, sob estresse salino, é um complicador adicional para o crescimento das plantas visto que, em algumas situações, esse elemento é o principal nutriente a contribuir para o decréscimo do potencial osmótico, uma estratégia necessária à absorção de água nessas circunstâncias (JESCHKE et al., 1986; MARSCHNER, 1995). Em relação ao cálcio, tem sido verificado que a alta concentração de sais pode induzir deficiência desse nutriente (LACERDA, 2000; HO; ADAMS, 1994). A redução na absorção de Ca pode levar à perda da integridade da membrana plasmática, com consequente perda da capacidade de absorção de alguns íons, principalmente o K (RENGEL, 1992; CACHORRO et al., 1994).

Alguns autores verificaram que o estresse salino, reduz a atividade dos íons em solução e altera os processos de absorção, transporte, assimilação e distribuição de nutrientes nas plantas (FARIAS et al., 2009; CAVALCANTE et al., 2010). Farias et al. (2009) observaram reduções nos teores de N, P, K, Ca, Mg e S nas raízes e folhas de *Gliricídia* (*Gliricídia sepium* (Jacq.) Kunth ex Steud) em solução nutritiva contendo NaCl, e indicaram que há uma possível inibição competitiva destes nutrientes com a adição de NaCl na solução nutritiva.

A presença de sais, como o cloreto de sódio, afeta também translocação e a síntese de hormônios das raízes para a parte aérea, que são indispensáveis ao metabolismo foliar, resultando em perda de área foliar e, consequentemente, na matéria seca da parte aérea das plantas (FERREIRA et al., 2001).

2.2.3.2 Atividade enzimática

Uma alteração metabólica importante para as plantas quando em condições de estresse é o aumento da produção de espécies reativas de oxigênio (EROs) (FOYER; NOCTOR, 2005). A geração de EROs constitui uma resposta primária da planta ao estresse de natureza biótica e abiótica, caracterizando um dano oxidativo (CHANDRU et al., 2003; ASADA, 2006).

O estresse salino pode acarretar o acúmulo excessivo de espécies reativas de oxigênio (EROs) nas células vegetais, especialmente o radical superóxido (O_2^-), radical hidroxila (OH) e o peróxido de hidrogênio (H_2O_2) (MOLLER et al. 2007). Essas espécies reativas são subprodutos do metabolismo aeróbico e fotossintético e, em concentrações compatíveis com a homeostase redox celular, são componentes de diversas vias de sinalização (FOYER; NOCTOR 2003). No entanto, o excesso das EROs causa danos oxidativos em proteínas, lipídeos e ácidos nucleicos, caracterizando o estresse oxidativo secundário (BEN AMOR et al. 2005). Para evitar os danos oxidativos, a concentração das EROs é mantida em níveis não tóxicos por meio de mecanismos antioxidantes enzimáticos e não enzimáticos (MOLLER et al. 2007). Dentre os mecanismos enzimáticos envolvidos na detoxificação das EROs, destacam-se as superóxido dismutases (SODs), as catalases (CATs), as ascorbato peroxidases (APXs) e as peroxidases (PODs).

As SODs são consideradas a primeira linha de defesa contra as EROs e catalisam a dismutação de dois radicais O_2^- , gerando H_2O_2 e O_2^- (APEL; HIRT, 2004). Essas enzimas participam da modulação do nível de H_2O_2 em cloroplastos, mitocôndrias, citosol e peroxissomos (MITTLER, 2002; BHATTACHARJEE, 2010). O H_2O_2 gerado é então detoxificado pelas CATs, APXs e PODs. As CATs são enzimas peroxissomais e glioxissomais que catalisam a redução direta do H_2O_2 à H_2O e O_2 (YANIK; DONALDSON, 2005), gerado durante a fotorrespiração e a β -oxidação dos ácidos graxos.

As APXs e as CATs são as duas enzimas mais importantes dentre os componentes de desintoxicação do H_2O_2 (BHATT; TRIPATHI, 2011). Porém, as APXs exigem o ácido ascórbico como redutor para eliminar o H_2O_2 e podem ser encontradas em citosol, mitocôndrias, peroxissomos, cloroplastos (estroma e ligadas às membranas dos tilacoides) e parede celular (DABROWSKA et al., 2007; DE GARA, 2004). Já as PODs, apresentam várias isoformas distribuídas por diversos

compartimentos celulares (SHIGEOKA et al. 2002; CAVALCANTI et al., 2007; PASSARDI et al., 2004). As PODs localizam-se principalmente na parede celular e no vacúolo. Sua atividade pode ser utilizada como marcador bioquímico do estresse resultante de fatores bióticos e abióticos, bem como na identificação precoce de processos morfogênicos durante a diferenciação celular, crescimento e multiplicação de plantas (LIMA et al., 2002; PIZA et al., 2003; LOCATO, 2010; KIM; KWAN, 2010).

Essas enzimas apresentam um caráter bifuncional no metabolismo oxidativo, pois podem utilizar o H_2O_2 para oxidar vários substratos por meio do seu ciclo catalítico peroxidativo e também podem produzir OH^- a partir do H_2O_2 por intermédio do seu ciclo catalítico hidroxílico (PASSARDI et al., 2004). Por outro lado, estas enzimas também podem restringir o crescimento celular por meio do espessamento da parede celular em decorrência da eliminação do H_2O_2 associada a polimerização dos precursores da lignina (PASSARDI et al., 2004). Como consequência, as PODs de parede celular podem estar envolvidas na regulação do crescimento celular envolvendo o metabolismo do H_2O_2 .

Cavalcanti et al. (2007), verificaram que o padrão de respostas antioxidativas nas folhas de feijão caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] exposto ao estresse salino se mostrou diferente daquele verificado nas raízes. Além disso, os mecanismos antioxidantes enzimáticos ativados em feijão caupi sob salinidade parecem estar associados a inibição do crescimento. Contudo, pouco ainda se sabe sobre o envolvimento do sistema enzimático removedor das EROs em plântulas oriundas de sementes produzidas de plantas sob estresse salino.

2.2.4 Tolerância das plantas à salinidade

A tolerância ao estresse salino é conhecida como a capacidade da planta de crescer e completar seu ciclo de vida quando cultivada em substratos que contêm uma alta concentração de sais solúveis (PARIDA; DAS, 2005).

As plantas podem ser divididas em dois grupos amplos, com base na sua tolerância às concentrações de sais. As halófitas, que são nativas de solos salinos e completam o seu ciclo de vida naqueles ambientes e as glicófitas, que não possuem resistência ao sal no mesmo grau que as halófitas. Geralmente, existe um limiar de concentração de sal acima do qual as glicófitas começam a mostrar sinais de inibição

do crescimento, descoloração foliar e perda de massa seca (LARCHER, 2000; LIMA, 2002).

A tolerância de plantas à salinidade é variável em função da espécie, do ciclo fenológico ou do seu estágio de desenvolvimento. Espécies como sorgo, milho, feijão e trigo são menos afetadas durante a fase inicial do seu ciclo (MAAS et al., 1986). A intensidade com que o estresse salino influencia o crescimento e a produtividade do arroz é determinada por vários fatores, destacando-se a composição salina do meio, a intensidade e duração do estresse, as condições edafoclimáticas, a cultivar e o estágio fenológico da cultura (CARMONA et al., 2011). Com relação a este último fator, de forma geral, as plantas de arroz são tolerantes durante a germinação e muito sensíveis na fase de plântula. Após essa etapa, o grau de tolerância aumenta progressivamente, até a diferenciação da panícula, voltando a decrescer na floração (YOSHIDA, 1981).

A maioria das cultivares e híbridos de arroz irrigado recomendados para cultivo no Rio Grande do Sul e Santa Catarina são sensíveis a vários tipos de estresses abióticos. No Rio Grande do Sul, a maioria das cultivares de arroz encontradas e utilizadas atualmente são suscetíveis à salinidade, não importa o período fenológico, seja enquanto plântula no período vegetativo, quanto no período reprodutivo. No entanto, sabe-se que algumas cultivares podem apresentar certa tolerância às condições salinas do ambiente. O arroz é classificado como moderadamente suscetível (MUNNS; TESTER, 2008), e também existe variações de tolerância salina entre genótipos da mesma espécie. As cultivares de *Oryza sativa* L. ssp. *japonica* S. Kato são consideradas como moderadamente tolerantes, enquanto as de *Oryza sativa* L. ssp. *indica* S. Kato como sensíveis à salinidade (MACHADO; TERRES, 1997).

O limite de tolerância depende da concentração do sal em solução, do tempo de exposição, bem como do estágio de desenvolvimento das plantas (CARMONA et al., 2011). Todavia, apesar da existência de variabilidade genética para tolerância à salinidade (BEN AMOR et al., 2005; PARIDA; DAS, 2005), os mecanismos bioquímicos e fisiológicos que atribuem essa tolerância, ainda não são bem elucidados (MANSOUR et al., 2003).

Um dos mecanismos comumente citado para tolerância à salinidade tem sido a capacidade de acumular íons no vacúolo e solutos orgânicos de baixo peso molecular no citoplasma, o que lhes permitem um ajustamento osmótico a esse tipo de condição (TAIZ et al., 2017), o que pode permitir a manutenção da absorção de

água e da turgescência celular. De acordo com Miranda et al., (2002) as espécies tolerantes apresentam baixos teores de Na no floema e no citoplasma e altas no vacúolo, em função da baixa seletividade do tonoplasto ao Na. Por outro lado, Epstein e Bloom (2006), afirmam que as espécies tolerantes apresentam mecanismos excessivamente eficientes de transporte de sódio no tonoplasto.

Outras espécies apresentam tolerância devido às diferenças na aquisição, translocação, transferência ou acúmulo de íons de Na e Cl (FARIAS, 2008). Diante disso, Lacerda et al. (2004), analisando o efeito da aplicação de NaCl em genótipos de sorgo tolerante e sensível a salinidade, observaram diferenças nos teores desses elementos nas folhas do sorgo, e os menores teores foram encontrados no genótipo tolerante a salinidade, o que comprova a diferença de acúmulo destes íons. Segundo Niu et al. (1995) variedades tolerantes tendem a apresentar maiores taxas de transferência de K e apenas leve redução na transferência de Ca para a parte aérea, visando manter uma relação positiva entre esses nutrientes e os íons Na e Cl.

Em virtude dos vários prejuízos causados pela salinidade na agricultura, há ainda, a necessidade do aperfeiçoamento das técnicas de manejo do solo, da água ou das culturas que resultem em aumento da tolerância à salinidade, sendo de grande relevância para a manutenção da produtividade agrícola em solos com excesso de sais (SCHOSSLER et al., 2012).

3 CAPITULO I – Salinidade na cultura do arroz irrigado: características agronômicas, qualidade de sementes e metabolismo antioxidante

3.1 Introdução

O arroz (*Oryza sativa* L.) é um dos cereais mais cultivados no mundo, com grande importância do ponto de vista econômico e social. Além de ser uma cultura extremamente versátil, que se adapta a diferentes condições de solo e clima, é considerada a espécie que apresenta maior potencial de combate a fome no mundo (AGRIANUAL, 2012). A grande expansão na produção do arroz deve-se pela crescente necessidade de alimento, acarretando num desafio de alcançar altos padrões de qualidade e de produtividade (MIELEZRSKI et al., 2009). Para alcançar resultados satisfatórios de produtividade, torna-se necessário a busca por tecnologias a fim de maximizar a produção e a cada avanço na pesquisa agrícola, há um incremento de custo sobre as sementes a serem utilizadas pelos agricultores, em razão disso, deve-se ter maior cuidado com esse importante insumo (PEREIRA, et. al., 2005).

Contudo, a orizicultura é muito dependente da qualidade da água de irrigação, a qual está diretamente associada à salinidade e a toxicidade. No Rio Grande do Sul, maior produtor de arroz do Brasil, o principal sistema de irrigação da cultura do arroz é por inundação, o qual pode conduzir à salinização dos solos com drenagem inadequada, especialmente as lavouras da região litorânea que utilizam a água da laguna dos patos, que está sujeita à salinização pela entrada de água do mar quando baixa o nível deste manancial, tornando-se uma das maiores limitações ambientais na produção de arroz (LIMA, 2008).

A salinidade é um dos mais importantes fatores de estresse abiótico, além de trazer prejuízos às propriedades físicas e químicas do solo, provoca a redução generalizada do crescimento das plantas cultivadas provocando sérios prejuízos à atividade agrícola (RIBEIRO et al., 2009; CAVALCANTE et al., 2010). A alternativa econômica mais viável para utilizar áreas com problemas de salinização dos solos é o uso de cultivares tolerantes (GHEYI et al., 2010). A intensidade com que o estresse

salino influencia o crescimento e a produtividade do arroz é determinada por vários fatores, destacando-se a composição salina do meio, a intensidade e duração do estresse, as condições edafoclimáticas, a cultivar e o estágio fenológico da cultura (CARMONA et al., 2011). Geralmente, as plantas são sensíveis nos primeiros estádios de desenvolvimento e durante o florescimento. Níveis de sais na água de irrigação acima do tolerado pelo arroz, podem causar redução no perfilhamento e aumento da esterilidade das espiguetas (CASTILLO et al., 2007).

O desenvolvimento de cultivares de arroz irrigado no Rio Grande Do Sul pelos programas de melhoramento se deu em sua grande maioria em condições de nula ou baixa salinidade, desta maneira não se espera haver genótipos tolerantes entre as cultivares provenientes dos programas de melhoramento do Rio Grande Do Sul (DANIELOWSKI, 2013). A existência de diferenças entre genótipos quanto à capacidade de absorção de nutrientes, tolerância a elementos tóxicos e eficiência de utilização dos nutrientes absorvidos no processo de produção das plantas é um fato comprovado em várias espécies de plantas cultivadas (CLARK, 1983; FURLANI et al., 1986). Diversos trabalhos com genótipos de diferentes espécies cultivadas, têm demonstrado que existe uma grande variabilidade de resposta entre cultivares quanto a salinidade (JÁCOME et al., 2003; MARCOLIN et al., 2005; MARINHO et al., 2009; DANIELOWSKI, 2013).

A tolerância à salinidade em plantas é de suma importância, pois o sal se constitui em fator limitante para a produção agrícola, interferindo no desenvolvimento e no metabolismo da planta, ocasionando estresse osmótico, em função do decréscimo do potencial hídrico na rizosfera que dificulta a absorção d'água (SOUZA FILHO et al., 2003), tornando-se a água menos disponível para a planta, induzindo à diminuição do potencial osmótico (PRISCO, 1980), provocando a ativação de rotas de sinalização relacionadas ao déficit hídrico e ao acúmulo de proteínas envolvidas na aclimação à salinidade (TAIZ et al., 2017). A causa desta injúria é função da elevada quantidade de sal absorvida, a qual ultrapassa a capacidade da planta de compartimentalizá-lo no vacúolo. Conseqüentemente, a concentração de sais aumenta no citoplasma e inibe a atividade de enzimas de várias rotas metabólicas (WILLADINO et al., 1996; PRISCO; GOMES FILHO, 2010).

Uma alteração metabólica importante para as plantas quando em condições de estresse é o aumento da produção de espécies reativas de oxigênio (EROs) (FOYER;

NOCTOR, 2005). A geração de espécies reativas de oxigênio constitui uma resposta primária da planta ao estresse de natureza biótica e abiótica, caracterizando um dano oxidativo (CHANDRU et al., 2003; ASADA, 2006).

O estresse salino pode acarretar no acúmulo excessivo de espécies reativas de oxigênio (EROs) nas células vegetais, especialmente o radical superóxido (O_2^-), radical hidroxila (OH) e o peróxido de hidrogênio (H_2O_2) (MOLLER et al., 2007). Essas espécies reativas, são subprodutos do metabolismo aeróbico e fotossintético e, em concentrações compatíveis com a homeostase redox celular, são componentes de diversas vias de sinalização (FOYER; NOCTOR, 2003). Para evitar os danos oxidativos, a concentração das EROs é mantida em níveis não tóxicos por meio de mecanismos antioxidantes enzimáticos e não enzimáticos (MOLLER et al., 2007). Os mecanismos de defesa antioxidante podem constituir-se em estratégia para aumentar a tolerância ao estresse salino (HERNÁNDEZ et al., 2001).

Alguns autores têm relatado o efeito negativo da salinidade em determinadas fases do desenvolvimento e crescimento de algumas espécies, o que conseqüentemente causa redução na germinação, no estande de plantas, altura de plantas e perda de produtividade das culturas (LIMA et al., 2005; GARCIA et al., 2007; FRAGA et al., 2010; DEUNER et al., 2011; SCIVITTARO et al., 2012; LEMES et al., 2016). Porém, na literatura são escassos trabalhos que avaliem a qualidade das sementes produzidas em condições salinas, embora sejam vastos os estudos sobre avaliação da germinação de diferentes espécies sob estresse salino em condições de laboratório com o objetivo de investigar o nível de tolerância. Além disso, em virtude dos vários prejuízos causados pela salinidade na agricultura, há ainda, a necessidade do aperfeiçoamento das técnicas de manejo do solo, da água ou das culturas que resultem em aumento da tolerância à salinidade, sendo de grande relevância para a manutenção da produtividade agrícola em solos com excesso de sais (SCHOSSLER et al., 2012).

Os efeitos do estresse salino pode ocorrer ao longo do desenvolvimento das plantas de arroz, sendo necessário o entendimento do comportamento das plantas quando expostas ao estresse salino em diferentes fases do seu desenvolvimento. Além disso, a ocorrência de condições estressantes durante as fases críticas das culturas podem ocasionar a formação de sementes menores e deformadas, afetar a deposição de amido, o conteúdo de cálcio, o acúmulo de matéria seca, a viabilidade e o vigor de sementes (PESKE et al., 2012). Desta forma, o conhecimento da

interferência dos sais na planta é fundamental quando se pretende adotar práticas de manejos adequados da água e de cultivo, visando à produção em condições não ideais. Diante disso, o objetivo do trabalho foi avaliar o efeito do estresse salino em diferentes fases do desenvolvimento da cultura do arroz sobre as características agrônômicas, a qualidade fisiológica de sementes e a atividade das enzimas antioxidantes em plântulas oriundas de sementes produzidas de duas cultivares com diferentes níveis de tolerância a salinidade.

3.2 Material e Métodos

O trabalho foi conduzido no Município do Capão do Leão – RS, em casa de vegetação e no Laboratório Didático de Análise de Sementes (LDAS) ambos pertencentes ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes (FAEM/UFPel). Foram utilizadas sementes das cultivares: 1) IRGA 417 - ciclo médio, porte baixo, grãos longos e finos, resistente ao acamamento, alta capacidade de afilhamento e suscetível a salinidade; 2) BRS Bojuru – subespécie japônica, ciclo médio, grãos curtos, porte médio e tolerante a salinidade.

Os experimentos foram desenvolvidos na safra agrícola 2013/14 e 2014/15. O primeiro ano de experimento, as sementes foram semeadas em vasos plásticos, preenchidos com 8 litros de solo peneirado. O estresse salino foi obtido pela irrigação com solução de cloreto de sódio (NaCl) na concentração de 16 mM, considerada a dose máxima tolerada por cultivares de arroz para completar o ciclo de desenvolvimento, segundo Harter (2014). No segundo ano foi realizada a semeadura em vasos de alumínio, preenchidos com 12 litros de solo peneirado, sendo que o estresse salino foi obtido pela irrigação com solução de cloreto de sódio (NaCl) na concentração de 12 mM. Em ambos os experimentos, o solo foi coletado do horizonte A1 de um PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico solódico (STRECK et al., 2008), pertencente à unidade de mapeamento de Pelotas, RS.

A adubação foi realizada da mesma forma para os dois anos de experimento, sendo de acordo com os resultados da análise de solo e recomendações da Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC (2004), onde foi utilizado como adubação de base a ureia, o superfosfato simples e cloreto de potássio como fonte de nitrogênio, fósforo e potássio, respectivamente, com aplicação 14 dias antes da semeadura. A calagem foi realizada trinta dias antes da semeadura. Foram semeadas 15 sementes

por unidade experimental, onde após a emergência (10 dias) foi realizado um desbaste deixando apenas 3 plantas por vaso, as quais permaneceram até a colheita das sementes. Durante o crescimento e desenvolvimento das plantas foi realizado aplicações do fungicida Nativo[®] (trifloxistrobina + tebuconazole) na dose recomendada de 750 mL ha⁻¹ e do inseticida Engeo Pleno[®] (Thiametoxam + Lambda Cialotrina) na dose recomendada de 200 mL ha⁻¹, de maneira preventiva, sendo realizada uma aplicação no início do florescimento e uma no enchimento de grãos.

Os vasos ficaram espaçados 0,2 metro um do outro e, após a semeadura, a irrigação foi realizada diariamente no período da manhã, mantendo-se o solo próximo à capacidade de campo até o estabelecimento definitivo da lâmina de água, realizado aos 30 dias após a emergência, procurando-se manter uma lâmina de água em torno de 10 cm, conduzindo desta forma o experimento até a colheita.

A colheita foi realizada quando as plantas estavam entre os estádios R8 e R9, sendo as panículas de cada planta acondicionadas em envelopes de papel pardo separadamente. Posteriormente, as sementes foram mantidas em câmara fria à temperatura de 15 °C (± 2 °C). Neste trabalho, foram determinadas as características agrônômicas e realizadas avaliações da qualidade fisiológica das sementes produzidas, através da germinação e vigor (primeira contagem, envelhecimento acelerado, teste de frio, comprimento de plântula e emergência em campo). Além destes testes, também foi avaliado a resposta antioxidante das plântulas oriundas das sementes produzidas.

3.2.1 Variáveis avaliadas

3.2.1.1 Características agrônômicas

Para essa determinação foram colhidas as panículas das três plantas de cada unidade experimental, as quais foram levadas para o laboratório didático de análise de sementes para ser realizado as avaliações. As panículas de cada planta foram trilhadas manualmente, sendo determinado:

Número de panículas por planta (NPANPL): determinado pela contagem do número de panículas por planta.

Número de sementes por planta (NSPL): determinado através da contagem das sementes por planta.

Número de panículas estéreis (NPANEST): quantificado através da contagem manual de panículas completamente estéreis de cada unidade experimental.

Número de glumas estéreis por planta (NGEPL): quantificado através da contagem manual das sementes vazias por unidade experimental e expressos em número de glumas estéreis planta⁻¹.

Peso de sementes por planta (PSPL): obtido pela pesagem das sementes colhidas, sendo a umidade corrigida para 13% e os resultados expressos em grama planta⁻¹.

Peso de 1000 sementes: foram tomadas oito subamostras contendo cada uma 100 sementes, na qual foram pesadas em balança analítica. Para estas pesagens calculou-se a média, o desvio padrão e o coeficiente de variação, e multiplicou-se a média por 10, obtendo assim o peso de mil sementes (BRASIL, 2009). Nas amostras de sementes em que não foram obtidas 800 sementes, foram tomadas o número possível de subamostras e estas reagrupadas novamente para a obtenção do número necessário de subamostras do teste (8 subamostras).

3.2.1.2 Qualidade fisiológica das sementes produzidas

Teste de germinação (G): realizado segundo as Regras para Análise de Sementes - RAS (BRASIL, 2009), por meio da semeadura de 200 sementes por unidade experimental, divididas em quatro repetições de 50 sementes, em rolo de papel *germitest* previamente umedecido com água destilada na proporção de 2,5 vezes o peso do papel seco. Os rolos foram colocados em germinador à temperatura de 25 °C, a contagem foi realizada aos 14 dias após a semeadura. Os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas normais.

Primeira contagem da germinação (PCG): realizado conjuntamente ao teste de germinação, sendo a contagem das plântulas normais executada aos 5 dias após o início do teste. Os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas normais.

Teste de frio (TF): conduzido com quatro subamostras de 50 sementes para cada unidade experimental, distribuídas uniformemente em rolo de papel tipo *germitest* umedecido, previamente, com água destilada na proporção de 2,5 vezes o peso do papel seco. Em seguida os rolos de papel foram colocados em sacos plásticos, os quais foram vedados e mantidos em câmara de BOD, regulada à

temperatura de $10\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante sete dias (CÍCERO; VIEIRA, 1994). Após esse período, os rolos foram transferidos para um germinador e mantidas nas mesmas condições do teste de germinação, sendo avaliada a porcentagem de plântulas normais após 5 dias, sendo os resultados expressos em porcentagem de plântulas normais.

Envelhecimento acelerado (EA): realizado utilizando-se o método de gerbox, onde as sementes foram distribuídas uniformemente em camada única sobre uma tela metálica suspensa dentro de caixas de gerbox, contendo 40 mL de água destilada ao fundo. Posteriormente, as caixas foram tampadas e acomodadas em câmara BOD, a $42\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 96h (DELOUCHE; BASKIN, 1973). Após este período as sementes foram colocadas para germinar conforme metodologia descrita para o teste de germinação e avaliados no quinto dia. Os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas normais.

Comprimento da parte aérea (CPA) e de raiz (CR): realizado com quatro subamostras de 20 sementes para cada unidade experimental, sendo as sementes distribuídas desencontradas em duas linhas longitudinais e paralelas no terço superior do papel de germinação tipo *germitest*, umedecido com volume de água equivalente a 2,5 vezes o seu peso seco. Os rolos de papel foram acondicionados em germinador a $25\text{ }^{\circ}\text{C}$. A leitura foi realizada aos cinco dias após a semeadura, com auxílio de régua graduada em milímetros, sendo medido o comprimento total e o comprimento da parte aérea de 10 plântulas normais escolhidas aleatoriamente. O comprimento de raiz foi determinado pela subtração do comprimento total pelo comprimento da parte aérea. Os comprimentos médios da parte aérea e da raiz foram determinados somando-se as medidas de cada repetição e dividindo pelo número de plântulas avaliadas, conforme metodologia descrita por Nakagawa (1999).

Emergência em campo (EC): esta determinação foi realizada em canteiros contendo solo, onde foram semeadas 200 sementes por unidade experimental, distribuídas em quatro repetições de 50 sementes. A avaliação foi realizada em contagem única das plântulas normais aos 21 dias após a semeadura, sendo os resultados expressos em porcentagem de plântulas normais (NAKAGAWA, 1999).

3.2.1.3 Metabolismo antioxidativo

A atividade das enzimas antioxidantes, peroxidação lipídica e conteúdo de peróxido foram determinadas a partir de amostras de plântulas inteiras (parte aérea e

raiz) obtidas da germinação de sementes produzidas em condição de estresse salino em diferentes fases de desenvolvimento das cultivares IRGA 417 e BRS Bojuru na safra 2014/2015.

Obtenção do extrato enzimático: o extrato enzimático para a determinação das atividades da superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e ascorbato peroxidase (APX) em plântulas inteiras, foi obtido pela maceração de 200 mg das amostras dos tecidos vegetais em nitrogênio líquido, seguido da homogeneização em polivinilpirrolidona (PVPP) 20 % (p/p) e 1,5 mL de tampão fosfato de potássio 100 mM (pH 7,8) contendo EDTA 0,1 mM e ácido ascórbico 20 mM. O extrato foi centrifugado a 12000 g por 20 min à 4 °C e o sobrenadante utilizado para mensurar a atividade enzimática e a quantificação das proteínas pelo método de Bradford (1976).

Determinação da atividade das enzimas antioxidantes: a atividade da enzima superóxido dismutase (SOD, EC 1.15.1.1) foi baseada na sua capacidade de inibir a foto-redução de nitroazul de tetrazólio (NBT) (GIANNOPOLITIS; RIES, 1977) no meio de reação contendo fosfato de potássio 50 mM (pH 7,8), metionina (14 mM), EDTA (0,1 mM), NBT (75 µM), e riboflavina (2 mM). As leituras foram realizadas em espectrofotômetro a 560 nm, assumindo que uma unidade de SOD é a quantidade de enzima capaz de inibir em 50% a foto-redução do NBT (BEAUCHAMP; FRIDOVICH, 1971).

A atividade da enzima catalase (CAT, EC 1.11.1.6) foi determinada pelo método descrito por Azevedo et al., (1998) com modificações. O decréscimo na absorvância, durante 90 segundos foi medido em 240 nm, a 25 °C, num meio de reação contendo e H₂O₂, 12,5 mM, incubados a 37 °C até que o extrato enzimático fosse adicionado para posterior leitura.

A atividade da ascorbato peroxidase (APX, EC 1.11.1.11) foi realizada segundo Nakano e Asada (1981), com modificações, por meio da avaliação da taxa de oxidação do ascorbato. O meio de reação, composto de tampão fosfato de potássio, 100 mM (pH 7,0) e ácido ascórbico (0,5 mM), foi incubado a 37 °C por 10 min. Antes de efetuar a leitura, a 290 nm, em intervalos de dez em dez segundos até completar 90 segundos, foi adicionado H₂O₂ (0,1 mM). O decréscimo na absorvância foi monitorado por um minuto e meio e os resultados serão expressos em µmol ASA min⁻¹ mg proteína⁻¹.

O conteúdo de peróxido de hidrogênio (H₂O₂) e peroxidação lipídica foram determinados em, aproximadamente 300 mg de matéria fresca (MF) da plântula

inteira. Os tecidos foram macerados em N₂ acrescido de 20% de PVPP e 2 mL da solução de extração contendo ácido tricloroacético (TCA) a 0,1%. O homogenato foi centrifugado a 12000 g, durante 20 min e o sobrenadante foi separado para análises seguintes.

A peroxidação lipídica foi determinada por meio da quantificação de espécies reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS), conforme descrito por Cakmak e Horst, (1991). O TBA forma complexos de cor avermelhada com aldeídos de baixa massa molecular, como o malonodialdeído (MDA), produto secundário do processo de peroxidação. A concentração do complexo MDA/TBA foi calculada pela seguinte equação: $[MDA] = (A_{535} - A_{600}) / (\xi \cdot b)$, em que: ξ (coeficiente de extinção = $1,56 \times 10^{-5} \text{ cm}^{-1}$); b (comprimento ótico = 1). A peroxidação foi expressa em $\mu\text{mol g}^{-1} \text{ MF}$.

A quantificação de peróxido de hidrogênio foi determinada de acordo com Velikova et al. (2000). As leituras foram realizadas em espectrofotômetro a 390 nm e a concentração de H₂O₂ foi expressa em $\mu\text{mol g}^{-1} \text{ MF}$.

3.2.2 Delineamento Experimental e Procedimento estatístico

O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados com esquema de parcelas subdivididas, sendo a parcela composta por diferentes estádios de desenvolvimento do arroz (C- Sem estresse (controle); EM- da emergência (E) até a maturidade (M); EAN- da emergência até a antese (AN); E35- da emergência até 35 dias após a emergência; 35AN- dos 35 dias após a emergência até a antese; e ANM- da antese até a maturidade) e a subparcela constituída das cultivares de arroz (IRGA 417 e BRS Bojuru) com quatro repetições. Os dados de cada experimento foram submetidos à ANOVA e havendo significância foi realizado comparação de médias através do teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

3.3 Resultados e Discussão

Primeiramente serão apresentados os resultados referente as características agrônômicas dos dois anos de experimento, passando posteriormente para a qualidade fisiológica das sementes produzidas em cada safra.

3.3.1 Características agrônômicas

3.3.1.1 Características agronômicas de plantas de arroz produzidas na safra 2013/14

Através da ANOVA foi possível observar que os diferentes períodos de estresse (estresse) e cultivar (C), assim como a interação entre eles tiveram efeito significativo sobre o número de sementes por planta (NSPL), peso de mil de sementes (PMS) e número de panículas estéreis (NPANEST) (Tabela 1). Já para o número de panículas por planta (NPANPL) e peso de sementes por planta (PSPL) foi observado efeito do estresse e da interação do estresse com cultivar. Esses resultados mostram que a salinidade tem efeito sobre as características agronômicas em diferentes períodos de desenvolvimento entre as cultivares utilizadas. No entanto, para o número de glumas estéreis por planta (NGEPL) somente o fator estresse apresentou efeito sobre esta variável, independente da cultivar de arroz.

Tabela 1. Resumo da ANOVA empregando-se o delineamento em parcelas subdivididas para o número de panículas por planta (NPANPL), número de sementes por planta (NSPL), peso de sementes por planta (PSPL), peso de 1000 sementes (PMS), número de panículas estéreis (NPANEST) e número de glumas estéreis por planta (NGEPL) das cultivares IRGA 417 e BRS Bojuru, submetidas a diferentes períodos de estresse salino.

FV	GL	NPANPL	NSPL	PSPL	PMS	NPANEST	NGEPL
Estresse (E)	5	***	***	***	***	***	***
Blocos (B)	3	*	NS	NS	NS	NS	NS
Resíduo a (Ra)	15						
Parcela	23						
Cultivar (C)	1	NS	**	NS	***	**	NS
E*C	5	***	*	*	***	***	NS
Resíduo b (Rb)	18						
C.V Ra (%)		8,76	11,52	24,72	2,77	18,27	17,97
C.V Rb (%)		13,25	14,85	16,89	2,89	22,58	23,65

(.) Significativo a 0,05% de probabilidade pelo teste F

* Significativo a 0,01% de probabilidade pelo teste F.

** Significativo a 0,001% de probabilidade pelo teste F.

*** Significativo a 0 % de probabilidade pelo teste F.

NS, não significativo.

Em relação ao NPANPL da cultivar IRGA 417, os estresses da EM e EAN foram os que resultaram em menor número dessa variável (Tabela 2). Porém, para a cultivar BRS Bojuru, os estresses da EM, EAN e 35AN foram os que apresentaram menores

resultados. Na comparação entre as duas cultivares, a cultivar BRS Bojuru apresentou maior número de panículas por planta no controle (C), no entanto, a cultivar IRGA 417 foi melhor no 35AN. Segundo Rhoades et al. (2000), a salinidade afeta não apenas o desenvolvimento das plantas, mas também a produção das culturas, efeito que se manifesta principalmente na redução da população e do desenvolvimento dos frutos, com sintomas similares ao do estresse hídrico. Em geral, a salinidade do solo, causada pela irrigação com água salina, como pela combinação de fatores água, solo e manejo das culturas, pode resultar em aumento nos dias para colheita, redução no número de frutos, no peso dos frutos e sementes, influenciando diretamente a produção.

Em relação ao número de sementes por planta (NSPL), os períodos de estresse salino, correspondentes aos EM, EAN e 35AN, para ambas cultivares, foram os que proporcionaram o menor número de sementes em relação aos demais períodos de estresse salino (Tabela 2). Contudo, ressalta-se que o número de sementes por panícula é definido em torno de 15 a 23 dias antes da floração (YOSHIDA, 1981), assim qualquer estresse durante esse período pode comprometer a máxima capacidade da planta de produzir sementes. Desta forma, constatou-se que os tratamentos mais prejudiciais para ambas cultivares foram aqueles em que o estresse causado ocorreu durante esse período. Quando avaliado as cultivares dentro de cada período de estresse, verificou-se que a BRS Bojuru mostrou-se mais tolerante a salinidade no controle (C) e E35.

Para o peso de sementes por planta (PSPL) da cultivar IRGA 417 e BRS Bojuru, também pode-se constatar que os estresses EM, EAN e 35AN reduziram o peso das sementes. Porém, quando analisado o efeito entre as cultivares, a BRS Bojuru foi superior a IRGA 417 no período de E35, enquanto que a IRGA 417 foi superior a BRS Bojuru na ANM (Tabela 2). As perdas de produtividade em função da salinidade podem ocorrer de uma série de causas, como redução da capacidade fotossintética, menor acúmulo de fotoassimilados nos grãos, além do decréscimo no enchimento dos grãos, pelo aporte deficitário de carboidratos às panículas (LACERDA, 2005; SOUSA, 2006; GHEYI et al., 2010).

Ao avaliar plantas de trigo irrigadas com água salina até a colheita, Borzouei et al. (2012), observaram que as plantas de trigo apresentaram menor produção de grãos, atribuindo esses resultados aos efeitos tóxicos causados pela alta concentração de sais. Fraga et al. (2010), concluíram que a entrada de água salina

na fase de diferenciação da panícula afeta a produção de grãos, os componentes do rendimento e a esterilidade das espiguetas da mesma forma quando a entrada da água salina ocorre na fase de perfilhamento. É importante ressaltar que o critério agrônomo mais efetivo para a avaliação de tolerância à salinidade de cultivares de arroz é a produtividade de grãos (CARMONA et al., 2011), visto que cultivares de arroz visualmente pouco afetadas pela salinidade e com bom desenvolvimento vegetativo podem ter sua produtividade bastante reduzida em presença de sal (PEARSON, 1959).

Tabela 2. Número de panículas por planta (NPANPL), número de sementes por planta (NSPL), peso de sementes por planta (PSPL) e peso de 1000 sementes (PMS) de sementes de arroz das cultivares IRGA 417 e BRS Bojuru, submetidas a diferentes períodos de estresse salino. Pelotas-RS, Brasil, 2014.

Estresse	NPANPL		NSPL	
	IRGA 417	BRS Bojuru	IRGA 417	BRS Bojuru
C**	16 b	20 a*	1148 a	1362 a*
EM	6 c	5 b	142 c	183 b
EAN	5 c	5 b	142 c	135 b
E35	20 a	21 a	1076 a	1358 a*
35AN	14 b*	7 b	359 b	276 b
ANM	22 a	20 a	1210 a	1368 a
Média	14	13	680	780
Estresse	PSPL (g)		PMS (g)	
	IRGA 417	BRS Bojuru	IRGA 417	BRS Bojuru
C	28,47 a	31,65 a	22,14 a	25,69 a*
EM	2,79 b	3,25 b	15,07 c	19,27 e*
EAN	2,16 b	1,66 b	16,45 b	21,25 d*
E35	25,04 a	31,19 a*	21,30 a	24,13 b*
35AN	5,06 b	6,80 b	15,49 bc	22,58 c*
ANM	29,55 a*	24,52 a	21,56 a	21,44 cd
Média	15,51	16,51	18,50	22,39

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna, dentro de cada variável, não diferem entre si pelo teste de tukey ($p \leq 0,05$). Média seguida de *, dentro de cada variável, diferem entre si na linha pelo teste de tukey ($p \leq 0,05$).

**C- Sem estresse (controle); EM- da emergência (E) até a maturidade (M); EAN- da emergência até a antese (AN); E35- da emergência até 35 dias após a emergência; 35AN- dos 35 dias após a emergência até a antese; e ANM- da antese até a maturidade.

No que se refere ao peso de 1000 sementes (PMS), as sementes da cultivar IRGA 417 foram afetadas pelos estresses EM, EAN e 35AN. Já nas sementes da cultivar BRS Bojuru, o menor PMS foi constatado com o EM. Na comparação entre as cultivares, as sementes da BRS Bojuru apresentaram maior PMS que a IRGA 417 na maioria dos períodos, não diferindo apenas na ANM (Tabela 2). Segundo Carvalho e Nakagawa (2012), o peso de mil sementes varia de acordo com o genótipo, mas também é influenciado pelas condições ambientais e práticas de manejo, como a nutrição das plantas, e ainda que o peso de mil sementes pode estar relacionado ao vigor das sementes. Ainda na tabela 2, constatou-se que o PMS em ambas cultivares foi influenciado pela salinidade nas condições impostas neste estudo. Da mesma forma, Lemes et al. (2016), em trabalho com salinidade na cultura do arroz, observaram que, a medida em que se aumentou as concentrações salinas utilizadas na água de irrigação (0, 4 e 8 mM) ocorreu uma redução do PMS da cultivar IRGA 424. No entanto, Jácome et al. (2003), constatou que a solução com sal não teve efeito significativo sobre o peso de mil sementes de cultivares de algodão, evidenciando comportamento distinto entre espécies e cultivares.

A salinidade resulta em menor produção de assimilados pelas plantas em decorrência da redução da fotossíntese, devido à diminuição da disponibilidade de CO₂ no interior das folhas em função do fechamento de estômatos (CARMONA, 2011) afetados pela redução do potencial osmótico da solução do solo, o que interfere na absorção de água pela planta (FIGUEIRÊDO et al., 2009). O fechamento dos estômatos gera uma série de efeitos deletérios, que culminam em menor acúmulo de assimilados nas folhas e também alterações na partição assimilados, devido ao aumento dos processos de consumo de energia, tais como ajuste osmótico e processos de transporte ativo de íons, pelo excesso de sais na planta (MARCONDES; GARCIA, 2009) e, conseqüentemente, reduzindo o perfilhamento das plantas, característica associada ao alto rendimento de grãos, interferindo desta forma no peso de 1000 sementes. O efeito do excesso de sais sobre a transpiração das plantas determina o suprimento de água, por fluxo de massa e, conseqüente absorção de macronutrientes e de íons tóxicos, como o próprio sódio (CARMONA et al., 2009).

Para o número de panículas estéreis (Tabela 3) o estresse da EAN, para ambas cultivares, foi o que proporcionou maior efeito negativo. No entanto, quando se comparou o comportamento das duas cultivares sob estresse salino observa-se diferença entre as cultivares somente no estresse dos 35AN, o qual resultou em 11

panículas estéreis a mais para a cultivar BRS Bojuru em relação a cultivar IRGA 417, na mesma condição de estresse. Em relação ao número de glumas estéreis por planta (Tabela 3), a ANM foi o que propiciou maior número de glumas estéreis em relação aos demais tratamentos. De acordo com Cui et al. (1995), quando o arroz entra na fase reprodutiva, a salinidade pode causar variações morfológicas semelhantes à de outros estresses ambientais, inibindo o crescimento de estruturas das plantas, ocorrendo a degeneração das ráquis primárias e secundárias e das espiguetas nas panículas.

Nessas circunstâncias, a esterilidade de espiguetas é um parâmetro que se correlaciona negativamente com o rendimento de grãos da cultura (KHATUN et al., 1995). Uma vez que a diferenciação das ráquis primária e secundária e das espiguetas ocorre durante um breve intervalo, no início da formação da panícula, o estresse salino anterior ou durante essa fase causa maiores danos à formação das espiguetas, em comparação ao estresse causado após esse período, que é menor ou nulo (ZENG et al., 2001).

O aumento na esterilidade de espiguetas de arroz constitui-se em um dos efeitos mais marcantes da irrigação com água salinizada durante a fase reprodutiva, podendo se refletir em perdas importantes em produtividade (IRRI, 2007). Na cultura do arroz especialmente no período de plântula e reprodutivo, a salinidade na água de irrigação pode ocasionar danos como diminuição do perfilhamento, esterilidade das espiguetas e morte de plantas (CARMONA, 2011).

Tabela 3. Número de panículas estéreis (NPANEST) e número de glumas estéreis por planta (NGEPL) de sementes de arroz das cultivares IRGA 417 e BRS Bojuru, submetidas a diferentes períodos de estresse salino. Pelotas-RS, Brasil, 2014.

Estresse	NPANEST		NGEPL	
	IRGA 417	BRS Bojuru	IRGA 417	BRS Bojuru
C**	1 d	1 c	150 d	
EM	16 b	19 b	270 bc	
EAN	24 a	26 a	260 bc	
E35	2 d	2 c	200 cd	
35AN	10 c	21 b*	338 ab	
ANM	2 d	1 c	393 a	
Média	9	12	262	274

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna, dentro de cada variável, não diferem entre si pelo teste de tukey ($p \leq 0,05$). Média seguida de *, dentro de cada variável, diferem entre si na linha pelo teste de tukey ($p \leq 0,05$).

**C- Sem estresse (controle); EM- da emergência (E) até a maturidade (M); EAN- da emergência até a antese (AN); E35- da emergência até 35 dias após a emergência; 35AN- dos 35 dias após a emergência até a antese; e ANM- da antese até a maturidade.

3.3.1.2 Características agronômicas de plantas de arroz produzidas na safra 2014/15

Com o resultado obtido na análise de variância do segundo ano de experimento, pode-se observar que os fatores testados não apresentaram efeito de interação sobre o NPANPL, NSPL, PMS e NGEPL, sendo analisado apenas o efeito principal de cada fator (Tabela 4). Este resultado mostra que as diferenças entre genótipos e entre os diferentes períodos de estresse salino sobre estas variáveis são independentes. A interação entre estresse e cultivar apresentou efeito significativo sobre o PSPL e NPANEST.

Tabela 4. Resumo da ANOVA empregando-se o delineamento em parcelas subdivididas para o número de panículas por planta (NPANPL), número de sementes por planta (NSPL), peso de sementes por planta (PSPL), peso de 1000 sementes (PMS), número de panículas estéreis (NPANEST) e número de glumas estéreis por planta (NGEPL) das cultivares IRGA 417 e BRS Bojuru, submetidas a diferentes períodos de estresse salino.

FV	GL	NPANPL	NSPL	PSPL	PMS	NPANEST	NGEPL
Estresse (E)	5	***	***	***	***	***	NS
Blocos (B)	3	NS	*	NS	NS	NS	NS
Resíduo a (Ra)	15						
Parcela	23						
Cultivar (C)	1	**	NS	***	***	NS	*
E*C	5	NS	NS	*	NS	***	NS
Resíduo b (Rb)	18						
C.V Ra (%)		16,72	20,68	10,45	4,34	12,36	22,80
C.V Rb (%)		17,93	22,08	9,44	4,49	18,43	20,38

(.) Significativo a 0,05% de probabilidade pelo teste F.

* Significativo a 0,01% de probabilidade pelo teste F.

** Significativo a 0,001% de probabilidade pelo teste F.

*** Significativo a 0 % de probabilidade pelo teste F.

NS, não significativo.

Com relação ao número de panículas por planta (Tabela 5) os estresses da EM, EAN, E35 e 35AN foram os que apresentaram redução na emissão de panículas, demonstrando efeito negativo da salinidade durante o período vegetativo da cultura.

Segundo Nedel et al. (2004), a diferenciação da panícula ocorre em torno de 40 dias após a emergência, e é muito dependente de fatores ambientais durante esse período, além do genótipo. Desta forma, condições não favoráveis durante este período podem afetar o número de panículas. Na comparação das cultivares, a cultivar BRS Bojuru foi superior a IRGA 417. Harter (2014) não verificou diferença entre a concentração de 12,5 mM e a testemunha (0 mM) no número de panículas por planta em cultivares de arroz submetidas a salinidade.

Em relação ao número de sementes por planta (Tabela 5), foi observado que o EM apresentou menor NSPL, juntamente dos estresses EAN, E35 e 35AN. Não foi verificado diferença entre as cultivares para o número de sementes por planta. Conforme já mencionado, existe um período curto no ciclo da cultura que define o número de sementes por planta (15-23 dias antes da floração), justificando os resultados obtidos neste trabalho com o EM, definido como salinidade durante todo o ciclo da cultura.

Tabela 5. Número de panículas por planta (NPANPL), número de sementes por planta (NSPL), peso de sementes por planta (PSPL) e peso de 1000 (PMS) de sementes de arroz das cultivares IRGA 417 e BRS Bojuru, submetidas a diferentes períodos de estresse salino. Pelotas-RS, Brasil, 2015.

Estresse	NPANPL		NSPL	
	IRGA 417	BRS Bojuru	IRGA 417	BRS Bojuru
C**		23 a		1630 a
EM		14 b		960 c
EAN		15 b		1020 bc
E35		15 b		1162 bc
35AN		16 b		1209 bc
ANM		21 a		1434 ab
Média	16	19*	1195	1276
Estresse	PSPL (g)		PMS (g)	
	IRGA 417	BRS Bojuru	IRGA 417	BRS Bojuru
C	40,59 a	53,32 a*		26,56 a
EM	20,07 d	23,51 c		23,36 b
EAN	19,38 d	28,38 bc*		23,39 b
E35	29,10 bc	35,21 b*		26,47 a
35AN	25,26 cd	29,07 bc		24,30 b
ANM	35,13 ab	46,74 a*		27,20 a
Média	28,25	36,04	22,97	27,45*

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna, dentro de cada variável, não diferem entre si pelo teste de tukey ($p \leq 0,05$). Média seguida de *, dentro de cada variável, diferem entre si na linha pelo teste de tukey ($p \leq 0,05$). **C- Sem estresse (controle); EM- da emergência (E) até a maturidade (M); EAN- da emergência até a antese (AN); E35- da emergência até 35 dias após a emergência; 35AN- dos 35 dias após a emergência até a antese; e ANM- da antese até a maturidade.

Para o peso de sementes por planta (Tabela 5) o controle (C) e o estresse durante a antese até a maturidade (ANM) foram os que apresentaram melhor resposta em ambas as cultivares, os quais obtiveram quase o dobro do peso do EM (estresse da emergência até a maturidade), sendo o que mais prejudicou o potencial produtivo das cultivares utilizadas. O peso de sementes depende, primeiramente, do tamanho da casca, que é determinada, aproximadamente, uma semana antes da floração (YOSHIDA, 1981). Em segundo lugar, depende da formação destas sementes durante a fase de maturação. Frente a isso, o resultado obtido neste estudo é justificado pelo fato do estresse ter ocorrido nos períodos críticos para essa variável. No entanto, estudo realizado por Scivittaro et al. (2009), constatou que a irrigação com água salinizada durante a fase reprodutiva afeta a produtividade do arroz cv. BRS Querência e que este efeito pode ser minimizado pela interrupção da irrigação no período compreendido entre a floração e o estágio de grão leitoso, desde que no retorno desta prática se utilize água de boa qualidade. Segundo Carmona et al. (2011), as perdas de produtividade em função da salinidade podem ocorrer devido a uma série de causas, como redução da capacidade fotossintética, menor acúmulo de fotoassimilados nos grãos, além do decréscimo no enchimento dos grãos, pelo aporte deficitário de carboidratos às panículas.

Já para o peso de 1000 sementes (Tabela 5), os estresses em EM, EAN e 35AN proporcionaram menor PMS. Na comparação entre cultivares, as sementes da cultivar BRS Bojuru apresentaram melhor resultado. Cabe salientar que, essa melhor resposta da cultivar BRS Bojuru pode estar associado a sua origem genética, independente da salinidade essa cultivar apresenta valor mais elevado de PMS em relação a cultivar IRGA 417. Harter (2014) verificou redução no peso de 1000 sementes da cultivar IRGA 417 quando estas foram produzidas em condição de estresse salino. Também foi verificado por outros autores redução no peso de 1000 sementes sob condições de estresse salino em trabalhos realizados com sementes de arroz (RODRIGUES et al., 2005; LEMES et al., 2016), mamona (SILVA et al., 2008), amendoim (CORREIA et al., 2009), girassol (TRAVASSOS et al., 2011) e

quiabo (SOUZA et al., 2014). É importante destacar que a salinidade durante o período vegetativo e próximo ao florescimento gera redução no peso de 1000 sementes. Ressalta-se também que o peso de mil sementes é um importante indicador de qualidade, pois sementes mais pesadas podem apresentar maior reserva e conseqüentemente gerar plântulas mais vigorosas, resultando em maiores produtividades no campo.

Com o objetivo de verificar a influência da salinidade em diferentes estágios da cultura do arroz, Fraga et al. (2010) observaram que há diferenças do efeito da salinidade sobre os componentes do rendimento em diferentes estádios da cultura. Ainda, segundo os mesmos autores, os componentes mais afetados pela salinidade que interferem na produção de grãos, quando o estresse é causado a partir do estágio de perfilhamento, são o número total de panículas, o número de grãos por panícula e peso de 1000. Já quando o estresse é causado a partir do período reprodutivo, o número total de panículas foi a característica que menos se relacionou com a produção.

O controle (C) resultou em maior número de panículas estéreis (NPANEST) para a cultivar IRGA 417, enquanto que, para a cultivar BRS Bojuru, o maior NPANEST foi obtido com o estresse em EAN e EM (Tabela 6). Na comparação das cultivares, foi observado que a IRGA 417 foi superior no controle e a BRS Bojuru no EAN. Em relação ao número de glumas estéreis por planta, na média das cultivares dentro de cada período de estresse não foi observado efeito significativo sobre esta variável. Já na comparação entre as cultivares a BRS Bojuru foi superior a IRGA 417.

Tabela 6. Número de panículas estéreis (NPANEST) e número de glumas estéreis por planta (NGEPL) das cultivares IRGA 417 e BRS Bojuru, submetidas a diferentes períodos de estresse salino. Pelotas-RS, Brasil, 2015.

Estresse	NPANEST		NGEPL	
	IRGA 417	BRS Bojuru	IRGA 417	BRS Bojuru
C**	25 a*	12 b	487 a	
EM	19 b	17 ab	437 a	
EAN	12 c	21 a*	468 a	
E35	15 bc	14 b	363 a	
35AN	15 bc	15 b	429 a	
ANM	14 c	12 b	457 a	
Média	17	15	409	471*

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna, dentro de cada variável, não diferem entre si pelo teste de tukey ($p \leq 0,05$). Média seguida de *, dentro de cada variável, diferem entre si na linha pelo teste de tukey ($p \leq 0,05$). **C- Sem estresse (controle); EM- da emergência (E) até a maturidade (M); EAN- da emergência até a antese (AN); E35- da emergência até 35 dias após a emergência; 35AN- dos 35 dias após a emergência até a antese; e ANM- da antese até a maturidade.

Com base nos resultados obtidos para o primeiro e segundo ano de experimento, observou-se que a salinidade afetou a produção de sementes de arroz. Também foi possível constatar que as cultivares apresentam respostas diferentes quando submetidas aos diferentes períodos de estresse salino, sendo o estresse causado durante a emergência até a antese (EAN) e próximo ao florescimento os mais prejudiciais à cultura (35AN). No geral, a cultivar BRS Bojuru mostrou-se mais tolerante a salinidade, refletindo em maior produção frente ao estresse imposto. Ademais, a utilização de diferentes concentrações salinas afeta a cultura em graus de severidade distintos, no primeiro ano de experimento, que foi realizado a irrigação com solução na concentração de 16 mM observou-se uma redução mais acentuada das características agrônômicas do que no segundo ano onde foi utilizado a concentração de 12 mM. Cabe salientar que as alterações causadas pela salinidade variam com a espécie e o estágio de desenvolvimento da planta, assim como com o tipo de estresse, a duração e a intensidade do mesmo (LARCHER, 2000).

3.3.2 Qualidade fisiológica das sementes produzidas

3.3.2.1 Qualidade fisiológica das sementes de arroz produzidas na safra 2013/14

O fator períodos de estresse salino, cultivar e a interação entre eles tiveram efeito significativo sobre a qualidade fisiológica das sementes produzidas (Tabela 7), avaliada pelos testes de primeira contagem da germinação (PCG), germinação (G), envelhecimento acelerado (EA), teste de frio (TF) e comprimento da parte aérea (CPA). No entanto, para o comprimento de raiz (CR) e emergência em campo (EC) não houve interação entre os fatores, sendo observado somente efeito principal de cada fator.

Tabela 7. Resumo da ANOVA empregando-se o delineamento em parcelas subdivididas para a primeira contagem da germinação (PCG),

germinação (G), envelhecimento acelerado (EA), teste de frio (TF), comprimento da parte aérea (CPA) e raiz (CR) e emergência em campo (EC) de sementes oriundas das cultivares IRGA 417 e BRS Bojuru, submetidas a diferentes períodos de estresse salino.

FV	GL	PCG	G	EA	TF	CPA	CR	EC
Estresse (E)	5	***	**	***	**	***	***	***
Blocos (B)	3	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Residuo a (Ra)	15							
Parcela	23							
Cultivar (C)	1	***	***	***	***	***	***	***
E*C	5	***	*	***	***	*	NS	NS
Residuo b (Rb)	18							
C.V Ra (%)		11,10	4,82	14,73	11,06	10,15	11,90	11,92
C.V Rb (%)		9,19	3,71	12,47	5,83	8,41	12,30	7,57

(.) Significativo a 0,05% de probabilidade pelo teste F.

* Significativo a 0,01% de probabilidade pelo teste F.

** Significativo a 0,001% de probabilidade pelo teste F.

*** Significativo a 0 % de probabilidade pelo teste F.

NS, não significativo.

No que se refere a PCG das sementes produzidas em condições de estresse salino (Tabela 8), constatou-se que a porcentagem de plântulas normais obtidas pela cultivar IRGA 417, foi afetada negativamente pelos estresses durante EM e EAN, enquanto que para a cultivar BRS Bojuru o menor número de plântulas normais foi obtido com o estresse durante todo o ciclo (EM), juntamente com os estresses em EAN e E35. A cultivar IRGA 417 apresentou melhor desempenho que a cultivar BRS Bojuru em todos os tratamentos.

Os resultados obtidos por Lemes et al. (2016) também mostraram que, a medida que se aumenta a concentração salina da água de irrigação, diminui a porcentagem de plântulas normais pelo teste de primeira contagem de germinação e germinação em sementes de arroz. Tais resultados corroboram aos obtidos por Souza et al. (2014), em sementes de quiabo, ao observarem que a salinidade afeta negativamente a qualidade fisiológica das sementes produzidas.

Em relação a viabilidade das sementes produzidas obtidas pelo teste de germinação (Tabela 8), foi observado para a cultivar IRGA 417 que o estresse durante EM apresentou menor porcentagem de plântulas normais, da mesma forma que o controle (C) e os estresses em EAN e 35AN. O controle (C) e o estresse EM foram os que resultaram em menor número de plântulas normais para a cultivar BRS Bojuru,

juntamente com o EAN. Comparando as cultivares, a IRGA 417 foi superior a cultivar BRS Bojuru no C, EM, EAN e E35. Lima et al. (2005) notaram que a germinação de sementes de arroz diminui conforme aumenta a dosagem de sal no substrato, concluindo que a salinidade afeta o desenvolvimento de plântulas normais e diminui o vigor das sementes. Em trabalho realizado por Garcia et al. (2007) em sementes de milho oriundas de plantas submetidas ao estresse salino, concluíram que o aumento da salinidade diminuiu a porcentagem de germinação e o índice de velocidade de germinação. Castellanos et al. (2016) observaram que sementes de trigo produzidas em condição de estresse salino apresentaram melhores resultados na porcentagem de plântulas normais no teste de primeira contagem da germinação e germinação das sementes produzidas em condição de estresse salino.

Tabela 8. Porcentagem de plântulas normais obtidas no teste de primeira contagem da germinação (PCG) e germinação (G) de sementes de arroz oriundas das cultivares IRGA 417 e BRS Bojuru, submetidas a diferentes períodos de estresse salino. Pelotas-RS, Brasil, 2014.

Estresse	PCG (%)		G (%)	
	IRGA 417	BRS Bojuru	IRGA 417	BRS Bojuru
C**	81 a*	17 b	96 ab*	82 c
EM	67 b*	7 c	88 b*	80 c
EAN	56 c*	11 bc	92 ab*	85 bc
E35	82 a*	15 bc	97 a*	91 ab
35AN	78 a*	33 a	95 ab	92 ab
ANM	81 a*	30 a	97 a	94 a
Média	74	19	94	87

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna, dentro de cada variável, não diferem entre si pelo teste de tukey ($p \leq 0,05$). Média seguida de *, dentro de cada variável, diferem entre si na linha pelo teste de tukey ($p \leq 0,05$). **C- Sem estresse (controle); EM- da emergência (E) até a maturidade (M); EAN- da emergência até a antese (AN); E35- da emergência até 35 dias após a emergência; 35AN- dos 35 dias após a emergência até a antese; e ANM- da antese até a maturidade.

No envelhecimento acelerado, foi observado para a cultivar IRGA 417 que o EM reduziu a porcentagem de plântulas normais das sementes produzidas nesta condição de estresse (Tabela 9). Já para cultivar BRS Bojuru, o C juntamente com o EM, E35 e 35AN foram os que apresentaram menor porcentagem de plântulas normais. Na comparação entre as cultivares de arroz utilizadas no trabalho, observou-

se que a cultivar IRGA 417 apresentou melhores resultados que a cultivar BRS Bojuru em todos os tratamentos.

Em relação ao teste de frio (Tabela 9), constatou-se que as sementes da cultivar IRGA 417 quando expostas ao frio, o EM, EAN e 35AN prejudicaram a capacidade das sementes em produzir plântulas normais nessa condição de estresse. Para a cultivar BRS Bojuru não foi observado diferença entre os períodos de estresse. Ao comparar as cultivares, a IRGA 417 foi, no geral, superior a BRS Bojuru.

Para a emergência em campo (Tabela 9), na média das duas cultivares o estresse que resultou em menor porcentagem de plântulas emergidas foi o 35AN. Já entre as duas cultivares, a BRS Bojuru foi a que apresentou melhor desempenho, independente do estresse. A redução do processo fotossintético, no desenvolvimento das plantas, pode conduzir a disfunções fisiológicas, como a inibição do transporte de água e mudanças no equilíbrio hormonal (PARENT et al., 2008). A fim de manter adequadamente sua atividade metabólica, a planta recorre às suas reservas de carboidratos, devido ao aumento dos processos de consumo de energia, tais como ajuste osmótico e processos de transporte ativo de íons, pelo excesso de sais na planta (MARCONDES; GARCIA, 2009). Desta forma, a ocorrência de condição estressante pode afetar a produção e qualidade das sementes devido à mudança da preferencialidade de alocação e translocação de assimilados na planta (KOZLOWSKI, 1997).

Tabela 9. Porcentagem de plântulas normais obtidas no teste de envelhecimento acelerado (EA), teste de frio (TF) e emergência em campo (EC) de sementes de arroz oriundas das cultivares IRGA 417 e BRS Bojuru, submetidas a diferentes períodos de estresse salino. Pelotas-RS, Brasil, 2014.

Estresse	EA (%)		TF (%)		EC (%)	
	IRGA 417	BRS Bojuru	IRGA 417	BRS Bojuru	IRGA 417	BRS Bojuru
C**	91 a*	25 c	80 a*	51 a	90 a	
EM	58 b*	31 bc	53 b	49 a	61 d	
EAN	77 a*	47 ab	62 b*	50 a	76 bc	
E35	93 a*	32 bc	78 a*	45 a	84 ab	
35AN	77 a*	43 abc	59 b*	49 a	47 e	
ANM	93 a*	54 a	75 a*	57 a	65 cd	
Média	82	39	68	50	67	74*

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna, dentro de cada variável, não diferem entre si pelo teste de tukey ($p \leq 0,05$). Média seguida de *, dentro de cada variável, diferem entre si na linha pelo teste de tukey ($p \leq 0,05$). **C- Sem estresse (controle); EM- da emergência (E) até a maturidade (M); EAN- da emergência até a antese (AN); E35- da emergência até 35 dias após a emergência; 35AN- dos 35 dias após a emergência até a antese; e ANM- da antese até a maturidade.

Se tratando do comprimento da parte aérea das plântulas oriundas de sementes produzidas sob períodos de estresse salino (Tabela 10), foi observado que para a IRGA 417 o estresse em EAN, C e EM apresentaram menor comprimento da parte aérea. Já a cultivar BRS Bojuru, teve menor comprimento da parte aérea no C, EM, EAN e ANM. No comprimento de raiz (Tabela 10), constatou-se que o estresse salino em todo ciclo da cultura (EM) interferiu no crescimento adequado das raízes, juntamente com o C e EAN. Para ambos os testes, a cultivar IRGA 417 apresentou melhores resultados que a cultivar BRS Bojuru. Plântulas com maior crescimento inicial podem gerar plantas mais produtivas, uma vez que a maior área foliar inicial pode proporcionar maior taxa fotossintética, pois de acordo com Gustafson et al. (2004), plantas portadoras de elevada velocidade de emergência e de crescimento inicial, possuem prioridade na utilização dos recursos do meio e, por isso, geralmente levam vantagem na utilização desses. Lemes et al. (2016) verificaram redução no comprimento da parte aérea e raiz de plântulas de arroz produzidas em condições de estresse salino.

Tabela 10. Comprimento da parte aérea (CPA) e de raiz (CR) de plântulas de arroz oriundas das cultivares IRGA 417 e BRS Bojuru submetidas a diferentes períodos de estresse salino. Pelotas-RS, Brasil, 2014.

Estresse	CPA (cm)		CR (cm)	
	IRGA 417	BRS Bojuru	IRGA 417	BRS Bojuru
C**	5,80 bc*	2,67 c	12,7 cd	
EM	6,00 abc*	3,00 bc	11,9 d	
EAN	5,19 c*	3,31 abc	12,9 bcd	
E35	6,37 ab*	3,95 a	16,2 a	
35AN	6,90 a*	3,83 ab	15,2 abc	
ANM	6,58 ab*	3,53 abc	15,6 ab	
Média	6,18	3,40	16,2*	12,3

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna, dentro de cada variável, não diferem entre si pelo teste de tukey ($p \leq 0,05$). Média seguida de *, dentro de cada variável, diferem entre si na linha pelo teste de tukey ($p \leq 0,05$).

**C- Sem estresse (controle); EM- da emergência (E) até a maturidade (M); EAN- da emergência até a antese

(AN); E35- da emergência até 35 dias após a emergência; 35AN- dos 35 dias após a emergência até a antese; e ANM- da antese até a maturidade.

3.3.2.2 Qualidade fisiológica das sementes de arroz produzidas na safra 2014/15

Os períodos de estresse salino, cultivar e a interação entre eles não apresentaram efeito significativo sobre a primeira contagem da germinação (Tabela 11). Para a germinação (G) foi constatado somente efeito do fator cultivar. No entanto, foi obtido interação entre os fatores estresse e cultivar sobre o envelhecimento acelerado (EA), teste de frio (TF), comprimento de parte aérea (CPA) e raiz (CR) e emergência em campo (EC).

Tabela 11. Resumo da ANOVA empregando-se o delineamento em parcelas subdivididas para a primeira contagem da germinação (PCG), germinação (G), envelhecimento acelerado (EA), teste de frio (TF), comprimento da parte aérea (CPA) e raiz (CR) e emergência em campo (EC) de sementes oriundas das cultivares IRGA 417 e BRS Bojuru, submetidas a diferentes períodos de estresse salino.

FV	GL	PCG	G	EA	TF	CPA	CR	EC
Estresse (E)	5	NS	NS	**	*	**	**	**
Blocos (B)	3	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS
Residuo a (Ra)	15							
Parcela	23							
Cultivar (C)	1	NS	*	***	***	***	NS	NS
E*C	5	NS	NS	*	*	**	***	**
Residuo b (Rb)	18							
C.V. Ra (%)		8,07	2,98	2,80	5,16	8,00	15,08	8,98
C.V. Rb (%)		5,62	2,97	3,35	3,93	7,79	13,33	8,00

(.) Significativo a 0,05% de probabilidade pelo teste F.

* Significativo a 0,01% de probabilidade pelo teste F.

** Significativo a 0,001% de probabilidade pelo teste F.

*** Significativo a 0 % de probabilidade pelo teste F.

NS, não significativo.

Na tabela 12 estão os resultados referentes a primeira contagem de germinação e germinação das sementes produzidas na safra 2014/15. A maior porcentagem de plântulas normais obtidas pelo teste de germinação foi verificada para a cultivar IRGA 417, independente do período de estresse. Deuner et al. (2011),

observaram que sementes de feijão-miúdo, quando germinadas em substratos umedecidos com várias concentrações de NaCl, diminuem a porcentagem de germinação, primeira contagem de germinação, comprimento e massa seca da parte aérea e raiz das plântulas oriundas.

Em arroz, Lima et al. (2005), ao utilizarem cultivares BRS Bojuru e IAS 12-9 Formosa (tolerantes ao sal) e BRS Agrisul e BRS 6 Chuí (sensíveis ao sal) tratadas com NaCl, verificaram decréscimo na germinação em todas as cultivares, em função do aumento da concentração salina, e indicaram que a salinidade afeta o desenvolvimento de plântulas normais e diminui a viabilidade e o vigor das sementes. Souza et al. (2014) trabalhando com sementes de quiabo produzidas em condição de irrigação com solução salina, também observaram redução na primeira contagem de germinação.

Tabela 12. Porcentagem de plântulas normais obtidas no teste de primeira contagem de germinação (PCG) e germinação (G) de sementes oriundas das cultivares IRGA 417 e BRS Bojuru, submetidas a diferentes períodos de estresse salino. Pelotas-RS, Brasil, 2015.

Estresse	PCG (%) ^{NS}		G (%)	
	IRGA 417	BRS Bojuru	IRGA 417	BRS Bojuru
C**	84	86	95	94
EM	75	75	93	90
EAN	80	76	96	90
E35	75	75	96	94
35AN	82	79	94	93
ANM	81	79	92	93
Média	80	78	94*	92

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna, dentro de cada variável, não diferem entre si pelo teste de tukey ($p \leq 0,05$). Média seguida de *, dentro de cada variável, diferem entre si na linha pelo teste de tukey ($p \leq 0,05$).

**C- Sem estresse (controle); EM- da emergência (E) até a maturidade (M); EAN- da emergência até a antese (AN); E35- da emergência até 35 dias após a emergência; 35AN- dos 35 dias após a emergência até a antese; e ANM- da antese até a maturidade.

O tempo de exposição e permanência das sementes sob condições adversas são fatores de grande importância para que a germinação ocorra. Assim, em condições desfavoráveis, o tempo de germinação tende a se elevar até que as sementes possam desenvolver mecanismos de adaptação (BARROSO, 2010). Ao submeter as sementes de arroz a situações de estresse por baixa e alta temperatura

(Tabela 13), pode-se observar que as sementes da IRGA 417 quando expostas ao teste de frio, apresentaram a menor porcentagem de plântulas normais as sementes oriundas do EAN, EM e E35.

As sementes obtidas da cultivar BRS Bojuru quando expostas ao frio (TF) não apresentaram diferença entre os períodos de estresse. Em relação as cultivares, as sementes da cultivar IRGA 417 apresentou melhor resposta ao estresse imposto pelo teste no C, E35, 35AN e ANM. As sementes quando expostas ao teste de envelhecimento acelerado (EA) apresentaram comportamento diferente, para a cultivar IRGA 417 não houve diferença entre os diferentes períodos de estresse salino, já para a cultivar BRS Bojuru o controle (C) foi o que apresentou melhor porcentagem de plântulas normais em comparação aos demais períodos de estresse. Confrontando as duas cultivares, foi constatado que a IRGA 417 foi superior a BRS Bojuru em quase todos os períodos de estresse salino, não diferindo apenas no C. Essa resposta pode indicar que, a severidade do estresse salino para as plantas da cultivar BRS Bojuru, pode afetar negativamente, o vigor das sementes produzidas e assim o período de armazenamento destas sementes de acordo com o EA.

Tabela 13. Porcentagem de plântulas normais obtidas no teste de frio (TF) e envelhecimento acelerado (EA) de sementes de arroz oriundas das cultivares IRGA 417 e BRS Bojuru produzidas sob estresse salino em diferentes períodos. Pelotas-RS, Brasil, 2015.

Estresse	TF (%)		EA (%)		EC (%)	
	IRGA 417	BRS Bojuru	IRGA 417	BRS Bojuru	IRGA 417	BRS Bojuru
C**	93 a*	86 a	93 a	92 a	90 a	97 a
EM	84 bc	80 a	91 a*	81 b	72 b	89 abc*
EAN	83 c	83 a	93 a*	81 b	82 b	90 ab
E35	91 abc*	83 a	91 a*	85 b	74 b	81 bc
35AN	93 a*	81 a	93 a*	84 b	84 ab	74 c
ANM	92 ab*	84 a	92 a*	85 b	89 a	82 abc
Média	89	83	92	85	82	85

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna, dentro de cada variável, não diferem entre si pelo teste de tukey ($p \leq 0,05$). Média seguida de *, dentro de cada variável, diferem entre si na linha pelo teste de tukey ($p \leq 0,05$).

**C- Sem estresse (controle); EM- da emergência (E) até a maturidade (M); EAN- da emergência até a antese (AN); E35- da emergência até 35 dias após a emergência; 35AN- dos 35 dias após a emergência até a antese; e ANM- da antese até a maturidade.

Na emergência em campo (Tabela 13) das sementes oriundas da cultivar IRGA 417, o EM e E35 foram os que resultaram em menor número de plântulas emergidas, enquanto que para a cultivar BRS Bojuru o 35AN, EM, E35 e ANM foram os que mais prejudicaram a capacidade das sementes em gerar plântulas normais. Abid et al. (2002) demonstraram que o uso da irrigação com água salina na produção de quiabo, provocou significativa redução no rendimento de frutos e afetou alguns parâmetros fisiológicos, como fotossíntese e transpiração de água pelas plantas. Desta forma, a qualidade fisiológica das sementes produzidas nesta condição também pode ser afetada, pois a redução da fotossíntese reduz a distribuição de fotoassimilados importantes para a formação de sementes vigorosas.

Para o comprimento de parte aérea e raiz na cultivar IRGA 417, o 35AN foi o que resultou em menor comprimento tanto de parte aérea quanto de raiz em relação aos demais (Tabela 14). Já para a cultivar BRS Bojuru foi verificado que em ambas variáveis não constatou-se diferença entre os períodos de estresse. A cultivar IRGA 417 foi superior a BRS Bojuru no comprimento de parte de aérea em todos os períodos de estresse. Já no comprimento de raiz, a cultivar IRGA 417 foi superior no controle (C) e ANM, enquanto que a BRS Bojuru foi superior no 35AN. No entanto, essas diferenças entre as cultivares pode estar mais relacionado a genética da cultivar do que o efeito da salinidade.

Tabela 14. Comprimento da parte aérea (CPA) e de raiz (CR) de plântulas de arroz oriundas de sementes das cultivares IRGA 417 e BRS Bojuru, submetidas a diferentes períodos de estresse salino. Pelotas-RS, Brasil, 2015.

Estresse	CPA (cm)		CR (cm)	
	IRGA 417	BRS Bojuru	IRGA 417	BRS Bojuru
C**	5,69 a*	3,03 a	12,72 a*	9,97 a
EM	5,84 a*	3,31 a	12,20 a	11,35 a
EAN	5,89 a*	3,43 a	11,96 a	12,24 a
E35	6,02 a*	3,31 a	13,41 a	11,43 a
35AN	4,50 b*	3,20 a	6,26 b	11,04 a*
ANM	5,82 a*	2,80 a	13,19 a*	10,15 a
Média	5,63	3,18	11,62	11,03

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna, dentro de cada variável, não diferem entre si pelo teste de tukey ($p \leq 0,05$). Média seguida de *, dentro de cada variável, diferem entre si na linha pelo teste de tukey ($p \leq 0,05$).

**C- Sem estresse (controle); EM- da emergência (E) até a maturidade (M); EAN- da emergência até a antese (AN); E35- da emergência até 35 dias após a emergência; 35AN- dos 35 dias após a emergência até a antese; e ANM- da antese até a maturidade.

Cabe ressaltar, para as características agronômicas e a qualidade fisiológica das sementes produzidas na safra 2013/14 que, o estresse causado na fase entre a emergência e a antese e próximo a antese afetou negativamente as variáveis que conferem estas características. A cultivar BRS Bojuru mostrou melhores resultados para as características agronômicas, porém, apresentou baixa qualidade das sementes produzidas, constatados pelos testes de vigor avaliados. Considerando a safra 2014/15, no geral, a cultivar IRGA 417 apresentou melhor desempenho fisiológico, entretanto, para as características agronômicas a BRS Bojuru mostrou-se mais tolerante ao estresse salino. De acordo com Morales et al. (2001), nem todas as estruturas da planta são igualmente afetadas pela salinidade, bem como, a adaptação ao estresse salino que varia entre espécies, entre genótipos e podendo variar entre estádios fenológicos. Desta forma, os efeitos da salinidade são manifestados na redução das taxas de germinação e de crescimento, diminuição do rendimento, e, em certos casos, quando o estresse é mais severo, pode causar a morte generalizada das plantas (BERNARDO et al., 2005). Ainda segundo, Vieira et al. (1994) e Marcos Filho (2015), a qualidade fisiológica das sementes é mais influenciada pelas condições ambientais prevaletentes durante a fase de maturação e colheita do que pelas características da própria cultivar.

3.3.3 Atividade Enzimática

A análise de variância da resposta antioxidante obtidas nas plântulas oriundas das sementes produzidas na safra 2014/15, em condição de estresse salino demonstrou que os fatores testados apresentaram efeito de interação nas cinco variáveis analisadas (Tabela 15). Este resultado demonstra que a atividade das enzimas antioxidantes foi influenciada pelo fator estresse e que as cultivares diferem dentro de cada período de estresse.

Tabela 15. Resumo da ANOVA empregando-se o delineamento em parcelas subdivididas para peroxidação de lipídeos, conteúdo de peróxido de hidrogênio e atividade específica das enzimas superóxido dismutase (SOD), ascorbato peroxidase (APX) e catalase (CAT) de plântulas oriundas das cultivares IRGA 417 e BRS Bojuru, submetidas a diferentes períodos de estresse salino.

FV	GL	PEROXIDAÇÃO	PERÓXIDO	SOD	APX	CAT
Estresse (E)	5	NS	**	NS	NS	NS
Blocos (B)	3	NS	NS	NS	NS	NS
Resíduo a (Ra)	15					
Parcela	23					
Cultivar (C)	1	***	***	***	**	*
E*C	5	***	*	*	***	**
Resíduo b (Rb)	18					
C.V Ra (%)		16,71	21,17	15,29	18,91	16,39
C.V Rb (%)		13,76	25,26	13,66	16,34	14,87

(.) Significativo a 0,05% de probabilidade pelo teste F.

* Significativo a 0,01% de probabilidade pelo teste F.

** Significativo a 0,001% de probabilidade pelo teste F.

*** Significativo a 0 % de probabilidade pelo teste F.

NS, não significativo.

A SOD é a primeira enzima a atuar no sistema de defesa antioxidante, realizando a dismutação do radical $O_2^{\cdot-}$ a H_2O_2 em cloroplastos, mitocôndrias, citosol e peroxissomos. Desta forma, o aumento em sua atividade caracteriza um modo de sinalização do processo de estresse oxidativo, indicando que o estresse em que as sementes foram produzidas acarretou em danos nas membranas celulares resultando em aumento de radicais $O_2^{\cdot-}$ nas plântulas, assim, para a sua eliminação ser eficiente, exige-se um aumento da atividade da SOD, através de sua maior síntese nas células (SIMONOVICOVÁ et al., 2004). Ao analisar a atividade da SOD em plântulas da cultivar IRGA 417 (Figura 3 A) observa-se um aumento da SOD nas alíquotas oriundas de plântulas oriundas de sementes produzidas sob estresse de 35AN, EM, EAN, E35 e ANM. Em relação a BRS Bojuru, não foi observado efeito significativo dos períodos de estresse sobre a SOD.

Ao verificar o padrão entre as cultivares, constatou-se que em todos os períodos de estresse a atividade da SOD foi mais alta para a IRGA 417. Quando as enzimas antioxidantes não atuam de forma eficiente na eliminação das EROs geradas, a peroxidação de lipídeos se torna mais evidente, sendo este o principal sintoma atribuído ao dano oxidativo, frequentemente utilizada como um indicador de dano às membranas celulares (HERNÁNDEZ et al., 2000). Na literatura tem sido reportado que o estresse salino induz aumentos na atividade da SOD, e isso tem sido frequentemente correlacionado com tolerância a salinidade (MARTINEZ et al., 2001; SUDHAKAR et al., 2001).

Em trabalho realizado com plantas de arroz expostas a salinidade, foi verificado por Dionisio-Sese; Tobita, (1998) que a cultivar tolerante apresentou um pequeno aumento na atividade da SOD e que a cultivar sensível mostrou uma significativa redução na atividade desta enzima. Porém, no presente trabalho não foi constatada a mesma resposta, sendo que para a cultivar tolerante (BRS Bojuru) não foi observado efeito dos períodos de estresse sobre a atividade da SOD, diferentemente da cultivar sensível (IRGA 417) que apresentou efeito significativo.

O H_2O_2 é um subproduto tóxico do metabolismo oxidativo gerado pela atividade da SOD, podendo facilmente permear através das membranas, devendo ser detoxificado (MELONI et al., 2003). A APX e a CAT são as duas enzimas mais importantes dentre os componentes de desintoxicação do H_2O_2 (BHATT; TRIPATHI, 2011) e pertencem a duas diferentes classes de enzimas de limpeza, sendo a APX responsável pela modulação refinada das EROs para a sinalização e a CAT responsável pela remoção do excesso de EROs gerado durante o estresse (MITTLER, 2002). Desta forma, a atividade da APX foi alta nas plântulas oriundas da IRGA 417 sob os estresses em EAN e ANM, enquanto que para CAT não foi observado diferença entre os períodos de estresse (Figura 3B e 3C). Nas plântulas da cultivar BRS Bojuru a maior atividade da APX foi verificada no EM, C e E35. Quanto a atividade da CAT, observou-se a mesma tendência da APX, onde a maior atividade também foi observada no EM, E35, 35AN e ANM.

As atividades das enzimas APX e CAT nas plântulas da cultivar IRGA 417 e BRS Bojuru, variaram entre os períodos de estresse. Diferenças entre a atividade da APX e CAT pode ser justificada pela sua afinidade ao substrato, onde a APX tem maior afinidade pelo H_2O_2 quando comparada a CAT (GRAHAM; PATTERSON, 1982).

De acordo com Zhang e Kirkham (1996), a capacidade de manutenção, em níveis elevados, da atividade da SOD, APX e CAT, sob condições de estresses ambientais, é essencial para a manutenção do equilíbrio entre a formação e a remoção do H_2O_2 do ambiente intracelular. A relação entre redução na atividade das enzimas antioxidantes e consequente maior peroxidação foi observada por Panda e Khan (2009) em *Vigna radiata* sob estresse salino. Já neste estudo, foi observado aumento da atividade antioxidante, mesmo com uma maior peroxidação lipídica, o que demonstra um equilíbrio entre a formação e a remoção do H_2O_2 .

Os danos causados às membranas celulares das plântulas oriundas de sementes produzidas sob estresse salino, devido à peroxidação dos lipídeos, são representados pelo aumento dos níveis de malondialdeído (MDA) (Figura 3D). Os resultados mostram que para as plântulas da cultivar IRGA 417, o dano pela peroxidação de lipídeos foi maior na E35, 35AN e ANM, mesmo não diferindo do controle (Figura 3D). Da mesma forma, o conteúdo de peróxido (Figura 3E) foi maior nestes mesmos períodos de estresse. Já as plântulas da cultivar BRS Bojuru apresentaram aumento na peroxidação de lipídeos no C e na E35, não diferindo do EM, EAN e 35AN. Para o conteúdo de peróxido nas plântulas da cultivar BRS Bojuru, não foi observado diferença entre os períodos de estresse.

Ao comparar as duas cultivares em relação a peroxidação de lipídeos, a cultivar BRS Bojuru, no geral, apresentou maior nível de MDA, ou seja, caracteriza maior dano oxidativo nas membranas celulares, o que representa ter uma maior necessidade de reparo das membranas. No entanto, foi mais eficiente em reduzir os níveis de peróxido nas suas células, resultado observado pela figura 3E, demonstrando que mesmo sendo alto o nível de peroxidação as enzimas foram eficientes na eliminação de EROs na célula.

A atividade das enzimas antioxidantes, geralmente, é o primeiro mecanismo de resposta contra os estresses ambientais, além disso, o nível da atividade destas enzimas é importante na avaliação de mecanismos de tolerância frente a estresses (ÇELİK; ATAĞ, 2012). Segundo Deuner et al. (2011) com o aumento do estresse, a formação de EROs é intensificada e sua eliminação deve ocorrer de forma rápida e constante para evitar o estresse oxidativo, assim, a ação sincronizada das enzimas responsáveis pela remoção das EROs confere maior tolerância as plantas sob condição de estresse.

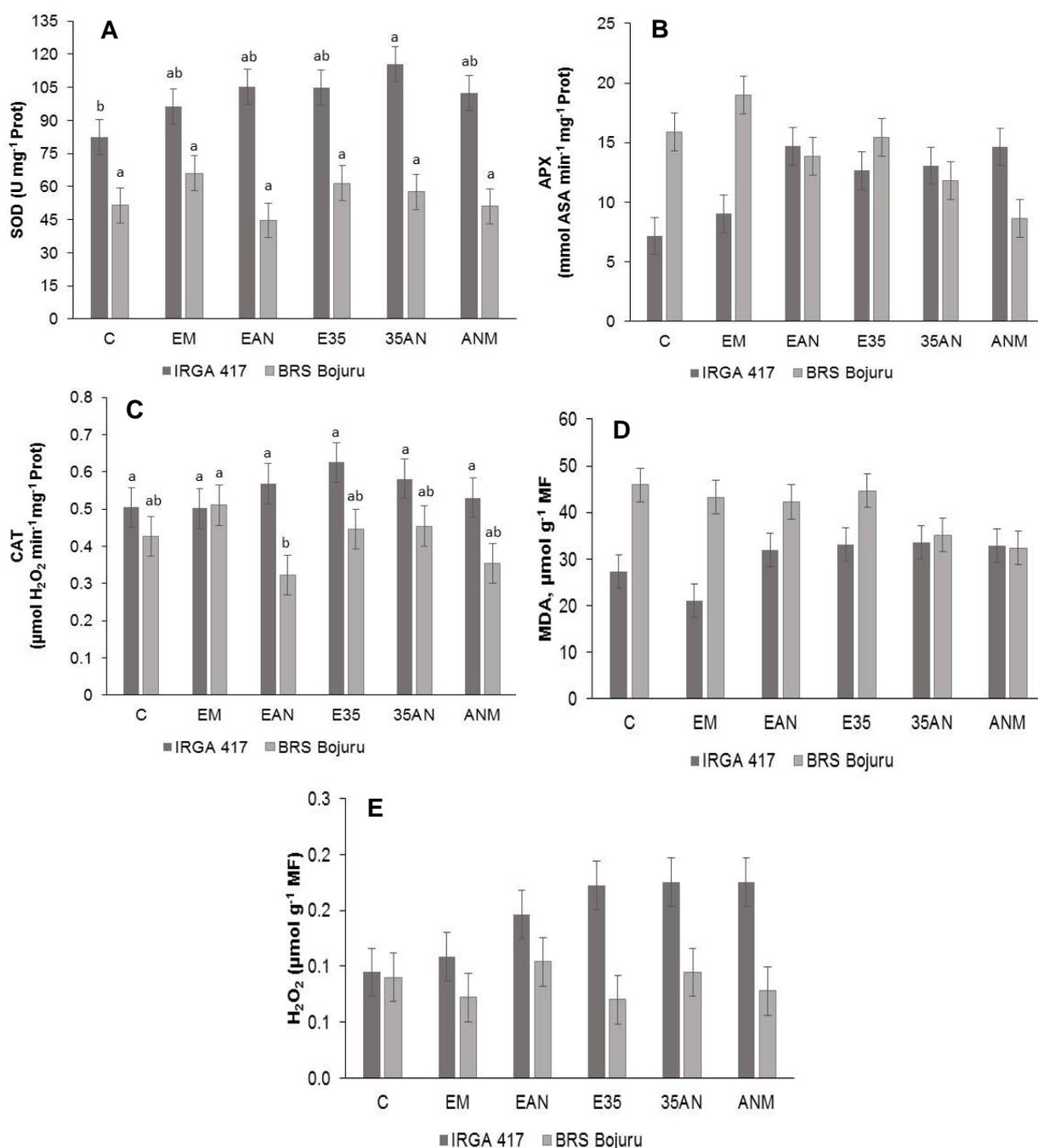


Figura 3. Atividade específica das enzimas superóxido dismutase- SOD (A), ascorbato peroxidase- APX (B), catalase- CAT (C) e peroxidação de lipídeos (D), conteúdo peróxido de hidrogênio (E) de plântulas oriundas das cultivares IRGA 417 e BRS Bojuru, submetidas a diferentes períodos de estresse salino. *Médias seguidas pela mesma letra minúscula (entre períodos de estresse) e barras de erro pela DMS (entre cultivares) em cada período, não diferem entre si pelo teste de tukey ($p \leq 0,05$). **C- Sem estresse (controle); EM- da emergência (E) até a maturidade (M); EAN- da emergência até a antese (AN); E35- da emergência até 35 dias após a emergência; 35AN- dos 35 dias após a emergência até a antese; e ANM- da antese até a maturidade.

Diversos trabalhos têm demonstrado o papel dos mecanismos antioxidantes enzimáticos na proteção contra o estresse oxidativo secundário induzido pela

salinidade (CAVALCANTI et al., 2007; DEUNER et al., 2011; MAIA et al., 2012; MOHARRAMNEJAD; VALIZADEH, 2014). É importante ressaltar que a maioria dos trabalhos que buscam a análise da atividade do sistema antioxidante são realizados diretamente sobre a semente, plântula ou parte da planta em condição de estresse, ao contrário deste trabalho em que a avaliação foi realizada sobre as sementes produzidas de plantas cultivadas sob estresse salino, necessitando de uma continuidade de estudos nesse âmbito.

De maneira geral, os resultados da resposta do sistema antioxidante das plântulas de ambas cultivares, mostram que apesar de ter sido verificado aumento na peroxidação de lipídeos durante os períodos analisados, ambas as cultivares apresentaram mecanismos eficientes para a reestruturação da camada fosfolipídica das membranas e/ou para a remoção das EROs produzidas, uma vez que ao avaliar a qualidade fisiológica das sementes produzidas sob condição de estresse salino não foi observado redução acentuada da viabilidade e do vigor das sementes das cultivares IRGA 417 e BRS Bojuru.

3.4 Conclusões

A salinidade apresenta efeito negativo sobre as características agronômicas e a qualidade fisiológica das sementes produzidas das cultivares BRS Bojuru e IRGA 417.

As características agronômicas e a qualidade fisiológica das sementes de ambas cultivares são afetadas pelos períodos de estresse causados durante todo ciclo da cultura (EM), durante o período da emergência até a antese (EAN) e dos 35 dias após a emergência até a antese (35AN).

A cultivar BRS Bojuru apresenta melhor desempenho frente ao estresse salino para as características agronômicas.

As sementes produzidas da cultivar BRS Bojuru apresentam menor qualidade fisiológica que a cultivar IRGA 417 nas mesmas condições de cultivo.

Plântulas oriundas de sementes produzidas em condição de estresse apresentam um aumento na peroxidação de lipídeos e uma redução no conteúdo de peróxido devido a alta atividade da SOD, APX e CAT.

4 CAPITULO II – Salinidade: Reflexos no acúmulo de sódio e de macronutrientes na parte aérea de plantas de arroz

4.1 Introdução

Um dos principais entraves para o setor agrícola na atualidade é o processo de salinização em solos agricultáveis, a qual atinge cerca de 25 % da área irrigada do Brasil (GHEYI et al., 2010), sendo a maior área afetada na região Nordeste do país. No estado do Rio Grande Do Sul, que responde por 78 % da produção nacional de arroz, apresenta cerca de 200 mil ha⁻¹ que estão sujeitos a problemas de salinidade em níveis variados (MACHADO; TERRES 1995). O uso de água de baixa qualidade para irrigação (com alta concentração de sais) e o manejo inadequado da irrigação e dos fertilizantes utilizados na atividade agrícola são um dos principais responsáveis pelo aumento da quantidade de solos degradados com este problema (D'ALMEIDA et al., 2005; EPSTEIN; BLOOM, 2006).

O excesso de sais solúveis na solução do solo é decorrência de uma combinação de fatores: climáticos (baixo índice pluviométrico e elevada taxa de evapotranspiração), edáficos (baixa capacidade de lixiviação dos sais e presença de camadas impermeáveis) e de manejo do solo (irrigação com águas salinizadas, uso excessivo de agroquímicos, etc.) (GHAFOR et al., 2004; QADIR; OSTER, 2004; RIBEIRO, 2010). Esses fatores combinados contribuem para a redução da produtividade das culturas, constituindo um problema de abrangência socioeconômica (GHEYI, 2000; RHOADES et al., 2000; MUNNS, 2002).

A salinidade além de trazer prejuízos às propriedades físicas e químicas do solo provoca a redução generalizada do crescimento das plantas cultivadas, acarretando sérios prejuízos à atividade agrícola (CAVALCANTE et al., 2010). Ainda nesse contexto, o excesso de íons como Na⁺ e Cl⁻, ainda proporcionam desbalanços nutricionais, interferindo na absorção de elementos essenciais à planta (PARIDA; DAS, 2005), além de haver alterações estruturais na membrana e inibição da atividade

de várias enzimas que participam do transporte e assimilação desses nutrientes (MANSOUR; SALAMA, 2004).

A alta concentração de sais influencia a absorção dos nutrientes, uma vez que o mecanismo de contato íon-raiz ocorre em solução aquosa (fluxo em massa) e, assim, interferindo na absorção, principalmente, de nitrogênio (N), enxofre (S), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) (PRADO, 2008), efeito semelhante pode ser observado em solos compactados (NOVAIS; MELLO, 2007).

Alguns trabalhos têm evidenciado que o menor crescimento das plantas, devido à salinidade, pode ser atribuído a redução na absorção de alguns dos principais nutrientes, estando o cálcio (Ca) e o potássio (K) entre os que mais tem registros na literatura (RENGEL, 1992; LACERDA, 2000). Redução na concentração de K, sob estresse salino, é um complicador adicional para o crescimento das plantas visto que, em algumas situações, esse elemento é o principal nutriente a contribuir para o decréscimo do potencial osmótico, uma estratégia necessária à absorção de água nessas circunstâncias (JESCHKE et al., 1986; MARSCHNER, 1995). Em relação ao cálcio, tem sido demonstrado que o aumento da salinidade pode induzir deficiência desse nutriente (LACERDA, 2000; HO; ADAMS, 1994). Quando há saturação no solo por teores apreciáveis de carbonato de sódio, o pH do solo pode alcançar valores elevados e, nesse caso, há a diminuição da disponibilidade de zinco, cobre, manganês, ferro e boro, podendo ocorrer deficiência nas plantas cultivadas, principalmente em pequenas quantidades.

O limite de tolerância entre as espécies vegetais depende da concentração de sais em solução, do tempo de exposição, bem como do estágio de desenvolvimento das plantas (CARMONA et al., 2011). Embora exista variabilidade genética para tolerância à salinidade (BEN AMOR et al., 2005; PARIDA; DAS, 2005), ainda são pouco conhecidos os mecanismos bioquímicos e fisiológicos que contribuem para essa tolerância (MANSOUR et al., 2003). O principal mecanismo, comumente citado, para tolerância à salinidade tem sido a capacidade das plantas em acumular íons no vacúolo e, ou, solutos orgânicos de baixo peso molecular no citoplasma, em um processo denominado de ajustamento osmótico, que pode permitir a manutenção da absorção de água e da turgescência celular (TAIZ et al., 2017). Outro mecanismo de tolerância pode estar relacionado a diferenças na absorção, transferência e, ou, acumulação de íons Na^+ e Cl^- . Variedades tolerantes tendem a apresentar maiores

taxas de transferência de K e apenas leve redução na transferência de Ca para a parte aérea, visando manter uma relação positiva entre esses nutrientes e os íons Na^+ e Cl^- (NIU et al., 1995).

Portanto, torna-se necessário todo e qualquer estudo que avalie os reais efeitos do excesso de sais presentes no solo, provenientes da água da irrigação, sobre a cultura do arroz em cada fase do seu desenvolvimento e associando com o balanço nutricional das plantas. Assim, objetivou-se avaliar o acúmulo de sódio e macronutrientes da parte aérea das plantas de duas cultivares de arroz em função do efeito do estresse salino em diferentes fases do desenvolvimento da cultura.

4.2 Material e Métodos

O trabalho foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Fitotecnia e no Laboratório de Química e Fertilidade dos Solos do Departamento de Solos, ambos pertencentes a Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel” da Universidade Federal de Pelotas (FAEM/UFPeL), no Município do Capão do Leão, RS, na safra agrícola 2014/15. Foram utilizadas sementes das cultivares: 1) IRGA 417 - ciclo médio, suscetível a salinidade; 2) BRS Bojuru - ciclo médio, tolerante a salinidade.

A semeadura foi realizada em vasos de alumínio, preenchidos com 12 litros de solo peneirado, coletado do horizonte A1 de um PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico solódico (STRECK et al., 2008), pertencente à unidade de mapeamento Pelotas. O estresse salino foi obtido pela irrigação com solução de cloreto de sódio (NaCl) na concentração de 12 mM.

A adubação foi realizada de acordo com os resultados da análise de solo e recomendações da Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC (2004), onde foi utilizado como adubação de base a ureia, superfosfato simples e cloreto de potássio como fonte de nitrogênio, fósforo e potássio, respectivamente, com aplicação 14 dias antes da semeadura. A calagem foi realizada trinta dias antes da semeadura. Foram semeadas 15 sementes por unidade experimental, onde, após a emergência (10 dias), foi realizado um desbaste deixando apenas 3 plantas por vaso, as quais permaneceram até a colheita das sementes.

Durante o crescimento e desenvolvimento das plantas foi realizado aplicações do fungicida Nativo[®] (trifloxistrobina + tebuconazole) na dose recomendada de 750 mL ha⁻¹ e do inseticida Engeo Pleno[®] (Thiametoxam + Lambda Cialotrina) na dose

recomendada de 200 mL ha⁻¹, de maneira preventiva, sendo realizada uma aplicação no início do florescimento e uma no enchimento de grãos.

Os vasos ficaram espaçados 0,2 metro um do outro e, após a semeadura, a irrigação foi realizada diariamente no período da manhã, mantendo-se o solo próximo à capacidade de campo até o estabelecimento definitivo da lâmina de água, realizado aos 30 dias após a emergência, procurando-se manter uma lâmina de água em torno de 10 cm, conduzindo desta forma o experimento até a colheita do tecido vegetal.

O tecido vegetal para análise do teor de sódio (Na) e macronutrientes (N, P, K, Ca e Mg) foi coletado de perfilhos aleatórios da parte aérea das plantas, quando estas estavam no estágio R9. O material vegetal foi acondicionado em sacos de papel e mantido em estufa com circulação a 60 °C por 72 hs. Posterior a secagem, o material foi triturado e na sequência realizadas as análises químicas de acordo com Tedesco et al. (1995). Também foram calculadas as relações iônicas entre Na⁺/K⁺, Na⁺/Ca²⁺ e Na⁺/Mg²⁺.

4.2.1 Delineamento Experimental e Procedimento estatístico

O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados com esquema de parcelas subdivididas, sendo a parcela composta por diferentes estádios de desenvolvimento do arroz (C- Sem estresse (controle); EM- da emergência (E) até a maturidade (M); EAN- da emergência até a antese (AN); E35- da emergência até 35 dias após a emergência; 35AN- dos 35 dias após a emergência até a antese; e ANM- da antese até a maturidade) e a subparcela constituída das cultivares de arroz (IRGA 417 e BRS Bojuru) com quatro repetições. Os dados do experimento foram submetidos à ANOVA e havendo significância foi realizado comparação de médias através do teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

4.3 Resultados e Discussão

Através dos resultados da análise de variância constatou-se que o fator estresse, cultivar e a interação entre eles tiveram efeito significativo para os teores de nitrogênio, potássio e sódio (Tabela 16). Desta forma, inferiu-se que a absorção destes nutrientes é influenciada pelos diferentes períodos de salinidade e que as cultivares respondem de forma distinta para cada período de estresse. Já para os

demais nutrientes (fósforo, cálcio e magnésio), foi observado apenas efeito principal do fator estresse e cultivar. Isso demonstra, que o acúmulo dos nutrientes varia em função da fase de desenvolvimento da cultura na qual foi causado o estresse, e que o acúmulo de nutrientes depende do genótipo independente do estresse.

Tabela 16. Análise de variância de macronutrientes e sódio de plantas de arroz das cultivares BRS Bojuru e IRGA 417, submetidas a diferentes períodos de estresse salino.

FV	GL	N	P	K	Ca	Mg	Na
Estresse (E)	5	***	**	*	***	NS	***
Blocos (B)	3	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Resíduo a (Ra)	15						
Parcela	23						
Cultivar (C)	1	***	***	***	***	***	***
E*C	5	***	NS	***	NS	NS	*
Resíduo b (Rb)	18						
C.V Ra (%)		13,36	12,69	15,04	5,73	10,14	15,25
C.V Rb (%)		10,18	17,64	8,99	8,87	9,27	9,95

(.) Significativo a 0,05% de probabilidade pelo teste F.

* Significativo a 0,01% de probabilidade pelo teste F.

** Significativo a 0,001% de probabilidade pelo teste F.

*** Significativo a 0 % de probabilidade pelo teste F.

NS, não significativo.

Na análise do teor dos macronutrientes fósforo (P), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) constatou-se que a cultivar IRGA 417, quando comparado com a cultivar BRS Bojuru, apresentou maior acúmulo ao final do desenvolvimento da cultura, independente do estresse salino (Figura 4). Este maior acúmulo de nutrientes obtido nas plantas da cultivar IRGA 417, apesar de ser considerada uma cultivar suscetível a salinidade, pode ter contribuído para uma adaptação desta cultivar frente ao estresse.

No entanto, ao analisar o efeito dos períodos de estresse sobre o teor destes nutrientes (Figura 4), verificou-se que o P apresentou menor acúmulo nas plantas quando as mesmas passaram pelo estresse durante os primeiros 35 dias após emergência (E35), juntamente com períodos C, 35AN e ANM. O fósforo é um componente de compostos importantes das células vegetais, incluindo fosfato-açúcares, intermediários da respiração e fotossíntese, bem como os fosfolípidos que compõem as membranas celulares. Além disso, também é um componente de nucleotídeos utilizados no metabolismo energético das plantas (como ATP) e no DNA e RNA (TAIZ et al., 2017). A redução na necessidade energética e nos agentes

redutores em plantas sob estresse, devido a uma taxa fotossintética reduzida, pode ter contribuído para um menor acúmulo de fósforo nas folhas (LUCENA et al., 2012).

Ao observar o acúmulo de Ca na parte aérea das plantas, os níveis de estresse C, EM, E35, 35AN e ANM foram inferiores ao EAN. O menor desenvolvimento vegetal ocasionado pela salinidade, geralmente tem sido atribuído à redução na absorção de nutrientes, principalmente o K e o Ca (FARIAS, 2008; SCHOSSLER et al., 2012). No entanto, não foi observado esse mesmo comportamento nos resultados obtidos para o teor de Ca neste trabalho. O acúmulo de Ca pode contribuir na tolerância ao estresse salino, devido ao seu papel essencial na integridade da membrana plasmática das células vegetais, haja vista a importância da seletividade da membrana nos processos de absorção e compartimentação iônica (AZEVEDO NETO; TABOSA, 2000; EPSTEIN; BLOOM, 2006). Diversos trabalhos têm demonstrado que a salinidade pode induzir deficiência de cálcio em plantas de milho (AZEVEDO NETO; TABOSA, 2000; FERREIRA et al., 2005), arroz (CARMONA et al., 2009), gliricídia (FARIAS et al., 2009), mangueira (LUCENA et al., 2012) e sorgo (COELHO, 2013).

Já para o teor de magnésio (Figura 4), não foi observado diferença significativas entre os períodos de estresse. Resultados encontrados na literatura sobre as concentrações deste nutriente em plantas cultivadas sob estresse salino são controversos. Azevedo Neto e Tabosa (2000), trabalhando com dois genótipos de milho cultivados em solução nutritiva com diferentes níveis de cloreto de sódio, verificaram que as concentrações de magnésio diminuíram na raiz e permaneceram constantes na bainha e no limbo. Da mesma forma, trabalhos com sorgo têm demonstrado que as concentrações de magnésio podem se manter constantes na parte aérea das plantas (AZEVEDO NETO et al., 1995) ou reduzir nas diferentes partes das plantas com o incremento do estresse salino (KAWASAKI et al., 1983). Apesar da importância do magnésio, este íon além de fazer parte da molécula de clorofila também desempenha papel na ativação de enzimas envolvidas na respiração e fotossíntese. Além disso, auxilia efetivamente para a estabilidade estrutural dos ácidos nucleicos e membranas (TAIZ et al., 2017). Diante do resultado obtido para este íon, o qual não teve o acúmulo influenciado pela salinidade, demonstra que o mesmo teve seu papel durante o estresse.

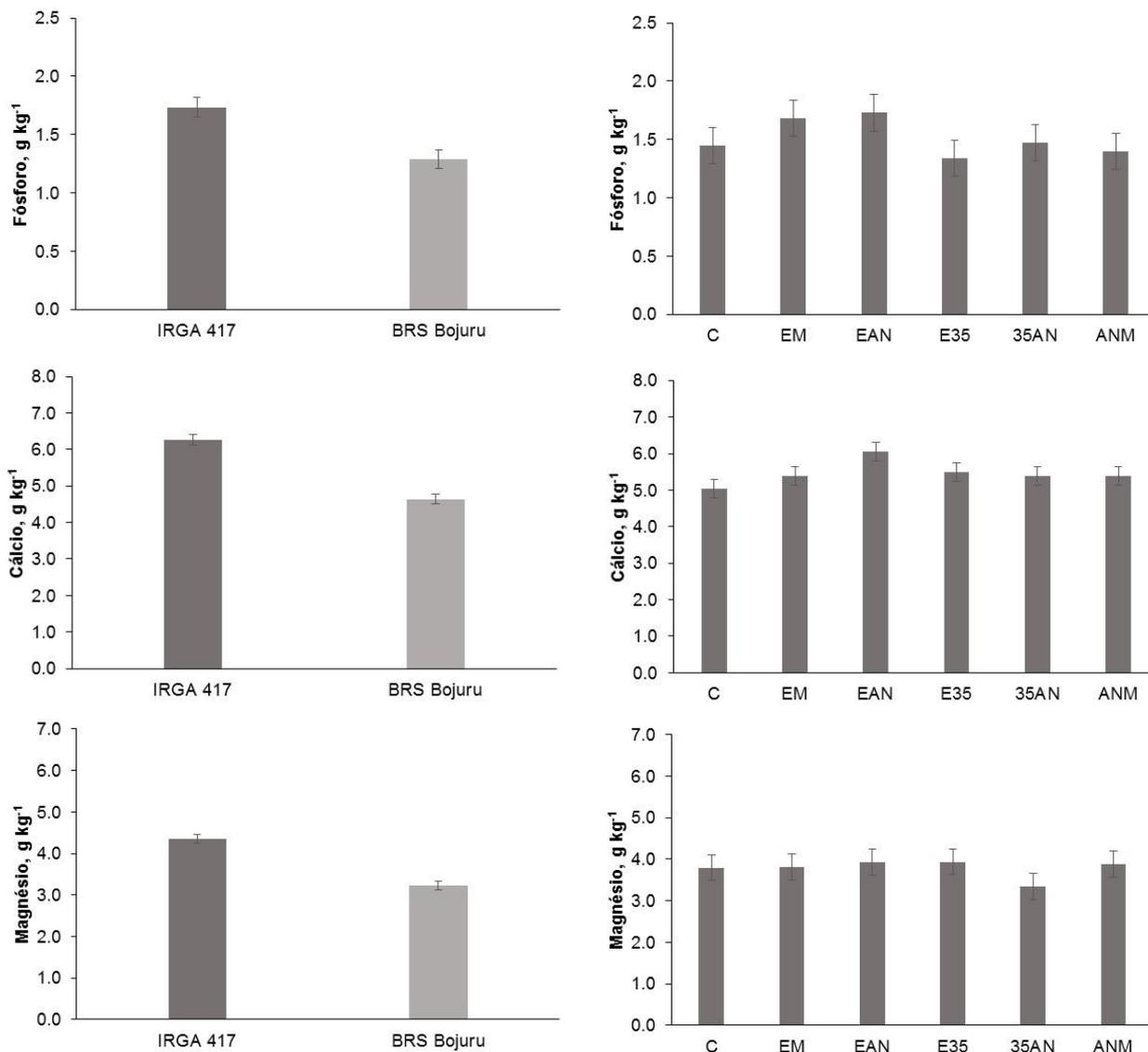


Figura 4. Acúmulo médio de fósforo, cálcio e magnésio na parte aérea de plantas de arroz das cultivares IRGA 417 e BRS Bojuru, cultivadas sob diferentes períodos de estresse. Barras de erro representam a DMS a nível de significância de $p \leq 0,05$ pelo teste de tukey. **C- Sem estresse (controle); EM- da emergência (E) até a maturidade (M); EAN- da emergência até a antese (AN); E35- da emergência até 35 dias após a emergência; 35AN- dos 35 dias após a emergência até a antese; e ANM- da antese até a maturidade.

Em relação ao teor de nitrogênio (Figura 5A), observou-se diferença no acúmulo deste nutriente após as plantas serem submetidas aos diferentes períodos de estresse. Para a cultivar IRGA 417, o maior acúmulo foi obtido no EM e EAN, que correspondem ao estresse durante todo o ciclo da cultura e durante o período que compreende a emergência e a antese, respectivamente. Da mesma forma, constatou-se diferença no acúmulo de N na parte aérea de plantas de arroz da cultivar BRS Bojuru, porém, este foi obtido no período de EAN, E35 e 35AN. Discordando de Marschner (1995), o qual verificou que a presença do íon Cl^- em solução pode reduzir

a absorção de N, principalmente quando fornecido na forma nítrica, efeito denominado antagonismo. Farias et al. (2009) trabalhando com plantas de gliricídia, inferiram que o a redução do acúmulo de nutrientes correlaciona-se com a interferência da salinidade sobre a produção de massa seca das plantas, sendo a principal causa nos decréscimos de N.

No entanto, embora não se tenha analisado o teor de cloro na parte aérea das plantas, esse maior acúmulo de N em alguns períodos de estresse, em ambas cultivares, talvez esteja associado a mecanismos competitivos uma vez que pode estar ligado a uma tentativa de exclusão do íon Cl^{-1} das folhas. Confrontando as cultivares, verificou-se superioridade da cultivar IRGA 417 no C, EM, EAN, 35AN e ANM, sendo a maior diferença de acúmulo de N entre a IRGA 417 e BRS Bojuru obtida nas plantas que passaram por estresse durante todo o ciclo da cultura ($8,01 \text{ g kg}^{-1}$).

Ainda na parte aérea das plantas de arroz, observou-se redução no acúmulo de potássio no tecido vegetal da parte aérea da cultivar IRGA 417 quando estas foram submetidas ao estresse durante todo o ciclo da cultura (EM) (Figura 5B). Os distúrbios metabólicos gerados pelo excesso de Na na célula são, em parte, resultantes da competição com o K pelos sítios ativos das enzimas (BLUMWALD et al., 2000) e ribossomos (TESTER; DAVENPORT, 2003). O resultado obtido com estas plantas expostas durante todo o ciclo à salinidade (EM), corrobora com os autores acima anteriormente, uma vez que a planta acumulou mais Na (Figura 5C) nos tecidos, provavelmente pela competição dos mesmos sítios de ligação do potássio. Da mesma forma, Carmona et al. (2009) trabalhando com plantas de arroz da cultivar IRGA 417, sabidamente suscetível a salinidade, verificaram que apesar do teor de K nas plantas não tenha sido afetado, estas apresentaram redução da absorção de K em condição de salinidade no solo.

Ademais, tem sido sugerido na literatura que, em plantas submetidas ao estresse salino, a menor absorção de Ca pode permitir que o Na seja incorporado a estrutura da membrana plasmática, reduzindo sua seletividade e, ou facilitando o fluxo de íons, principalmente o K^{+} (MARSCHNER, 1995). No entanto, a concentração de Ca observado na parte aérea das plantas de arroz (Figura 1), no geral, não foi alterada pela salinidade, o que é possível sugerir que a menor absorção de K esteja relacionada a uma competição direta entre os íons Na^{+} e K^{+} pelos sítios de ligação na membrana plasmática.

Em relação a BRS Bojuru, não foi observado diferença entre os períodos de estresse (Figura 5B). Essa resposta demonstra que a cultivar BRS Bojuru apresenta um padrão de acúmulo de potássio apesar de ter alta concentração de Na nos tecidos (Figura 5C). Isso pode ser uma forma de adaptação das plantas a condição de estresse, visto que o potássio desempenha um importante papel na regulação do potencial osmótico das células vegetais e também ativa muitas enzimas envolvidas na respiração e na fotossíntese (TAIZ et al., 2017). A relação entre os íons K^+ e Na^+ é um indicador de tolerância à salinidade, pois reúne duas características desejáveis alta absorção de K, necessária para os processos metabólicos e o ajuste osmótico, e a absorção de Na, como indicador do nível de estresse (GARCIA et al., 1997).

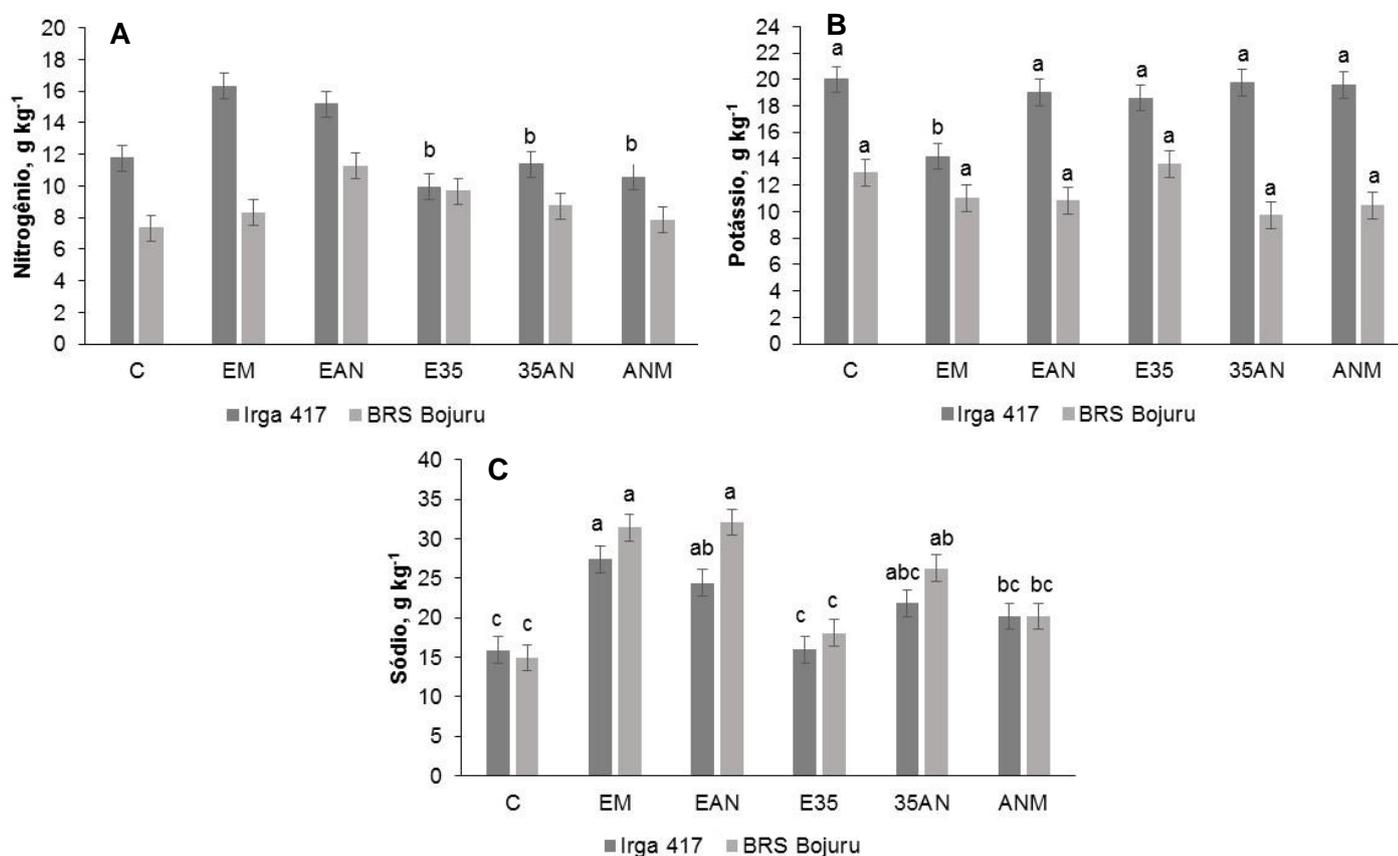


Figura 5. Acúmulo de nitrogênio (A), potássio (B) e sódio (C) em plantas de arroz das cultivares IRGA 417 e BRS Bojuru, cultivadas sob diferentes períodos de estresse. *Médias seguidas pela mesma letra minúscula (entre períodos de estresse) e barras de erro pela DMS (entre cultivares) em cada período, não diferem entre si pelo teste de tukey ($p \leq 0,05$); **C- Sem estresse (controle); EM- da emergência (E) até a maturidade (M); EAN- da emergência até a antese (AN); E35- da emergência até 35 dias após a emergência; 35AN- dos 35 dias após a emergência até a antese; e ANM- da antese até a maturidade.

A parte aérea das plantas é mais vulnerável ao Na^+ e Cl^- do que a parte radicular, isso ocorre porque ambos são transportados pela corrente transpiratória no xilema e

se acumulam nas folhas quando a água é transpirada (WILLADINO; CAMARA, 2010). As raízes por sua vez, tendem a manter constante os níveis de Na^+ e Cl^- ao longo do tempo de exposição, por meio da exportação desses íons para o solo ou parte aérea. Apesar de não ter sido realizado a análise de nutrientes acumulados em raízes, quando se trata da parte aérea, foi verificado que em relação ao sódio acumulado nas duas cultivares de arroz utilizada no estudo (Figura 5C), obteve-se variação em função dos períodos de estresse, sendo o maior acúmulo de Na obtido nos períodos de estresse EM, EAN e 35AN. O acúmulo de Na na parte aérea foi mais acentuado para a BRS Bojuru nos períodos de EM, EAN e 35AN quando em comparação com a IRGA 417, já para os demais períodos de estresse não foi observado diferença entre as cultivares. Vale ressaltar que para ambas as cultivares o período de estresse que ocorre durante os primeiros 35 dias após a emergência (35AN) resultou em baixo acúmulo de sódio nos tecidos, o que não interferiu para que a planta absorvesse adequadamente os demais nutrientes.

Ainda ao observar os resultados da figura 5C, de modo geral, estas plantas acumularam mais sódio que as plantas do controle (C), isso corrobora com Tester e Davenport (2003), os quais afirmaram que plantas submetidas ao estresse salino tendem a acumular mais sódio na parte aérea, pois o transporte do íon Na^+ é prioritariamente unidirecional, o que resulta em progressivo acúmulo à medida que as folhas envelhecem.

Uma das estratégias utilizadas pelas plantas é a extrusão do Na para a solução do solo retirando o cátion da planta e a expulsão do Na de alguns tecidos, especialmente o xilema, como forma de evitar o acúmulo do cátion no limbo foliar, minimizando os efeitos deletérios da salinidade sobre o metabolismo foliar, em especial sobre o processo fotossintético (MUNNS et al., 2002). Outra estratégia é a adaptação das plantas aos elevados níveis de salinidade, muitas vezes compartimentalizando o íon dentro dos vacúolos.

Na análise de variância referente às relações iônicas da parte aérea das cultivares de arroz (Tabela 17), pode-se inferir que os períodos de estresse (E) e a cultivar (C) tem efeito altamente significativo sobre as três relações. Verificou-se, também, interação E*C sobre a relação Na/K e Na/Ca no tecido vegetal.

Tabela 17. Análise de variância das relações sódio/potássio (Na/K), sódio/cálcio (Na/Ca) e sódio/magnésio (Na/Mg) da parte aérea de plantas de arroz das cultivares BRS Bojuru e IRGA 417, submetidas a diferentes períodos de estresse salino.

FV	GL	Na/K	Na/Ca	Na/Mg
Estresse (E)	5	***	***	***
Blocos (B)	3	NS	NS	NS
Resíduo a (Ra)	15			
Parcela	23			
Cultivar (C)	1	***	***	***
E*C	5	**	*	NS
Resíduo b (Rb)	18			
C.V Ra (%)		29,33	20,62	25,87
C.V Rb (%)		20,05	16,49	19,04

(.) Significativo a 0,05% de probabilidade pelo teste F.

* Significativo a 0,01% de probabilidade pelo teste F.

** Significativo a 0,001% de probabilidade pelo teste F.

*** Significativo a 0 % de probabilidade pelo teste F.

NS, não significativo.

A determinação das relações do sódio com o potássio, cálcio e magnésio (Na^+/K^+ , $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ e $\text{Na}^+/\text{Mg}^{2+}$) são fatores importantes que estão relacionados ao grau de tolerância das plantas à salinidade. A relação Na^+/K^+ pode ser utilizada como índice para toxicidade de sódio, devido ao fato deste íon inibir a atividade das enzimas que requerem potássio (GREENWAY; MUNNS, 1980). Verificou-se que a relação de Na/K da cultivar IRGA 417 apresentou variação em função do período de estresse, sendo a relação mais alta obtida nas plantas do EM e EAN, o que reflete a capacidade destas plantas em acumular mais Na, ao mesmo tempo em que o acúmulo de potássio reduziu, conforme observado anteriormente (Figura 6). O mesmo foi observado para a cultivar BRS Bojuru, no entanto, essa relação foi mais alta nas plantas do EM, EAN e 35AN.

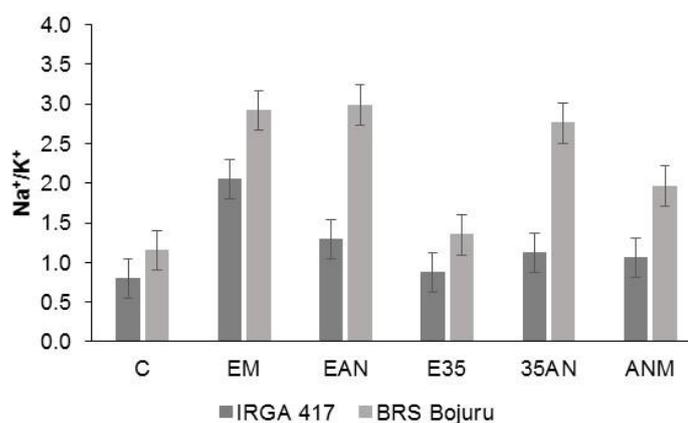


Figura 6. Relação sódio/potássio da parte aérea de plantas de arroz das cultivares IRGA 417 e BRS Bojuru, cultivadas sob diferentes períodos de estresse.

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula (entre períodos de estresse) e barras de erro pela DMS (entre cultivares) em cada período, não diferem entre si pelo teste de tukey ($p \leq 0,05$); **C- Sem estresse (controle); EM- da emergência (E) até a maturidade (M); EAN- da emergência até a antese (AN); E35- da emergência até 35 dias após a emergência; 35AN- dos 35 dias após a emergência até a antese; e ANM- da antese até a maturidade.

Vale ressaltar que essa relação iônica (Na^+/K^+ , $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ e $\text{Na}^+/\text{Mg}^{2+}$) foi determinada em folhas mais velhas, onde, geralmente, observa-se maior relação quando comparado em folhas novas que apresentam sítios metabolicamente mais ativos (CRUZ et al., 2006). A manutenção de baixas relações Na/K, tem sido considerada como uma característica adaptativa das plantas para a manutenção do crescimento em ambientes salinos, pois permite que as células realizem suas principais funções em níveis próximos ao da normalidade das plantas (GRATTAN; GRIEVE, 1999).

Apesar de ser observado que a cultivar BRS Bojuru, considerada tolerante ao estresse salino, apresentou maior relação Na/K em certos períodos de estresse (EM, EAN, 35AN e ANM), esta teve um padrão no acúmulo de potássio mesmo com alta concentração de sódio nos tecidos. Ferreira et al. (2005) verificou aumento sobre as relações destes íons em folhas de milho com o incremento da salinidade do solo. No entanto, Carmona et al. (2009) trabalhando com a cultivar IRGA 417, constataram redução nas relações iônicas com o aumento da salinidade.

A relação Na/Ca foi elevada nas cultivares IRGA 417 e BRS Bojuru, sendo que os períodos EM, EAN, 35AN e ANM foram os que resultaram nas maiores relações (Figura 7). Observou-se também que ao comparar as cultivares, a BRS Bojuru, de modo geral, apresentou essa relação mais alta do que a IRGA 417. Uma relação $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ elevada faz com que o Na^+ desloque o Ca^{2+} da membrana celular, induzindo à perda de sua integridade, e resultando em desequilíbrio na absorção iônica (MARSCHNER, 1995) e redução da seletividade de $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+}$ e $\text{Na}^+ - \text{Mg}^{2+}$ nas raízes (AZEVEDO NETO; TABOSA, 2000).

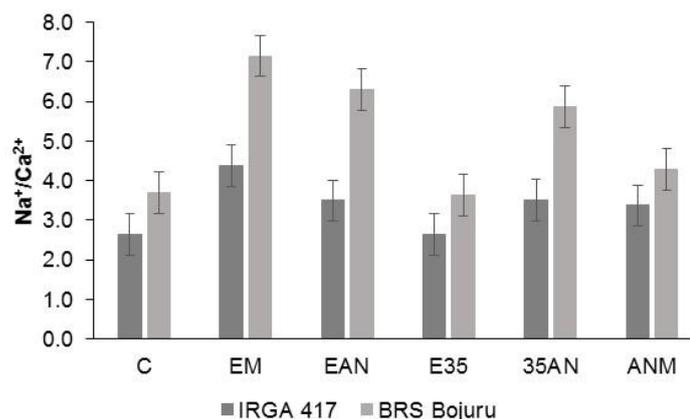


Figura 7. Relação sódio/cálcio da parte aérea de plantas de arroz das cultivares IRGA 417 e BRS Bojuru, cultivadas sob diferentes períodos de estresse. *Médias seguidas pela mesma letra minúscula (entre períodos de estresse) e barras de erro pela DMS (entre cultivares) em cada período, não diferem entre si pelo teste de tukey ($p \leq 0,05$); **C- Sem estresse (controle); EM- da emergência (E) até a maturidade (M); EAN- da emergência até a antese (AN); E35- da emergência até 35 dias após a emergência; 35AN- dos 35 dias após a emergência até a antese; e ANM- da antese até a maturidade.

A relação Na/Mg revelou novamente que a cultivar BRS Bojuru ao final do ciclo apresentou uma relação mais elevada que a cultivar IRGA 417, independente do período de estresse na qual a planta foi submetida (Figura 8). Além disso, a maior relação Na/Mg foi constatada nas plantas que passaram por estresse da EM, EAN e 35AN.

Apesar dessa alta relação Na/K, Na/Ca e Na/Mg para a cultivar BRS Bojuru, algumas espécies que apresentam capacidade de acumular íons no vacúolo e solutos orgânicos de baixo peso molecular no citoplasma, conseguem um ajustamento osmótico a esse tipo de condição (FARIAS, 2008), pois não foi observado redução acentuada do acúmulo de nutrientes em detrimento da alta absorção de sódio.

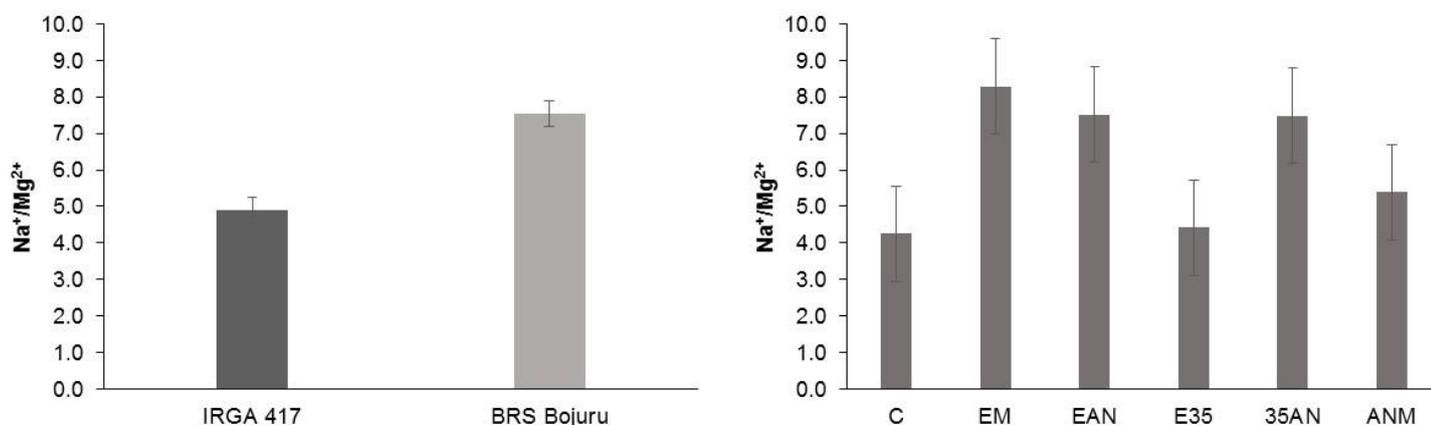


Figura 8. Relação sódio/magnésio da parte aérea de plantas de arroz das cultivares IRGA 417 e BRS Bojuru, cultivadas sob diferentes períodos de estresse. Barras de erro representam a DMS a nível de significância de $p \leq 0,05$ pelo teste de tukey. **C- Sem estresse (controle); EM- da emergência (E) até a maturidade (M); EAN-

da emergência até a antese (AN); E35- da emergência até 35 dias após a emergência; 35AN- dos 35 dias após a emergência até a antese; e ANM- da antese até a maturidade.

Com base nos resultados obtidos, pôde-se constatar que a cultivar IRGA 417 apresentou maior acúmulo de nutrientes nos tecidos do que a BRS Bojuru, mesmo em situação de estresse. Essas diferenças de acúmulo de nutrientes entre as cultivares, podem estar relacionadas com a diversidade genética das mesmas e conseqüentemente nas exigências nutricionais. Além disso, pode estar relacionado a algum mecanismo adaptativo destas cultivares frente ao estresse salino. Uma vez que a relação iônica de ambas cultivares, foram diferentes nas situações de estresse imposta neste estudo.

4.4 Conclusões

A salinidade imposta durante todo o ciclo da cultura (EM) e entre a emergência e antese (EAN, E35 e 35AN) influencia no acúmulo de nutrientes em ambas as cultivares.

A cultivar IRGA 417 apresenta maior acúmulo de nutrientes do que a BRS Bojuru.

O acúmulo de P, Ca, Mg e N em situação de salinidade nos diferentes períodos de estresse não diferiram do controle.

A cultivar BRS Bojuru é mais estável no acúmulo de potássio mesmo com alto incremento de sódio nos tecidos.

As relações iônicas demonstram que as cultivares apresentam diferentes adaptações frente ao estresse salino.

5 CAPÍTULO III – Crescimento inicial e acúmulo de sódio em plantas de arroz submetidas à salinidade.

5.1 Introdução

A maioria das cultivares e híbridos de arroz irrigado recomendados para cultivo no Rio Grande do Sul e Santa Catarina são sensíveis a vários tipos de estresses abióticos. O estresse abiótico é um fator limitante para o crescimento das plantas e produção de alimentos em muitas regiões do mundo. A salinidade um dos mais importantes fatores de estresse abiótico, além de trazer prejuízos às propriedades físicas e químicas do solo, provoca a redução generalizada do crescimento das plantas cultivadas, provocando sérios prejuízos à atividade agrícola (CAVALCANTE et al., 2010). O estresse salino pode ocorrer tanto pela presença de sais em excesso no solo, quanto por sua introdução ao sistema de cultivo, via água de irrigação (EPSTEIN; BLOOM, 2006). Em ambas as situações a quantidade elevada de sais pode afetar o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade da cultura do arroz.

A qualidade da água de irrigação é determinada pela salinidade, na qual é estabelecida pela de concentrações excessivas de sais solúveis que afetam o crescimento das plantas (GOMES et al., 2004). No Rio Grande do Sul, o principal sistema de irrigação da cultura do arroz é por inundação, podendo conduzir à salinização dos solos com drenagem inadequada, especialmente as lavouras da região litorânea que utilizam a água da laguna dos patos, que está sujeita à salinização pela entrada de água do mar quando baixa o nível deste manancial, tornando-se uma das maiores limitações ambientais na produção de arroz (LIMA, 2008).

Da mesma forma que a salinidade afeta o solo, há também reflexos dos seus efeitos nas plantas. O excesso de sal afeta as culturas de duas maneiras: pelo aumento do potencial osmótico do solo, quanto mais salino for um solo, maior será a energia gasta pela planta para absorver água e com ela os demais elementos vitais; pela toxidez de determinados elementos, principalmente sódio, boro, bicarbonatos e cloretos, que em concentração elevada causam distúrbios fisiológicos nas plantas (BATISTA et al., 2002). Em consequência do potencial osmótico do solo, as plantas

fecham os estômatos para reduzir a perda de água por transpiração, resultando em uma taxa fotossintética menor, o que constitui uma das causas do reduzido crescimento das espécies sob condições de estresse salino (TRAVASSOS et al., 2011).

Um dos métodos mais difundidos para determinação da tolerância das plantas ao excesso de sais, é a observação durante a fase de germinação e crescimento inicial das plântulas em meio salino. A tolerância de plantas durante a germinação e emergência é baseado em percentual de sobrevivência, enquanto que estádios posteriores de desenvolvimento a tolerância é baseada em variáveis de crescimento (GRATTAN, 2007). No entanto, a capacidade de adaptação dos vegetais superiores aos solos salinos pode variar de acordo com a espécie, cultivar e do seu estágio de desenvolvimento (TESTER; DAVANPORT, 2003). Quando o estresse acontece na fase inicial de desenvolvimento da planta pode haver prejuízo às características agrônômicas e conseqüentemente na produtividade e, nos casos mais graves, o excesso de sais causa a morte das plântulas (FARIAS, 2008). Santos (2006) destaca que a redução da taxa de crescimento das plantas sob estresse salino ocorre de forma mais acentuada nos tecidos jovens, afetando os mecanismos de divisão e expansão celular nos pontos de crescimento da planta.

As plantas cultivadas são classificadas como sensíveis, moderadamente sensíveis, moderadamente tolerantes e tolerantes ou resistentes no que se refere à ação degenerativa dos sais na germinação, crescimento e produção, (BERNSTEIN, 1964; AYERS; WESTCOT, 1999). O arroz é classificado como moderadamente suscetível (MUNNS; TESTER, 2008), e também existe variações de tolerância salina entre genótipos da mesma espécie. No entanto, sabe-se que algumas cultivares podem apresentar certa tolerância às condições salinas do ambiente. O limite de tolerância depende da concentração do sal em solução, do tempo de exposição, bem como do estágio de desenvolvimento das plantas (CARMONA et al., 2011).

A análise de crescimento é método acessível, de baixo custo, bastante preciso e utilizado para avaliar o crescimento vegetal frente a diferentes condições de meio e de manejo (AUMONDE et al., 2013). A técnica possibilita a inferência da contribuição de diferentes processos fisiológicos sobre o desempenho vegetal e consiste no primeiro passo para a interpretação e a análise da produção primária (PEDÓ et al.,

2013). Portanto, a análise da interferência do ambiente sobre a produção das culturas pode ser evidenciada pelas alterações no crescimento e desenvolvimento dos vegetais ao longo do tempo em condições estressantes de ambiente (CARLESSO et al., 2000; LEAL-COSTA et al., 2008).

Diante disso, o objetivo do trabalho foi avaliar o efeito da salinidade sobre o crescimento inicial e acúmulo de sódio no tecido vegetal de duas cultivares de arroz com diferentes níveis de tolerância a salinidade.

5.2 Material e Métodos

O trabalho foi desenvolvido em casa de vegetação e no Laboratório Didático de Análise de Sementes (LDAS) do Departamento de Fitotecnia da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas (FAEM/UFPel). Foram utilizadas sementes das cultivares: 1) IRGA 417 - ciclo médio, estatura média: 79 cm, suscetível a salinidade; 2) BRS Bojuru - ciclo médio, estatura média: 90 cm, tolerante a salinidade.

A semeadura foi realizada em vasos plásticos, preenchidos com 8 litros de solo peneirado coletado do horizonte A1 de um Planossolo Háplico Eutrófico solódico (STRECK et al., 2008), pertencente à unidade de mapeamento Pelotas. A adubação foi realizada de acordo com os resultados da análise de solo e recomendações da Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC (2004), na qual foi utilizado como adubação de base ureia, superfosfato simples e cloreto de potássio como fonte de nitrogênio, fósforo e potássio, respectivamente, com aplicação 14 dias antes da semeadura. A calagem foi realizada trinta dias antes da semeadura.

Foram utilizados 5 vasos para cada época de avaliação e para simular o estresse salino foi realizado a irrigação com solução de cloreto de sódio (NaCl) na concentração de 12 mM. Após a semeadura, a irrigação foi realizada diariamente no período da manhã, mantendo-se o solo próximo à capacidade de campo até o estabelecimento definitivo da lâmina de água, realizado aos 30 dias após a emergência, procurando-se manter uma lâmina de água em torno de 10 cm, conduzindo desta forma o experimento até o final da avaliação.

As avaliações foram realizadas aos 10, 20, 30, 40 e 50 dias após a emergência (DAE). As plantas foram, cuidadosamente, retiradas dos vasos e cortadas rente ao solo e colocadas em sacos plásticos contendo algodão umedecido, para minimizar os

efeitos de perda de água. Coletou-se 2 plantas, nas quais foram realizadas as seguintes avaliações: avaliados a altura de planta (AP), área foliar (AF), massa de matéria seca (MMS) e calculadas as taxas de crescimento de acordo com Benincasa (2004) [Taxa assimilatória líquida (TAL), taxa de crescimento relativo (TCR) e taxa de crescimento da cultura (TCC)]. Além destes, foi avaliado o acúmulo de sódio no tecido vegetal em cada época.

5.2.1 Variáveis avaliadas

Altura de Planta: foi realizada no laboratório com o auxílio de uma régua graduada, medindo-se da base até o ápice das folhas.

Área foliar: As determinações da área foliar foram realizadas utilizando determinador fotoelétrico (Area Meter, modelo LI-3100 da Li-COR Ltda.) que fornece leitura direta em cm².

Matéria seca de parte aérea: foi realizada pelo método de estufa a 60°C, na qual as plântulas foram mantidas por período de 72 horas e para mensuração da mesma, utilizou-se balança com precisão centesimal.

Para o cálculo das taxas de crescimento foi contemplado os períodos de 10, 30 e 50 DAE.

Taxa Assimilatória Líquida (TAL): A taxa assimilatória líquida representa a taxa de incremento de massa de matéria seca (W) por unidade de área foliar (L) existente na planta, assumindo que tanto **L** como **W**, aumentam exponencialmente, sendo calculada pela fórmula a seguir.

$$TAL = (W_2 - W_1)(\ln L_2 - \ln L_1) / (L_2 - L_1)(T_2 - T_1) \text{ (g cm}^{-2} \text{ dia}^{-1}\text{)}.$$

Onde, W₁ e W₂ são as variações da massa da matéria seca e L₁ e L₂ são as variações da área foliar em duas amostras consecutivas tomadas nos tempos T₁ e T₂.

Taxa de Crescimento Relativo (TCR): A taxa de crescimento relativo representa a quantidade de material vegetal produzido por determinada quantidade de material existente (mg), durante um intervalo de tempo (dias) prefixado.

$$TCR = \ln P_2 - \ln P_1 / T_2 - T_1$$

Onde, P₁ e P₂ são as variações da massa da matéria seca em duas amostras consecutivas tomadas nos tempos T₁ e T₂.

Taxa de Crescimento da Cultura (TCC): A taxa de crescimento da cultura indica a variação de crescimento em um determinado intervalo de tempo; ou um incremento de matéria seca nesse intervalo de tempo.

$$TCA = (P2-P1)/(T2-T1) = \text{mg dia}^{-1} \text{ ou outra medida de tempo.}$$

Onde, P1 e P2 são as variações da massa da matéria seca em duas amostras consecutivas tomadas nos tempos T1 e T2.

Teor de Sódio (Na) em tecido vegetal: A determinação foi feita com a utilização de 1 g de material triturado, obtido a partir da trituração do material vegetal nas épocas propostas no trabalho. Foi utilizada a metodologia proposta por Tedesco et al. (1995), cuja atividade Inicial consiste em adicionar 6,0 mL de HNO₃ em tubos de digestão, os quais são mantidos em repouso até o dia seguinte. Cada tubo foi agitado manualmente e levado para um bloco digestor a uma temperatura de 80-90°C por ½ hora. Após esse período, foi elevada a temperatura à 120°C, sendo os mesmos mantidos nesta condição até restar 0,5-1,0 mL de ácido. Ao final dessa etapa, desliga-se o bloco digestor e os tubos permanecem em esfriamento por 10 minutos, sendo adicionado 1 mL de HClO₄. Em seguida, os tubos de digestão são aquecidos até a temperatura de 180-190°C, quando começa o desprendimento de vapor de HClO₄ (branco), funis de 30 mm de diâmetro são colocados nos tubos de digestão. Depois de 2 horas na temperatura de 180-190°C, e após resfriado, adiciona-se 5 mL de água destilada. Posteriormente, o volume é ajustado para 20 mL com adição de água destilada, deixando decantar até o dia seguinte. No dia seguinte, transfere-se as soluções para frascos “snap-cap” de 90 mL. Para a emissão de Na pipeta-se 15 mL da solução mais 5 mL de água destilada, e então, realiza-se a leitura em fotômetro de chama (TEDESCO et al., 1995).

5.2.2 Delineamento Experimental e Procedimento estatístico

O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado em esquema bifatorial AxB (Fator A: BRS Bojuru e IRGA 417; Fator B: com e sem estresse salino) com cinco repetições. Os dados do experimento foram submetidos à ANOVA e havendo significância foi realizado comparação de médias através do teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

5.3 Resultados e Discussão

Verificou-se interação entre os fatores cultivar (BRS Bojuru e IRGA 417) e a condição de cultivo (com e sem estresse salino) para as variáveis altura de planta (AP) aos 10, 40 e 50 DAE, área foliar (AF) aos 30, 40 e 50 DAE e massa de matéria seca (MMS) aos 20, 30, 40 e 50 DAE (Tabela 18). A interação desses fatores demonstrou que as cultivares se desenvolvem de forma diferente em função da irrigação com e sem estresse. No entanto, foi observado que em algumas épocas avaliadas se obteve somente efeito individual dos fatores sobre o crescimento inicial.

Tabela 18. Análise de variância para altura de plantas (AP), área foliar (AF) e massa da matéria seca (MMS) avaliadas aos 10, 20, 30, 40 e 50 dias após a emergência (DAE) de plantas de arroz das cultivares BRS Bojuru e IRGA 417, submetidas ao estresse salino.

FV*	AP				
	10 DAE	20 DAE	30 DAE	40 DAE	50DAE
Cultivar (C)	184,83**	28,48**	307,25**	480,69**	3,45 ^{NS}
Condição de Cultivo (S)	18,86**	8,07**	327,64**	523,78**	82,62**
C*S	2,91**	0,88 ^{NS}	0,04 ^{NS}	32,39**	42,31**
Resíduo	0,47	1,55	1,62	5,02	3,53
FV	AF				
	10 DAE	20 DAE	30 DAE	40 DAE	50DAE
Cultivar (C)	189,94**	1614,97**	34,56 ^{NS}	16549,94**	28760,65**
Condição de Cultivo (S)	0,57 ^{NS}	654,25**	1007,63**	177716,9**	31636,88**
C*S	1,06 ^{NS}	15,91 ^{NS}	1091,21**	5010,35**	24265,5**
Resíduo	1,79	7,75	39,44	405,16	777,59
FV	MMS				
	10 DAE	20 DAE	30 DAE	40 DAE	50DAE
Cultivar (C)	2808,45**	73665,52**	4786,42 ^{NS}	692813,1**	2990583**
Condição de Cultivo (S)	76,05**	21608,74**	504984,2**	3325201**	8839447**
C*S	37,54 ^{NS}	2808,45**	199081,1**	462080**	4470986**
Resíduo	9,91	275,67	9940,77	67143,91	157567,6

(*) FV- fonte de variação; (**) significativo a 5% de probabilidade; NS- não significativo

Na tabela 19, pôde-se observar, para o crescimento inicial de plantas de arroz, submetidas ao estresse salino durante 50 dias que, na primeira época de avaliação (10 DAE) foi observado que para altura de plântula (AP), em ambas situações, sem estresse (SE) e com estresse (CE), a cultivar BRS Bojuru foi superior a IRGA 417, além disso, as plantas quando irrigadas somente com água apresentaram melhor resposta do que quando submetidas a irrigação com solução salina. Este mesmo efeito da salinidade foi observado por Cruz et al. (2006) em maracujeiro-amarelo,

neste estudo os autores constataram que as plantas apresentaram maior altura quando cultivadas em ausência de cloreto de sódio.

Para as variáveis área foliar (AF) e massa de matéria seca (MMS), foi observado que a BRS Bojuru foi superior. No caso da AF não se constatou diferença entre as condições SE e CE, já para a MMS foi observado uma redução de $3.9 \text{ mg planta}^{-1}$ entre a condição SE e a condição de CE (Tabela 19). A inibição do crescimento das plantas pelo sal, pode ser sinal do desvio de energia do crescimento para a manutenção, sendo que a diminuição da massa seca pode refletir no custo metabólico de energia, associado à adaptação a salinidade e redução do ganho de carbono (RICHARDSON; MCCREE, 1985).

Aos 20 DAE, independente da cultivar utilizada, a condição de SE foi estatisticamente superior a condição CE, tanto para AP e AF, sendo que a salinidade resultou em uma redução acentuada de $11,4 \text{ cm}^2 \text{ pl}^{-1}$ na área foliar (Tabela 19). Na média das condições para AP a cultivar IRGA 417 foi superior e para AF a cultivar BRS Bojuru, que obteve melhor resultado. Para MMS observou-se que a cultivar BRS Bojuru foi superior em ambas as condições (SE e CE) e dentro de cada cultivar a condição SE foi a que proporcionou maior massa seca de planta (Tabela 19).

Vale salientar, que espécies consideradas tolerantes ao sal, apresentam redução do crescimento em presença de salinidade, sendo que em igual concentração de sal as plantas tolerantes são capazes de manter taxas maiores de crescimento em relação às sensíveis (NEUMANN, 1997). A intensidade com que a salinidade afeta o crescimento e a produtividade do arroz é determinada por fatores associados à própria planta, ao solo e à água, às práticas de manejo e às condições ambientais (CARMONA et al., 2010). Levando-se em consideração a interação entre tais fatores, uma cultivar pode manifestar tolerância à salinidade, sobrevivendo e, às vezes, até crescendo, mesmo que em taxas menores, ou pode mostrar-se suscetível, apresentando redução severa no crescimento ou morte, dependendo da intensidade do estresse salino (CAMBRAIA, 2005). Um significativo decréscimo no crescimento é um efeito imediato do estresse salino, ao qual se segue uma recuperação gradual até atingir uma nova taxa de crescimento, geralmente inferior àquela existente antes da indução do estresse (WILLADINO; CAMARA, 2010).

Na terceira época de avaliação (30 DAE) foi constatado, independentemente da cultivar utilizada, que a condição sem estresse permitiu maior crescimento em AP (Tabela 19). Em relação a cultivar, sem efeito da condição de irrigação, a IRGA 417

foi superior. No que se refere a AF, para a cultivar BRS Bojuru, não foi observado diferença entre SE e CE, já para a cultivar IRGA 417 a irrigação somente com água proporcionou maior área foliar. No entanto, na comparação entre as cultivares, a BRS Bojuru na condição de CE respondeu melhor ao estresse salino.

Já para a MMS, a cultivar BRS Bojuru apresentou melhor resposta na condição SS, enquanto que para a IRGA 417 não foi observado diferença entre as condições. Porém, quando se realizou a comparação das cultivares em cada condição, não foi observado diferença entre as cultivares na condição SE, mas para a condição CE, a cultivar IRGA 417 foi superior. Em trabalho realizado por Lee et al. (2004) em arroz, foi constatado que o crescimento do arroz é reduzido 3 vezes mais com solução de NaCl do que com água do mar artificial (NaCl: 29.2; MgSO₄: 6.6; MgCl₂: 5.5; CaCl₂: 1.47; KNO₃: 1.0; KH₂PO₄: 0.058; NaHCO₃: 0.042 g L⁻¹) e que o arroz é 2 vezes mais sensível a salinidade no estágio de plântula do que no estágio de perfilhamento.

A salinidade apresenta relação inversa com a área foliar, uma vez que, ocorrem reduções na área de captação de energia luminosa, bem como na fixação da CO₂, por unidade de área, acompanhadas pelo aumento da taxa transpiratória. As baixas taxas de assimilação de CO₂, no período luminoso, são também acarretadas por déficit hídrico e fechamento parcial dos estômatos, o que diminui o turgor das células mesofílicas (TAIZ et al., 2017).

Existe uma relação entre as relações de água e o crescimento das plantas, visto que a condutância estomática é diretamente afetada pela menor disponibilidade de água no meio, o que altera o fluxo transpiratório responsável pela ascensão de água no xilema e pelo fornecimento para os tecidos meristemáticos, assim como folhas e caules (VIANA et al., 2001). A redução de AF, em muitos casos, pode ser reflexo de estresse no ambiente radicular e pode provocar desequilíbrio fisiológico nas plantas em geral, devido a alterações na partição de fotoassimilados e à redução na área de folhas destinada ao processo fotossintético, o que pode resultar em perdas de produtividade (PARENT et al., 2008; PEDÓ et al. 2013). No entanto, a redução em AF também pode ser visto como um importante mecanismo adaptativo de plantas cultivadas sob excesso de sais e estresse hídrico, visto que, sob tais condições, é interessante a redução na transpiração e, conseqüentemente, diminuição do carregamento de Na e Cl no xilema e conservação da água nos tecidos das plantas (CRUZ et al., 2003).

Tabela 19. Altura de plantas (AP), área foliar (AF) e massa da matéria seca (MMS) avaliadas aos 10, 20, 30, 40 e 50 dias após a emergência (DAE) de plantas de arroz das cultivares BRS Bojuru e IRGA 417, submetidas ao estresse salino

Cultivar	AP (cm)			AF (cm ² pl ⁻¹)			MMS (mg pl ⁻¹)		
	SE	CE	Média	SE	CE	Média	SE	CE	Média
10 DAE									
BRS Bojuru	22,2 a*	19,4 a	20,8	10,0	10,8	10,4 a	55,1	48,5	51,8 a
IRGA 417	15,3 b*	14,1 b	14,7	4,3	4,2	4,2 b	28,7	27,5	28,1 b
Média	18,7	16,8		7,1	7,5		41,9*	38,0	
C.V (%)	3,89			18,29			7,88		
20 DAE									
BRS Bojuru	34,2	33,3	33,7 b	55,9	46,2	51,1 a	332,7 a*	290,7 a	311,7
IRGA 417	36,9	35,2	36,1 a	39,7	26,5	33,1 b	235,0 b*	145,6 b	190,3
Média	35,5*	34,3		47,8*	36,4		283,9	218,1	
C.V (%)	3,58			6,62			6,61		
30 DAE									
BRS Bojuru	55,1	46,9	51,0 b	109,7 b	110,3 a	110,0	1547,0 a*	1029,6 b	1288,3
IRGA 417	62,8	54,8	58,8 a	127,1 a*	98,1 b	112,6	1378,4 b	1260,1 a	1319,2
Média	59,0*	50,8		118,4	104,2		1462,7	1144,9	
C.V (%)	2,32			5,64			7,64		
40 DAE									
BRS Bojuru	66,1 b*	58,4 b	62,2	388,5 b*	231,6 a	310,0	4523,3 a*	3403,8 b	3963,5
IRGA 417	78,4 a*	65,6 a	72,0	477,7 a*	257,5 a	367,6	4591,5 a	4080,0 a	4335,8
Média	72,2	62,0		433,1	244,5		4557,4	3741,9	
C.V (%)	3,34			5,94			6,24		
50 DAE									
BRS Bojuru	73,9 a	72,7 a	73,3	453,5 b	443,6 a	448,5	6682,5 b	6298,5 a	6490,5
IRGA 417	76,0 a*	69,0 b	72,5	599,0 a*	449,8 a	524,4	8401,5 a*	6126,3 a	7263,9
Média	74,9	70,9		526,2	446,7		7542,0	6212,4	
C.V (%)	2,58			5,73			5,77		

Condição de cultivo: SE (sem estresse) e CE (com estresse); Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna, dentro de cada variável, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$); Média seguida de *, dentro de cada variável, diferem entre si na linha pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Para a quarta época de avaliação (40 DAE), em relação a AP, a cultivar IRGA 417 foi superior a BRS Bojuru dentro da condição SE e CE (Tabela 19). Quando observou-se o comportamento de cada cultivar em função da irrigação, constatou-se que a condição sem sal proporcionou melhor resposta das cultivares. Para AF, a cultivar IRGA 417 foi superior na condição de SE, já na condição de CE não se obteve

diferença entre as cultivares. A condição de irrigação somente com água propiciou melhor área foliar em ambas cultivares. Não foi observado diferença entre as cultivares na condição de SE para MMS, enquanto que na condição CE a cultivar IRGA 417 foi superior (Tabela 19).

No último período de avaliação (50 DAE) não foi constatado diferença entre as cultivares na condição de SE para altura de planta e na condição CE para AF e MMS (Tabela 19). Considerando apenas a cultivar BRS Bojuru não foi observado diferença entre as condições SE e CE para todas as variáveis. Já para a cultivar IRGA 417, a condição SE foi a que proporcionou melhor resposta para AP, AF e MMS. A alta concentração de sais na rizosfera provoca a redução da permeabilidade das raízes à água, tendo como consequência direta o estresse hídrico (TÁVORA et al., 2001). Desta forma, ocorre o fechamento dos estômatos para reduzir as perdas de água por transpiração, reduzindo conseqüentemente a taxa fotossintética afetando assim o desenvolvimento das plantas ao longo do seu ciclo (O'LEARY, 1975).

A redução das variáveis de crescimento (MMS e AF) foi observado durante todas as épocas avaliadas, o que pode ser resultado de uma adaptação das plantas à condição de estresse nos estádios iniciais da cultura. Além disso, a resposta entre as cultivares foi diferente no decorrer do crescimento, sendo a cultivar BRS Bojuru nas primeiras avaliações mostrando-se mais tolerante a condição de estresse do que a IRGA 417, e na última avaliação foi possível observar que entre a condição com e sem estresse essa diferença não foi significativa para a BRS Bojuru (Tabela 19).

Outra explicação para o crescimento reduzido das plantas em condição de estresse salino é a incapacidade de absorverem a quantidade de água necessária para o seu desenvolvimento ocasionado pelo decréscimo do componente osmótico e potencial hídrico do solo e acabam intoxicadas pela alta concentração de sais (TESTER; DAVENPORT, 2003). Embora muitas plantas possuam mecanismo de ajuste osmótico, que se dá com a compartimentação de íons contidos nos vacúolos das células, e consigam sobreviver, o fato de parte da energia ser utilizada nesse mecanismo pode se refletir negativamente no crescimento e no desenvolvimento das estruturas vegetais (TAIZ et al., 2017).

A alta exigência, em termos de capacidade de transporte e seletividade, requer, em muitos casos, energia metabólica produzida a partir de carboidratos das raízes, o que afeta o seu desenvolvimento (WELFARE et al., 1996). De modo geral, as plantas cultivadas em ambiente salino, apresentam o crescimento da parte aérea mais afetado

do que o crescimento das raízes (CARMONA et al., 2009). Confirmando o fato, de que o estresse localizado em uma parte afeta mais a outra parte, porque a planta envia mais assimilados para o local do estresse, para aumentar o crescimento desse órgão em detrimento da outra parte (LIMA et al., 2005).

Em relação ao teor de sódio no tecido vegetal das plantas coletadas em cada época de avaliação (Tabela 20), constatou-se aos 10 DAE que a cultivar BRS Bojuru obteve menor acúmulo de sódio nos tecidos na condição CE. Porém, quando cultivado em condições normais de cultivo, ou seja, sem estresse, essa cultivar apresentou maior acúmulo de sais em seus tecidos quando comparado a cultivar IRGA 417. No entanto, ao comparar o cultivo com ou sem estresse, a cultivar IRGA 417 apresentou maior concentração de sais em seus tecidos quando cultivado com aplicação de sal. Ferreira et al. (2001), afirmam que uma das respostas da planta à aplicação de NaCl é o aumento nas concentrações de Na e Cl e, conseqüentemente, redução nos níveis de K e Ca. Já a cultivar BRS Bojuru não apresentou diferença na concentração de sais em seus tecidos, quando comparado a utilização ou não de sal, o que mostra uma estabilidade desta cultivar em relação a salinidade aos 10 DAE.

Aos 20 DAE (Tabela 20), observou-se comportamento semelhante a primeira época, onde a cultivar BRS Bojuru apresentou menor teor de sódio nos tecidos na condição CE em relação a cultivar IRGA 417. Quando cultivado em condições sem sal, a cultivar BRS Bojuru apresentou maior acúmulo de sódio nos tecidos. Já a cultivar IRGA 417, quando analisada em cultivo com e sem estresse, teve menor acúmulo de sal quando cultivada somente em água. Este fato demonstra uma estabilidade inicial da cultivar BRS Bojuru em relação a absorção de sódio, independente das condições de cultivo, fato que não foi observado na cultivar IRGA 417. É importante destacar que o acúmulo de Na e Cl em tecidos vegetais, acarretam em toxicidade iônica devido a mudanças nas relações Na/K, Na/Ca e Cl/NO₃, provocando reduções no início do desenvolvimento até morte das plantas.

A partir da terceira época de avaliação (Tabela 20) as plantas começaram a apresentar um padrão de resposta às condições de estresse imposta neste estudo, ou seja, não foi observado diferença entre as cultivares e a condição com salinidade proporcionou maior acúmulo de sódio nos tecidos das plantas. A resposta das plantas à salinidade é um fenômeno complexo, envolvendo alterações morfológicas e de crescimento, além de processos fisiológicos e bioquímicos (FOUGÈRE et al., 1991). Assim, a sobrevivência em ambientes salinos pode resultar de processos adaptativos

envolvendo absorção, transporte e distribuição de íons nos vários órgãos da planta e sua compartimentação dentro das células (MUNNS; TERMAAT, 1986).

Semelhantemente ao observado neste experimento, aumentos na concentração de sódio na parte aérea tem sido reportado por vários autores em plantas de milho (CRAMER et al, 1994; AZEVEDO NETO; TABOSA, 2000) e arroz (FAGERIA, 1991; SCIVITTARO et al., 2009) cultivados em meio salino. Além disso, menores concentrações de sódio na MMS da parte aérea das plantas podem ser um indicativo de mecanismo de tolerância à salinidade, refletindo menor absorção e/ou translocação do elemento presente no meio de cultivo (YEO; FLOWERS, 1983). Esse pode ser um importante indicador na seleção de genótipos tolerantes (SCIVITTARO et al., 2009).

Tabela 20. Teor de sódio da parte aérea de plantas avaliadas aos 10, 20, 30, 40 e 50 dias após a emergência (DAE) de sementes de arroz das cultivares BRS Bojuru e IRGA 417, submetidas ao estresse salino

Condição cultivo	10 DAE			20 DAE		
	IRGA 417	BRS Bojuru	Média	IRGA 417	BRS Bojuru	Média
	----- g kg ⁻¹ -----			----- g kg ⁻¹ -----		
SE	0,77 b	1,48 a*	1,13	0,80 b	0,94 b*	0,87
CE	2,45 a*	1,45 a	1,95	2,52 a*	1,66 a	2,09
Média	1,61	1,47		1,66	1,30	
C.V (%)	10,91			28,68		
Condição cultivo	30 DAE			40 DAE		
	IRGA 417	BRS Bojuru	Média	IRGA 417	BRS Bojuru	Média
	----- g kg ⁻¹ -----			----- g kg ⁻¹ -----		
SE	1,57	1,57	1,57 b	1,52	1,47	1,49 b
CE	5,42	6,00	5,71 a	5,42	5,48	5,45 a
Média	3,50	3,78		3,47	3,47	
C.V (%)	10,14			6,68		
Condição cultivo	50 DAE					
	IRGA 417	BRS Bojuru	Média			
	----- g kg ⁻¹ -----					
SE	1,73	1,78	1,76 b			
CE	5,75	6,09	5,92 a			
Média	3,74	3,94				
C.V (%)	12,53					

Condição de cultivo: SE (sem estresse) e CE (com estresse); Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna, dentro de cada variável, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Média seguida de *, dentro de cada variável, diferem entre si na linha pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$)

A taxa assimilatória líquida (TAL) reflete a dimensão do sistema assimilador que é envolvida na produção de matéria seca, sendo dependente da dimensão da área foliar, distribuição das folhas no dossel, ângulo foliar, translocação e partição de assimilados (AUMONDE et al., 2011) e da radiação solar disponível. Com os resultados obtidos em cada período de avaliação, constatou-se que as condições sem estresse para a cultivar BRS Bojuru resultou em taxa assimilatória líquida maior aos 10-30 DAE, sendo não significativo aos 30-50 DAE (Tabela 21). Essa resposta é explicada pelos dados obtidos para área foliar e massa seca, nos quais nas primeiras avaliações ocorreram diferenças entre as condições de cultivo, tornando-se semelhante nas últimas avaliações.

Já a cultivar IRGA 417 apresentou uma TAL elevada na condição com estresse no período de 10-30 DAE, mesmo com redução de área foliar e massa seca. Também não foi observado diferença para o período de 30-50 DAE para esta cultivar. Da mesma forma, Silva et al. (2007) ao trabalharem com a análise de crescimento em cultivares de trigo submetidos a salinidade, observaram incremento da TAL embora a área foliar ter reduzido em função da salinidade. No entanto, Azevedo Neto e Tabosa (2000) observaram redução na TAL de dois genótipos de milho submetidos a diferentes concentrações salinas.

A taxa de Crescimento Relativo (TCR) representa o acúmulo de matéria seca por plantas por unidade de tempo, em relação ao peso inicial e está expresso em $\text{mg mg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$. A cultivar BRS Bojuru apresentou uma pequena redução na TCR aos 10-30 DAE entre a condição sem estresse e com estresse, porém, a medida que a planta foi crescendo observou-se uma inversão nesta avaliação uma vez que a TCR foi maior nas plantas que estavam sendo irrigadas com solução salina aos 30-50 DAE (Tabela 21). Em relação a cultivar IRGA 417 não constatou-se diferença no primeiro período (10-30 DAE) e apresentou redução na TCR aos 30-50 DAE. Segundo Azevedo Neto (2000) a TCR é um parâmetro fortemente influenciado pelas concentrações de íons Na^+ no tecido vegetal, sendo a redução do crescimento em função do desvio de recursos energéticos para a osmorregulação (ALARCON et al., 1994). Além disso, a redução desse parâmetro em condição normal de cultivo é esperada, visto que, é resultado em parte, do aumento gradativo de tecidos não fotossintetizantes com o desenvolvimento da planta (SILVA et al., 2007).

A taxa de crescimento da cultura (TCC) fornece a ideia da velocidade média do crescimento ao longo do período de observação (GARCIA et al., 2008). Diante disso,

observou-se que a cultivar BRS Bojuru apresenta uma velocidade de crescimento maior que a IRGA 417 na primeira avaliação (0-10 DAE) independente da condição de cultivo (Tabela 21). Para o período de 10-30 DAE as plantas apresentaram uma redução no crescimento pelo excesso de sal no meio, chegando a igualar esse crescimento aos 30-50 DAE, ou seja, no início do crescimento a planta reduziu a produção de matéria seca para se aclimatar ao ambiente em função da presença do sal, possivelmente no último período de avaliação a planta tinha uma maior capacidade de acumular sódio nos seus tecidos o que permitiu a planta se desenvolver em condição salina. Já a cultivar IRGA 417 não teve efeito negativo do sal aos 10-30 DAE, no entanto, apresentou uma redução de 107,9 mg dia⁻¹ aos 30-50 DAE em relação a condição sem sal.

Tabela 21. Taxa Assimilatória Líquida (TAL), Taxa de Crescimento Relativo (TCR) e Taxa de Crescimento da Cultura (TCC) de plantas de arroz das cultivares BRS Bojuru e IRGA 417, submetidas ao estresse salino.

Cultivar	TAL (mg cm ⁻² dia ⁻¹)			
	10-30 DAE		30-50 DAE ^{NS}	
	SE	CE	SE	CE
BRS Bojuru	1,79 a*	1,16 b	1,06	1,10
IRGA 417	1,87 a	2,08 a*	1,16	1,06
Média	1,83	1,62	1,11	1,08
C.V (%)	8,54		9,19	

Cultivar	TCR (mg mg ⁻¹ dia ⁻¹)			
	10-30 DAE		30-50 DAE	
	SE	CE	SE	CE
BRS Bojuru	0,33 b*	0,31 b	0,15 b	0,18 a*
IRGA 417	0,39 a	0,38 a	0,18 a*	0,16 b
Média	0,36	0,34	0,17	0,17
C.V (%)	3,05		4,31	

Cultivar	TCC (mg dia ⁻¹)					
	0-10 DAE		10-30 DAE		30-50 DAE	
	SS	CS	SS	CS	SS	CS
BRS Bojuru	5,18 a		74,59 a*	50,08 b	263,53 b	263,44 a
IRGA 417	2,81 b		67,48 b	61,36 a	351,16 a*	243,31 a
Média	4,19*	3,80	71,04	55,72	307,35	253,38
C.V (%)	7,86		7,66		6,40	

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna, dentro de cada variável, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p≤0,05). Média seguida de *, dentro de cada variável, diferem entre si na linha pelo teste de tukey (p≤0,05)

Diante desses resultados, destaca-se o fato da cultivar BRS Bojuru, considerada tolerante ao nível médio de salinidade (MACHADO et al., 1999), apresentar menor acúmulo de sódio nos tecidos e conseguir melhor resposta em AP, AF, MMS e TCR e TCC frente ao estresse salino (Tabela 19 e 21). Lacerda et al. (2004) estudando o efeito da aplicação de NaCl em genótipos de sorgo tolerante e sensível a salinidade, observaram diferenças nos teores desses elementos nas folhas do sorgo, e os menores teores foram encontrados no genótipo tolerante a salinidade. Já nos períodos intermediários de avaliação a cultivar BRS Bojuru não se destacou em relação a IRGA 417, apresentando até resultados inferiores de AP e MMS.

No entanto, no último período de avaliação do crescimento essa cultivar se mostrou mais adaptada a condição de estresse do que a IRGA 417, mesmo não apresentando diferença no teor de sódio entre as cultivares. O conhecimento das espécies capazes de suportar uma determinada condição de estresse salino é importante tanto para a caracterização da cultura, quanto para auxiliar na adequada recomendação para o plantio nestas situações, principalmente ao ponderar as cultivares com estas condições de cultivo (REGO et al., 2011). Além disso, a menor redução no crescimento do genótipo tolerante pode estar associada a menor custo energético para osmorregulação, conseguido por meio do acúmulo e da compartimentação de solutos inorgânicos no vacúolo e solutos orgânicos no citoplasma (NOBLE; ROGERS, 1992; SERRANO; GAXIOLA, 1994).

5.4 Conclusões

A salinidade reduz o crescimento inicial das plantas e aumenta o teor de sódio nos tecidos das cultivares.

A BRS Bojuru no início do crescimento, em condição de salinidade, apresenta maior altura de planta, área foliar e massa de matéria seca e menor teor de sódio que a IRGA 417.

A cultivar BRS Bojuru apresenta melhor taxa de crescimento relativo aos 30-50 DAE em condição de salinidade.

A taxa assimilatória líquida não é influenciada pela salinidade no período de 30-50 DAE em ambas as cultivares.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos com os experimentos realizados foi possível verificar que a medida que aumentou o nível de salinidade da água de irrigação (12 mM e 16 mM), houve uma maior redução nas variáveis das características agronômicas do que para a qualidade fisiológica das sementes produzidas das cultivares IRGA 417 e BRS Bojuru, independente da tolerância que as mesmas apresentam frente ao estresse.

Os estresses causados próximo ao florescimento são os mais críticos para a produtividade de sementes das cultivares de arroz e no acúmulo de nutrientes na parte aérea das plantas de arroz. Dessa forma, o aconselhável seria a utilização de água de boa qualidade durante esse período, evitando prejuízos na lavoura.

O acúmulo de sódio ao final do ciclo das cultivares é maior nas plantas que passaram por estresses próximo ao florescimento, provavelmente por ser períodos de intensa absorção de água do solo. A cultivar IRGA 417 apresenta maior acúmulo de nutrientes na parte aérea das plantas ao final do ciclo da cultura do que a cultivar BRS Bojuru, no entanto, isso não reflete em aumento de produtividade.

Os resultados da resposta do sistema antioxidante das plântulas de ambas cultivares, mostram que apesar de ter sido verificado aumento na peroxidação de lipídeos durante os períodos analisados, ambas as cultivares apresentam mecanismos eficientes, uma vez que ao avaliar a qualidade fisiológica das sementes produzidas sob condição de estresse salino não foi observado redução acentuada da viabilidade e do vigor das sementes das cultivares IRGA 417 e BRS Bojuru.

A cultivar BRS Bojuru, considerada tolerante a salinidade, apresenta redução no crescimento inicial em presença da salinidade, no entanto, nas primeiras avaliações (10 e 20 DAE), em igual concentração de sal, é capaz de manter um maior crescimento em relação a cultivar IRGA 417, o que reflete em maior taxa de crescimento relativo (TCR). Em relação ao teor de sódio, a cultivar BRS Bojuru é capaz de compartimentalizar esse íon em seus vacúolos, uma vez que apresenta menor acúmulo em seus tecidos nessa fase inicial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABID, M.; AHMAD, S. A.; BILAL, M. K.; WAJID, R. A. Response of okra (*Abelmoschus esculentus* L.) to EC and SAR of Irrigation Water. **International Journal of Agriculture and Biology**, v.4, p.311-314, 2002.

AGRIANUAL. **Anuário estatístico da agricultura brasileira**. São Paulo: FNP, 2012. p. 165-176.

ALARCON, J.J.; SANCHEZ-BLANCO, M.J.; BOLARIN, M.C. et al. Growth and osmotic adjustment of two tomato cultivars during and after saline stress. **Plant and Soil**, v.166, n.1, p.75-82, 1994.

ALSHAMMARY, S. F.; QIAN, Y. L.; WALLNER, S. J. Growth response of four turfgrass species to salinity. **Agricultural Water Management**, v. 66, n. 1, p. 97-101, 2004.

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

ASHRAF, M.; HARRIS, P.J.C. Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. **Plant Science**, v.166, n.1, p.3-16, 2004.

AUMONDE, T.Z.; LOPES, N.F.; MORAES, D.M.; PEIL, R.M.N.; PEDÓ, T. Análise de crescimento do híbrido de mini melancia Smile® enxertada e não enxertada. **Interciencia**, v.36, n.9, p.677-681, 2011.

AUMONDE, T.Z.; PEDÓ, T.; MARTINAZZO, E.G.; MORAES, D.M.; VILLELA, F.A.; LOPES, N.F. Análise de crescimento e partição de assimilados em plantas de maria-pretinha submetidas a níveis de sombreamento. **Planta Daninha**, v. 31, p. 99- 108, 2013.

AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande: UFPB, 1999. 153p.

AZEVEDO NETO, A. D.; TABOSA, J. N. Estresse salino em plântulas de milho: Parte II distribuição dos macronutrientes catiônicos e suas relações com sódio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, n.2, p.165-171, 2000.

AZEVEDO NETO, A.D.; BARRETO, L.P.; BEZERRA NETO, E. Efeito da salinidade sobre os teores de macronutrientes em duas cultivares de sorgo cultivadas em solução nutritiva. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DO SOLO, 25, 1995, Viçosa. **Resumos...** Viçosa: SBCS, 1995. v. 3, p.1345-1347.

AZEVEDO, R.A.; ALAS, R.M.; SMITH, R.J.; LEA, P.J. Response of antioxidant enzymes to transfer from elevated carbon dioxide to air and ozone fumigation, in the leaves and roots of wild-type and a catalase-deficient mutant of barley. **Physiologia Plantarum**, v.104, p.280-292, 1998.

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

BATISTA, M. J.; NOVAES, F.; SANTOS, D. G.; SUGUINO, H. H. **Drenagem como instrumento de dessalinização e prevenção da salinização de solos**. 2. ed. ampl. Brasília, DF: CODEVASF. 2002. 216 p. (CODEVASF. Informes Técnicos).

BEAUCHAMP, C.; FRIDOVICH, I. Superoxide dismutase: Improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. **Analytical Biochemistry**, v. 44, p. 276-287, 1971.

BEN AMOR, N.; BEN HAMED, K.; DEBEZA, A.; GRIGNONB, C.; ABDELLEY, C. Physiological and antioxidant responses of the perennial halophyte *Crithmum maritimum* to salinity. **Plant Science**, v.168, p.889-899, 2005.

BENINCASA, M. M. P. **Análise de Crescimento de Plantas (noções básicas)**. Jaboticabal. FUNEP. 2004. 42p.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de Irrigação**. 7a. Edição, Viçosa: Editora UFV, 2005. 611p.

BERNSTEIN, L. Salt tolerance of plants. Washington: USDA, 1964. 23p. Information Bulletin, 283.

BERNSTEIN, L. Tolerance of plants to salinity. **Proceedings of American Society of Civil Engineering**, v. 87, p. 1-12, 1961.

BHATT, I.; TRIPATHI, B.N. Plant peroxiredoxins: catalytic mechanisms, functional significance and future perspectives. **Biotechnology Advances**, v.29, p.850-859, 2011.

BHATTACHARJEE, S. Sites of generation and physicochemical basis of formation of reactive oxygen species in plant cell. In: GUPTA, S.D. **Reactive oxygen species and antioxidants in higher plants**. Enfield: Science Publishers, p.1-30, 2010.

BLUMWALD, E.; Sodium transport and salt tolerance in plant cells. **Current Opinion of Cell Biology**, v. 12, p. 76-112, 2000.

BORZOUEI, 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**, v.72, n.4, p.476-482. 2012.

BOTELHO, C. **O arroz**. São Paulo: Typografia Levi, 1914. 525 p.

BRADFORD, M.M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**. v. 72, p. 248, 1976.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília, DF: Mapa/ACS, 2009. 395p.

CACHORRO, P.; OTIZ, A.; CERDÁ, A. Implications of calcium nutrition on the response of *Phaseolus vulgaris* L. to salinity. **Plant and Soil**, v.159, p.205-212, 1994.

CAKMAK, I.; HORST, W.J. Effect of aluminum on lipid peroxidation, superoxide dismutase, catalase, and peroxidase activities in root tips of soybean (*Glycine max*). **Physiologia Plantarum**, v.83, p.463-468, 1991.

CAMBRAIA, J. **Aspectos bioquímicos, celulares e fisiológicos dos estresses nutricionais em plantas**. In: NOGUEIRA, R.J.; ARAÚJO, E.L; WILLADINO, L.G; CAVALCANTE, U.M. Estresses ambientais: danos e benefícios em plantas. Recife, UFRPE, v.1, p.95-105, 2005.

CAMPOS, I.S.; ASSUNÇÃO, M.V. Efeito do cloreto de sódio na germinação e vigor de plântulas de arroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 25, n. 6, p. 837-843, 1990.

CARLESSO, R.; PEITER, M.X.; CHRISTOFARI, C.P.; WOLSCHICK, D.; PETRY, M.T. Manejo da irrigação do milho a partir da evapotranspiração máxima da cultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, v.5, p.15-23, 2000.

CARMONA, F. C. 2011. **Salinidade da água e do solo e sua influência sobre o arroz irrigado**. Tese (Doutorado em Ciência do Solo). 116f. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2011.

CARMONA, F. C.; ANGHINONI, I.; HOLZSCHUH, M. J.; ANDRIGHETTI, M. H. Cation dynamics in soils with different salinity levels growing irrigated rice. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.1851-1863, 2010.

CARMONA, F. C.; ANGHINONI, I.; MEURER, E. J.; HOLZSCHUH, M. J.; FRAGA, T. I. Estabelecimento do arroz irrigado e absorção de cátions em função do manejo da adubação potássica e do nível de salinidade no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.371-383, 2009.

CARMONA, F.C.; ANGHINONI, I.; WEBER, E. **Salinidade da água e do solo e seus efeitos sobre o arroz irrigado no Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Instituto Rio Grandense do Arroz, 2011. 54p. (Boletim Técnico).

CASTELLANOS, C. I. S.; ROSA, M. P.; DEUNER, C.; BOHN, A.; BARROS, A. C. S. A; MENEGHELLO, G. E. Aplicação ao solo de cinza de casca de arroz como fonte de silício: efeito na qualidade de sementes de trigo produzidas sob stresse salino. **Revista de Ciências Agrárias**, v.39, n.1, p.95-104, 2016.

CASTELLANOS, C.I.S. **Adubação com fontes de silício via solo na qualidade de sementes de trigo sob estresse salino**. 2014. 56f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Pelotas, 2014.

CASTILLO, E.G.; TUONG, T.P.; ISMAIL, A.M.; INUBUSHI, K. Response to salinity in rice: comparative effects of osmotic and ionic stresses. **Plant Production Science**, v.10, p.159-170, 2007.

CAVALCANTE, A.M.B.; PEREZ, S.C.J.G. de A. Efeitos dos estresses hídrico e salino sobre a germinação de sementes de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Witt. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.30, n. 2, p. 281-289, 1995.

CAVALCANTE, J. A. **Potencial fisiológico das sementes de arroz da cultivar BRS AG em resposta ao estresse salino**. 2016. 42f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Pelotas, 2016.

CAVALCANTE, L. F.; CORDEIRO, J. C.; NASCIMENTO, J. A. M.; CAVALCANTE, I. H. L.; DIAS, T. J. Fontes e níveis da salinidade da água na formação de mudas de mamoeiro cv. Sunrise solo. **Semina: Ciências Agrárias**, v.31, p.1281-1290, 2010.

CAVALCANTI, F.R.; LIMA, J.P.M.S.; FERREIRA-SILVA, S.L.; VIÉGAS, R.A.; SILVEIRA, J.A.G. Roots and leaves display contrasting oxidative response during salt stress and recovery in cowpea. **Journal of Plant Physiology**, v.164, p.591-600, 2007.

ÇELIK, O.; ATAK, Ç. The effect of salt stress on antioxidative enzymes and proline content of two Turkish tobacco varieties. **Turkish Journal of Biology**, v.36, p-339-356, 2012.

CHANDRU, H.K.; KIM, E.; KUK, Y.; CHO, K.; HAN, O. Kinetics of wound-induced activation of antioxidative enzymes in *Oryza sativa*: differential activation at different growth stages. **Plant Science**, v.164, p.935-941, 2003.

CHAVES, L. H. G.; MENINO, I. B.; ARAÚJO, I. A.; CHAVES, I. B. Avaliação da fertilidade dos solos das várzeas do município de Sousa, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.2, n.3, p.262-267, 1998.

CÍCERO, S. M.; VIEIRA, R. D. Teste de frio. In: VIEIRA, R.D.; CARVALHO, N.M. (Ed.) **Testes de vigor em sementes**. Jaboticabal: FUNEP, 1994. p.151-164.

CLARK, R.B.; Plant genotype differences in the uptake, translocation, accumulation and use of mineral elements required for plant growth. **Plant and Soil**, p. 49-70, 1983.

COELHO, D. S. **Influência da salinidade nos aspectos nutricionais e morfofisiológicos de genótipos de sorgo forrageiro**. 2013. 85f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). – Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus, Juazeiro, 2013.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – CQFS RS/SC. **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2004. 400p.

CONAB - **Companhia Nacional de Abastecimento**. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos 2016/2017 - Oitavo Levantamento - maio/2017, v.4 - Brasília: Conab, 2017.

CORREIA, K. G.; FERNANDES, P. D.; GHEYI, H. R.; NOBRE, R. G.; SANTOS, T. S. Crescimento, produção e características de fluorescência da clorofila a em amendoim sob condições de salinidade. **Revista Ciência Agronômica**, v.40, p.514-521, 2009.

CRAMER, G.R.; ALBERICO, G.J.; SCHMIDT, C. Salt tolerance is not associated with the sodium accumulation of two maize hybrids. **Australian Journal of Plant Physiology**, v.21, p.675-692, 1994.

CRUZ, J.L.; PELACANI, C.R.; COELHO, E.F.; CALDAS, R.C.; ALMEIDA, A.Q. QUEIROZ J.R. Influência da salinidade sobre o crescimento, absorção e distribuição de sódio, cloro e macronutrientes em plântulas de maracujazeiro-amarelo. **Bragantia**, v.65, n.2, p. 275-284, 2006.

CRUZ, J.L.; PELACANI, C.R.; SOARES FILJO, W. dos S.; CASTRO NETO, M.T.; COELHO, E.F.; DIAS, A.T.; PAES, R.A. Produção e partição de matéria seca e abertura estomática do limoeiro 'Cravo' submetido a estresse salino. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.25, n.3, p.528-531, 2003.

CUI, H.; TAKEOKA, Y.; WADA, T. Effect of sodium chloride on the panicle and spikelet morphogenesis in rice. **Journal Crop Science**, v.64, p.593-600, 1995.

D'ALMEIDA, D. M. B. A. D.; ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. C. M.; NESS, R. L. L. Importância relativa dos íons na salinidade de um Cambissolo na Chapada do Apodi, **Engenharia Agrícola**, v.25, n.3, p.615- 621, 2005.

DABROWSKA, G. et al. Characteristics of the plant ascorbate peroxidase family. **Acta Biologica Cracoviensia**, v.49, n.1, p.7-17, 2007.

DANIELOWSKI, R. **Estresse salino em genótipos de arroz: correlação entre dois sistemas de cultivo**. 2013. 68 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2013.

De GARA, L. Class III peroxidases and ascorbate metabolism in plants. **Phytochemistry Reviews**, v.3, n.1-2, p.195-205, 2004.

DELOUCHE, J. C.; BASKIN, C. C. Accelerated aging techniques for predicting the relative storability of seed lots. **Seed Science and Technology**, v. 1, n. 3, p. 427-452, 1973

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**, 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.

DIONISIO-SESE, M.L.; TOBITA, S. Antioxidant responses of rice seedlings to salinity stress. **Plant Science**, v.135, p.1–9, 1998.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. Londrina: Editora Planta. 403p, 2006.

FAGERIA, N. K. Salt tolerance of rice cultivars. **Plant and Soil**, v. 88, p. 237-243, 1985.

FAGERIA, N.K. Tolerance of rice cultivars to salinity. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.26, n.2, p.281- 288, 1991.

FANTI, S.C.; PEREZ, S.C.J.G. A. Efeitos de estresse hídrico e salino na germinação de *Bauhinia forficata* Link. **Revista Ceres**, v.43, n. 249, p. 654-662, 1996.

FARIAS, S. G. G. **Estresse osmótico na germinação, crescimento e Nutrição mineral de glicirídia (*Gliricidia sepium* (Jacq.)).** 61f. (Dissertação – Mestrado) Universidade Federal de Campina Grande. Brasil, 2008.

FARIAS, S. G. G.; SANTOS, D. R.; FREIRE, L. O.; SILVA, R. B. Estresse salino no crescimento inicial e nutrição mineral de *Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunt ex Steud) em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1499-1505, 2009.

FERREIRA, C. M. **Rede Brasil Arroz: transferência de tecnologia valorizando o protagonismo e atribuições de parceiros na cadeia produtiva.** Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA Arroz e Feijão, 2014. 172 p.

FERREIRA, L.G.R.; REBOUÇAS, M.A.A. Influência da hidratação/desidratação de sementes de algodão na superação dos efeitos da salinidade na germinação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.27, n.4, p.609-615, 1992.

FERREIRA, P. A.; GARCIA, G. O.; SANTOS, D. B.; OLIVEIRA, F. G; NEVES, J. C. L. Estresse salino em plantas de milho: II – Macronutrientes catiônicos e suas relações com o sódio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, (Suplemento), p.11-15, 2005.

FERREIRA, R. G.; TÁVORA, F. J. A. F.; HERNANDEZ, F. F. F. Distribuição da matéria seca e composição química das raízes, caule e folhas de goiabeira submetida a estresse salino. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 1, p. 79-88, 2001.

FIGUEIRÊDO, V. B.; MEDEIROS, J. F. DE; ZOCOLER, J. L.; ESPÍNOLA SOBRINHO, J. Evapotranspiração da cultura da melancia irrigada com água de diferentes salinidades. **Engenharia Agrícola**, v.29, p.231-240, 2009.

FOUGÈRE, F.; Le RUDULIER, D.; STREETER, J.G. Effects of salt stress on amino acids, organic acids and carbohydrate composition of roots, bacteroids and cytosol of alfalfa (*Medicago sativa* L.). **Plant Physiology**, v.96, p.1228-1236, 1991.

FOYER, C. H.; NOCTOR, G. Oxidant and antioxidant signaling in plants: a re-evaluation of the concept of oxidative stress in a physiological context. **Plant, Cell & Environment**, v.28, p.1056-1071, 2005.

FOYER, C. H.; NOCTOR, G. Redox sensing and signaling associated with reactive oxygen in chloroplasts, peroxisomes and mitochondria. **Physiologia Plantarum**, v.119, p.355-364, 2003.

FRAGA, T. I.; CARMONA, F. C.; ANGHINONI, I.; GENRO JUNIOR, S. A.; MARCOLIN, E. Flooded rice yield as affected by levels of water salinity in different stages of its cycle. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p.175-182, 2010.

FURLANI, A.M.C; BATAGLIA, O.C.; AZZINI, L.E. Variabilidade entre linhagens de arroz na absorção e utilização de potássio em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 10, p. 135-141, 1986.

GALINA, S. **Efeito da salinidade na qualidade fisiológica de sementes de arroz e feijão submetidas a estresse salino**, 2004. 19f. Dissertação (Mestrado em Ciências-Fisiologia vegetal), Departamento de Botânica, Pelotas, 2004.

GARCIA, A.; ANDRE, R.G.B; GALBIATTI, J. A.; TANNOUS, S. Análise de crescimento de uma cultura de milho submetida a diferentes regimes hídricos. **Nucleus**, v.5, n.1, p.237-251, 2008.

GARCIA, A.; RIZZO, C.A.; UD-DIN, J.; BARTOS, S.L.; SENADHIRA, D.; FLOWERS, T.J.; YEO, A.R. Sodium and potassium transport to the xylem are inherited independently in rice, and the mechanisms of sodium: Potassium selectivity differs between rice and wheat. **Plant, Cell & Environment**, v.20, p.1167-1174, 1997.

GARCIA, G. O.; FERREIRA, P. A.; MARTINS-FILHO, S.; SANTOS, C. E. M; Qualidade nutricional e fisiológica de sementes de milho oriundas de plantas submetidas ao estresse salino. **Engenharia na Agricultura**, v. 15, n. 3, p. 281-289, 2007.

GERVÁSIO, E. S.; CARVALHO, J. A.; SANTANA, M. J. Efeito da salinidade da água de irrigação na produção da alface americana. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, n.1, p.125-128, 2000.

GHAFOOR, A.; QADIR, M.; MURTAZA, G. **Salt Affected Soils: Principle of Management** (1st Ed.) Institute of Soil and Environmental Sciences, Uni. Agric. Faisalabad. 2004.

GHEYI, H. R. Problemas de salinidade na agricultura irrigada. In: OLIVEIRA, T.; ASSIS, J. R.; R. N.; ROMERO, R. E.; SILVA, J. R. C. (Eds.). **Agricultura, sustentabilidade e o semiárido**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.329-345. 2000.

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

GHEYI, H.R.; BARRETO, A.N.; GARRI, A.C.R.C.; ALMEIDA, A.M. Seleção de cultivares de arroz irrigado para solos salinossódicos. (II Ensaio de campo). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 22, n. 11/12, p. 1995-1999, 1987.

GIANNOPOLITIS, C.N.; RIES, S.K. Superoxide dismutase. I. Occurrence in higher plants. **Plant Physiology**, v.59, p.309-314, 1977.

GOMES, A. DA S.; PAULETTO, E.A; FRANZ, A.F.H. Uso e manejo da água em arroz irrigado. In: GOMES, A. da S.; MAGALHÃES JÚNIOR, A.M. de. (Ed.). **Arroz irrigado no Sul do Brasil**. Brasília, Embrapa Informação Tecnológica; Embrapa Clima Temperado, 2004, p.417-455.

GRAHAM, D.; PATTERSON, B. D. Responses of plants to low non-freezing temperatures: proteins, metabolism and acclimation. **Annual Review of Plant Physiology**. v.33, p.347-372, 1982.

GRATTAN, S. R.; GRIEVE, C. M. Salinity-mineral nutrient relations in horticultural crops. **Scientia Horticulturae**, v.78, n.1, p.127-157, 1999.

GRATTAN, S. R.; ZENG, L.; SHANNON, M. C.; ROBERTS, S. R. Rice is more sensitive to salinity than previously thought. **California Agriculture**, v. 56, p. 189-195, 2002.

GREENWAY, H.; MUNNS, R. Mechanisms of salt tolerance in crop plants. **Plant Physiology**, v.31, p.149-190, 1980.

GUSTAFSON, D. J.; GIBSON, D. J.; NICKRENT, D. L. Competitive relationships of *Andropogon gerardii* (Big Bluestem) from remnant and restored native populations and select cultivated varieties. **Functional Ecology**, v.18, n. 3, p. 451-457, 2004.

HARTER, F. S. **Tolerância de cultivares de arroz irrigado ao estresse salino**. 2014. 131f. Tese (Doutorado em Ciências) - Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Pelotas, 2014.

HERNÁNDEZ, J.A.; FERRER, M.A.; JIMÉNEZ, A.; BARCELÓ, A.R.; SEVILLA, F. Antioxidant systems and $O_2^{\cdot-}/H_2O_2$ production in the apoplasto of pea leaves. Its relation with salt induced necrotic lesions in minor veins. **Plant Physiology**, v.127, p.817-831, 2001.

HERNÁNDEZ, J.A.; JIMENEZ, A.; MULLINEAUX, P.; SEVILLA, F. Tolerance of pea plants (*Pisum sativum*) to long term salt stress is associated with induction of antioxidant defences. **Plant, Cell & Environment**, v.23, p.853-862, 2000.

HO, L.C.; ADAMS, P. Regulation of the partitioning of dry mater and calcium in cucumber in relation to fruit growth and salinity. **Annals of Botany**, v.73, p.539-545, 1994.

INTERNATIONAL RICE RESEARCH CENTER (IRRI). Rice doctor. 2007. Disponível em: <[http://www.knowledgebank.irri.org/riceDoctor_MX/default .htm](http://www.knowledgebank.irri.org/riceDoctor_MX/default.htm)>. Acesso em 20 abr. 2017.

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**, v. 25, n. 1, p. 187-194, 2003.

JESCHKE, W.D.; ASLAM, Z.; GREENWAY, H. Effects of NaCl on ion relations and carbohydrate status of roots and on osmotic regulation of roots and shoots of *Atriplex amnicola*. **Plant, Cell & Environment**, v. 9, p. 559-569, 1986.

KAWASAKI, T.; AKIBA, T.; MORITSUGU, M. Effects of high concentrations of sodium chloride and polyethylene glycol on the growth and ion absorption in plants. I. Water culture experiments in a greenhouse. **Plant Soil**, v.75, p.75- 85, 1983.

KHATUN, S.; FLOWERS, T. J. The estimation of pollen viability in rice. **Journal of Experimental Botany**, v.46, p.151-154, 1995.

KIM, Y.H.; KWAK, S.S. The role of antioxidant enzymes during leaf development. In: GUPTA, S.D. **Reactive oxygen species and antioxidants in higher plants**. Enfield: Science Publishers, p.129-150, 2010.

KLERING, E. V.; FONTANA, D. C.; ROGLIO, V. S.; ALVES, R. C. M.; BERLATO, M. A. Modelo agrometeorológico-espectral para estimativa da produtividade de grãos de arroz irrigado no Rio Grande do Sul. **Bragantia**, v. 75, n. 2, p.247-256, 2016.

KOZLOWSKI, T.T. Responses of woody plants to flooding and salinity. **Tree Physiology Monograph**, v. 1, p.1-29, 1997.

LACERDA, C. F. Interação salinidade x nutrição mineral. In: NOGUEIRA, R. J. M. C.; ARAÚJO, E. DE L.; WILLADINO, L. G.; CAVALCANTE, U. M. T. (ed.). **Estresses ambientais: Danos e benefícios em plantas**. Recife: UFPE, 2005, p.127-137.

LACERDA, C. F.; CAMBRAIA, J.; OLIVA, M. A. RUIZ, H. A. Influência do cálcio sobre o crescimento e solutos em plântulas de sorgo estressadas com cloreto de sódio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 2, p. 289-295, 2004.

LACERDA, C.F. **Crescimento e acúmulo de solutos orgânicos e inorgânicos em dois genótipos de sorgo forrageiros submetidos a estresse salino**. 2000. 163 f. Tese (Doutorado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Viçosa, 2000.

LANNETA, M.; COLONNA, N. Salinização. Land Care In Desertification Affected Areas, 2013. (http://geografia.fcsh.unl.pt/lucinda/authors_it.html#B2)

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos-SP. Ed. Rima Arts e Textos. 531 p. 2000.

LARRÉ, F. C.; MIRINI, P.; MORAES, C. L.; AMARANTE, L.; MORAES, D. M. Influência do 24-epibrassinolídeo na tolerância ao estresse salino em plântulas de arroz. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n.1, p.67-76, 2014.

LAUCHLI, A.; GRATTAN, S. R. Plant growth and development under salinity stress. In: Jenks MA, Hasegawa PM, Mohan JS (eds) **Advances in molecular breeding towards drought and salt tolerant crops**. Springer, Berlin, pp. 1–32. 2007.

LEAL-COSTA, M.V.; ARAGÃO, F.J.L.; REINERT, F.; TAVARES, E.S. Anatomia foliar de plantas transgênicas e não transgênicas de *Glycine max* (L.) Merrill (Fabaceae). **Revista Biociências**, v.14, n.1, p.23-31, 2008.

LEE, Y.S.; PARK, S.R.; PARK, H. J.; KWON, Y. W. Salt stress magnitude can be quantified by integrating salinity with respect to stress duration. **Proc 4th International Crop Science Congress**. 653. Brisbane, Australia. 2004.

LEMES, E. S.; OLIVEIRA, S.; TAVARES, L. C.; MENDONÇA, A. O.; LEITZKE, I. D.; MENEGHELLO, G. E.; BARROS, A. C. S. A. Productivity and physiological quality of irrigated rice seeds under salt stress and carbonized rice husk ashes fertilization. **Revista de Agrociência**, v. 50, p.307-321, 2016.

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

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

LIMA, B.G.; TORRES, S.B. Estresses hídrico e salino na germinação de sementes de *Zizyphus joazeiro* Mart. (Rhamnaceae). **Revista Caatinga**, v.22, n.4, p.93-99, 2009.

LIMA, G.; BARSALOBRES, C.; PIZA, I.; CEREDA, M. Efeito do BAP e ANA e atividade da peroxidase em mandioca (*Manihot esculenta* Crantz CV 'MCOL 22') cultivada *in vitro*. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.8, n.2, p.107-110, 2002.

LIMA, M. da G. de S. **Sensibilidade de genótipos de arroz (*Oryza sativa* L.) ao estresse salino**. 2002. 52p. Dissertação (Mestrado em Ciências). - Fisiologia vegetal, Departamento de Botânica, Pelotas, 2002.

LIMA, M. G. S. **Detecção de genes e expressão enzimática em cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.) crescidas sob estresse salino**. 2008. 93f. Tese (Doutorado em Ciências) - Fisiologia vegetal, Departamento de Botânica, Pelotas, 2008.

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**, v. 27, n. 1, p. 54-61, 2005.

LOCATO, V. et al. Reactive oxygen species and ascorbate-glutathione interplay in signaling and stress responses. In: GUPTA, S.D. **Reactive oxygen species and antioxidants in higher plants**. Enfield: Science Publishers, 2010.

LUCENA, C. C.; SIQUEIRA, D. L.; MARTINEZ, H. E. P.; CECON, P. R. Efeito do estresse salino na absorção de nutrientes em mangueira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.34, n.1, p.297-308, 2012.

MAAS, E.V.; HOFFMAN, G.J. Crop salt tolerance - current assessment. **Journal of Irrigation and Drainagem Division**, v. 103, p. 115-134, 1977.

MAAS, E.V.; POSS, J.A.; HOFFMAN, G.J. Salinity sensitivity of sorghum at three growth stages. **Irrigation Science**, v.7, n.1, p.1-11, 1986.

MACHADO, M.O.; TERRES, A.L. da S. Melhoramento do arroz irrigado na EMBRAPA – CPACT. 9.Tolerância de genótipos à salinidade da água de irrigação, do início da diferenciação da panícula à maturidade safras 1995/96 e 1996/97. **Resumos da XXII Reunião da cultura do arroz irrigado**, Balneário Camboriú, SC, 1997. p. 68-71.

MACHADO, M.O.; TERRES, A.L. Tolerância de genótipos à salinidade do solo – safra 1994/1995. Reunião da Cultura do Arroz Irrigado, 21, 1995, Porto Alegre, RS. **Anais...** Porto Alegre: IRGA, 1995. p. 48-50.

MACHADO, M.O.; TERRES, A.L.; FAGUNDES, P.R.R. Melhoramento genético do arroz irrigado na Embrapa Clima Temperado: 8. Tolerância de genótipos à salinidade da água de irrigação, do início da diferenciação da panícula à maturidade- safras 1997/98 e 1998/99. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 1, Pelotas, 1999. **Anais...** Pelotas, Embrapa Clima Temperado, 1999. p. 103-106.

MAGALHÃES JÚNIOR, A. M.; GOMES, A. S.; SANTOS, A. B. **Sistema de cultivo de arroz irrigado no Brasil**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2004, 270p.

MAIA, J. M.; SILVA, S. L. F.; VOIGT, E. L.; MACÊDO, C. E. C. de; PONTE, L. F. A.; SILVEIRA, J. A. G. Atividade de enzimas antioxidantes e inibição do crescimento radicular de feijão caupi sob diferentes níveis de salinidade. **Acta Botanica Brasilica**, n.26, v.2, p.342-349, 2012.

MANSOUR, M. M. F.; SALAMA, K. H. A. Cellular basis of salinity tolerance in plants. **Environmental and Experimental Botany**, v. 52, n. 2, p. 113-122, 2004.

MANSOUR, M.M.F.; SALAMA, K.H.A. Al-MUTANA, M.M. Transport protein and salt tolerance in plants. **Plant Science**, v.146, n.6, p.891-900, 2003.

MARCOLIN, E.; ANGHINONI, I.; MACEDO, V. M.; GENRO JUNIOR, S. A.; VEZZANI, F. M. **Salinidade da água na cultura do arroz no Rio Grande do Sul**. Lavoura Arrozeira, Porto Alegre, v.53, p.27-38, 2005.

MARCONDES, J., GARCIA, A. B. Aspectos citomorfológicos do estresse salino em plântulas de arroz (*Oryza sativa* L.). **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 76, n. 02, p. 187-194, 2009.

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. ed. 5. Londrina: Abrates. 2015, 659p.

MARINHO, F.J.L; FERNANDES, J.D; TAVARES, A.C; SANTOS, S.A.; ROCHA, E.N.; DANTAS, J.P. Tolerância de genótipos de caupi à salinidade do solo. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v.4, p.1280-1284, 2009.

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

MENDES, J. S.; et al. Variabilidade temporal da fertilidade, salinidade e sodicidade de solos irrigados no município de Congo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.3, n.1, p.13-19, 2008.

MIELEZRSKI, F. SCHUCH, L.O.B.; PESKE, S.T.; PANOZZO, L.E.; CARVALHO, R.R.; ZUCHI, J. Desempenho em campo de plantas isoladas de arroz híbrido em função da qualidade fisiológica das sementes. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 31, n.3, p.87-95, 2009.

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 de Ciência do Solo**, v. 26, p. 957-965. 2002.

MITTLER, R. Oxidative Stress, antioxidants and stress tolerance. **Trends Plant Science**, v.7, p.405-410, 2002.

MOHARRAMNEJAD, S.; VALIZADEH, M. Assessment of oxidative stress tolerance in red bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seedling under salinity. **International Journal of Agronomy and Agricultural Research**, v. 5, n. 6, p. 49-56, 2014.

MOLLER, I.M.; JENSEN, P.E.; HANSSON, A. Oxidative modifications to cellular components in plants. **Annual Review of Plant Biology**, v.58, p.459-481, 2007.

MORALES, M. A.; OLMOS, E.; TORRECILLAS, A.; ALARCON, J. J. Differences in water relations, leaf ion accumulation and excretion rates between cultivated and wild species of *Limonium* sp. grown in conditions of saline stress. **Flora**, v.196, n.5, p.345-352, 2001.

MUNNS, R. Comparative physiology of salt and water stress. **Plant, Cell and Environmental**, v.25, n.2, p.239–250. 2002.

MUNNS, R.; SHARP, R.E. Involvement of abscisic acid in controlling plant growth in soils of low water potential. **Australian Journal of Plant Physiology**, v. 20, p. 425-437, 1993.

MUNNS, R.; TERMAAT, A. Whole plant responses to salinity. **Australian Journal Plant Physiology**, v.13, p.143-160, 1986.

MUSCOLO, A.; PANUCCIO, M. R.; HESHEL, A. Ecophysiology of *Pennisetum clandestinum*: a valuable salt tolerant grass. **Environmental and Experimental Botany**, v.92, p.55–63, 2013.

MUSCOLO, A.; SIDARI, M.; SANTONOCETO, C.; ANASTASI, U.; PREITI, G. Response of four genotypes of lentil to salt stress conditions. **Seed Science and Technology**, v.35, p.497–503, 2007.

NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados no desempenho das plântulas. In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA-NETO, J. B. **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, Cap. 2, p. 9-13. 1999.

NAKANO, Y.; ASADA, K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. **Plant Cell Physiology**, v.22, n.5, p.867-880, 1981.

NEDEL, J.L., SCHUCH, L.O.B., ASSIS, F.N., CARMONA, P.S. A planta de arroz: Morfologia e fisiologia. In: PESKE, S.T., SCHUCH, L.O.B., BARROS, A.A.S.A. **Produção de arroz irrigado**, 3ª edição revisada e ampliada, 2004, 623p.

NEUMANN, P. Salinity resistance and plant growth revisited. **Plant, Cell & Environment**, v.20, p.1193-1198, 1997.

NILSEN, E.T.; ORCUTT, D.M. **The Physiology of Plants under Stress – Abiotic factors**. New York, John Wiley and Sons, 1996.

NIU, X.; BRESSAN, R.A.; HASEGAWA, P.M.; PARDO, J.M. Ion homeostasis in NaCl stress environment. **Plant Physiology**, v.109, n.3, p.735-742, 1995.

NOBLE, C. L., ROGERS, M. E. Arguments for the use of physiological criteria for improving the salt tolerance in crops. **Plant Soil**, v. 146, p. 99-107, 1992.

NOVAIS, R. F.; MELLO, A. W. V. de. Relação Solo-Planta. In: NOVAIS, R. F.; et al. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p. 133-204. 2007.

O'LEARY, J. W. High humidity overcomes lethal levels of salinity in hydroponically grown salt-sensitive plants. **Plant and Soil**, v.42, P.717- 721, 1975.

OLIVEIRA, F. A.; MEDEIROS, J. F.; ALVES, R. C.; LIMA, L. A.; SANTOS, S. T.; RÉGIS, L. R. L. Produção de feijão caupi em função da salinidade e regulador de crescimento. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, v.19, n.11, 2015.

OLIVEIRA, M. Gênese, classificação e extensão de solos afetados por sais. In: Simpósio "Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada", 1997, Campina Grande, PB. **Anais...**, Campina Grande: UFPB, p. 3- 35, 1997.

PANDA, S.K.; KHAN, M.H. Growth, oxidative damage and antioxidant responses in greengram (*Vigna radiata* L.) under short-term salinity stress and its recovery. **Journal of Agronomy & Crop Science**, v.195, p.442-454, 2009.

PARENT, C.; CAPELLI, N.; BERGER, A.; CRÈVECOEUR, M.; DAT, J. F. An overview of plant responses to soil waterlogging. **Plant Stress**, v.2, p.20-27, 2008.

PARIDA, A.K.; DAS, A.B. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v.60. p.324–349, 2005.

PASSARDI, F.; PENEL, C.; DUNAND, C. Performing the paradoxical: how plant peroxidases modify the cell wall. **Trends in Plant Science**, v.9, p.534-540, 2004.

PEARSON, G. A. Factors influencing salinity of submerged soils ad growth of Caloro rice. **Soil Science**, v.87, p.198-206, 1959.

PEDÓ, T.; AUMONDE, T.Z.; LOPES, N.F.; VILLELA, F.A. MAUCH, C.R. Análise comparativa de crescimento entre genótipos de pimenta cultivados em casa de vegetação. **Bioscience Journal**, v.29, n.1, p.125-131, 2013.

PEREIRA, D.P.; BANDEIRA, D.L.; QUINCOZES, E. da R.F. (Ed.). **Cultivo do arroz irrigado no Brasil**. 2005. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Arroz/ArrozIrrigadoBrasil>>. Acesso em: 21 fev. 2017.

PEREZ, S. C. J. G. A. Crescimento e resistência à seca da algarobeira (*Prosopis juliflora* SW. DC.) cultivada em solo de cerrado, com ou sem adubo orgânico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.30, p.595-604, 1995.

PESKE, S.T.; VILLELA, F.A.; MENEGHELLO, G.E. **Sementes: Fundamentos Científicos e Tecnológicos**, 3 ed, 2012. 573p.

PIZA, I. M. T.; GIUSEPPINA, P. P.; BRASIL, O. G. Atividade de peroxidase e níveis de proteínas em plantas de abacaxizeiro micropropagadas em meio salino. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 9, n.4, p.361-366, 2003.

PRADO, R.M. **Nutrição de plantas**. São Paulo: UNESP, 2008. 408p.

PRISCO, J. T.; GOMES FILHO, E. Fisiologia e bioquímica do estresse salino em plantas. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. **Manejo da salinidade na agricultura**. Fortaleza, INCT Sal, 2010. p. 472.

PRISCO, J.T. Alguns aspectos da fisiologia do estresse salino. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo. v.2, p.85-94. 1980.

QADIR, M.; OSTER, J. D. Crop and irrigation management strategies for saline-sodic soils and waters aimed at environmentally sustainable agriculture. **Science of the total Environment**, v.323, n.1-3, p.1-19. 2004.

REGO, S. S.; FERREIRA, M. M.; NOGUEIRA, A. C.; GROSSI, F.; SOUSA, R. K.; BRONDANI, G. E.; ARAUJO, M. A.; SILVA, A. L. L. Estresse hídrico e salino na germinação de sementes de *Anadenanthera colubrina* (Veloso) Brenan. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 2, n. 4, p. 37-42, 2011.

RENGEL, Z. The role of calcium in salt toxicity. **Plant Cell Environment**, v. 15, p. 625-632, 1992.

RHOADES, J. D.; KANDIAH, A.; MASHALI, A. M. **Uso de águas salinas para produção agrícola**. Campina Grande: UFPB, 2000, 117p. Estudos da FAO, Irrigação e Drenagem, 48, revisado.

RIBEIRO, M. R. Origem e Classificação dos Solos Afetados por Sais. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. (Eds.). **Manejo da Salinidade na Agricultura: Estudos Básicos e Aplicados**. Fortaleza, INCTSal. p.11-19. 2010.

RIBEIRO, M. R.; BARROS, M. F. C.; FREIRE, M. B. G. S. **Química dos solos salinos e sódicos**. In: MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. (ed) In: Química e mineralogia do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. v.2., cap.19, p.449- 484, 2009.

RIBEIRO, M. R.; FREIRE, F. J.; MONTENEGRO, A. A. A. **Solos halomórficos no Brasil: Ocorrência, gênese, classificação, uso e manejo sustentável**. In: CURI, N.; MARQUES, J. J.; GUILHERME, L. R. G.; LIMA, J. M.; LOPES, A. S; ALVAREZ, V. H. (eds.). Tópicos em Ciência do Solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.3, p.165-208. 2003.

RICHARDSON, S.G.; McCREE, K.J. Carbon balance and water relations of sorghum exposed to salt and water stress. **Plant Physiology**, v.79, n.11 ,p.1015-1020, 1985.

RODRIGUES, L. N.; FERNANDES, P. D.; GHEYI, H. R.; NERY, A. R.; CORREIA, K. G. Produção de arroz em condições de salinidade a partir de mudas formadas com e sem estresse salino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, (suplemento), p. 95-100, 2005.

SANTANA, M. J.; CARVALHO, J. A.; SILVA, E. L.; MIGUEL, D. S. Efeito da irrigação com água salina em um solo cultivado com o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Ciência e Agrotecnologia**, v. 27, p. 443-450, 2003.

SANTOS, P. R. **Germinação, vigor e crescimento de duas cultivares de feijoeiro em soluções salinas**. 2006. 48 f. Dissertação (Mestrado em Solos e nutrição de plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2006.

SCHOSSLER, T.R.; MACHADO, D.M.; ZUFFO, A.M.; ANDRADE, F.R.; PIAUILINO, A.C. Salinidade: efeitos na fisiologia e na nutrição mineral de plantas. **Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer**, v.8, n.15; p.1563-1578, 2012.

SCIVITTARO, W. B.; COSTA J. E. T. da; GOMES, A. da S.; MAGALHÃES JUNIOR, A. M. de; FAGUNDES, P. R.R.; STEINMETZ, S; SEVERO, A. C. M.; TEIXEIRA J. B. Eficiência de uso da água de cultivares de arroz irrigado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 6.; REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 28, 2009, Porto Alegre, RS. **Anais...** Porto Alegre; IRGA, 2009. p. 223-226.

SCIVITTARO, W. B.; SILVA, R. S.; MARCO, E.; KLUMB, E. K.; SILVA, P. S. Tolerância de Genótipos de Arroz à Salinidade da Água de Irrigação na Fase Vegetativa. In: Reunião brasileira de fertilidade do solo e nutrição de plantas, 30.; Reunião brasileira sobre micorrizas, 14.; Simpósio brasileiro de microbiologia do solo, 12.; Reunião brasileira de biologia do solo, 9., Simpósio sobre selênio no Brasil. Maceio. A responsabilidade socioambiental da pesquisa agrícola: **Resumos**, Vicoça: SBCS, 2012. p. 1-4.

SERRANO, R., GAXIOLA, R. Microbial models and salt stress tolerance in plants. **Critical Review in Plant Science**, v. 13, p.121-138, 1994.

SERTÃO, M. A. J. **Uso de corretivos e cultivo do capim Urocloa (Urocloa mosambicensis (Hack.) Dandy) em solos degradados do Semi-árido**. 2005. 75f. (Dissertação – Mestrado) Universidade Federal de Campina Grande. Brasil, 2005.

SHIGEOKA, S.; ISHIKAWA, T.; TAMOI, M.; MIYAGAWA, Y.; TAKEDA, T.; YABUTA, Y.; YOSHIMURA, K. Regulation and function of ascorbate peroxidase isoenzymes. **Journal of Experimental Botany**, v.53, p.1305-1319, 2002.

SIDARI, M.; SANTONOCETO, C.; ANASTASI, U.; PREITI, G.; MUSCOLO, A. Variations in four genotypes of lentil under NaCl-salinity stress. **American Journal of Agriculture and Biological Science**, v.3, p.410–416, 2008.

SILVA, D.; PRUSKI, F.F. **Recursos hídricos e desenvolvimento sustentável da agricultura**. Brasília: MMA/ SBH/ABEAS, 1997. 252p.

SILVA, E. F. F. **Manejo da fertirrigação e controle da salinidade na cultura do pimentão utilizando extratores de solução do solo**. 2002. 136p. Tese (Doutorado em Agronomia/ Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luis de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SILVA, R. N.; LOPES, N. F.; DUARTE, G. L.; MORAES, D. M.; PEREIRA, A. L. A. Análise de crescimento de plantas de *hordeum vulgare* l. submetidas a estresse salino. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.13, n.4, p.455-463, 2007.

SILVA, S. M. S.; ALVES, A. N.; GHEYI, H. R; BELTRÃO, N. E. DE M.; SEVERINO, L. S.; SOARES, F. A. L. Desenvolvimento e produção de duas cultivares de mamoneira

sob estresse salino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, p.335-342, 2008.

SIMONOVICOVÁ, M.; HUTTOVÁ, J.; SIROKÁ, B.; TAMÁS, L. Root growth inhibition by aluminum is probably caused by cell death due to peroxidase-mediated hydrogen peroxide production. **Protoplasma**, v.224, p.91-98, 2004.

SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO. SOSBAI. **Arroz Irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil**. Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado. Pelotas, RS, SOSBAI, 2016, 200p.

SOUSA, G. B. **Interação biofertilizante x salinidade x volume de substrato na germinação e crescimento inicial do maracujazeiro-amarelo**. 2006. 78p. Dissertação Mestrado, Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2006

SOUSA, C. H. C. **Análise da tolerância a salinidade em plantas de sorgo, feijão de corda e algodão**. 2007. 73f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 2007.

SOUZA FILHO, G.A. de S.; FERREIRA, B.S.; DIAS, J.M.; QUEIROZ, K.S.; BRANCO, A.T.; BRESSAN-SMITH, R.E.; OLIVEIRA, J.G.; GARCIA, A.B. Accumulation of SALT protein in rice plants as a response to environmental stress. **Plant Science**, 164, n.4, p.623-628, 2003.

SOUZA, P. S. DE L.; BENEDITO, C. P. GOMES, M. D. DE A.; TORRES, S. B. Qualidade física e fisiológica de sementes de quiabo (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench) produzidas em diferentes lâminas de água salina. In: INOVAGRI International Meeting, 2, **Resumos...** Fortaleza, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.12702/ii.inovagri.2014-a033>. Acesso: 20 de Abril de 2017.

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.

SUDHAKAR, C.; LAKSHMI, A.; GIRIDARAKUMAR, S. Changes in the antioxidant enzyme efficacy in two high yielding genotypes of mulberry (*Morus alba* L.) under NaCl salinity. **Plant Science**, v.161, n.5, p.613-619, 2001.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858p.

TÁVORA, F. J. A. F.; FERREIRA, R. G.; HERNANDEZ, F. F. F. Crescimento e relações hídricas em plantas de goiabeira submetidas a estresse salino com NaCl. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.23, n.2, p.441-446, 2001.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Faculdade de Agronomia, Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995, 174p.

TESTER, M.; DAVENPORT, R. Na⁺ tolerance and Na⁺ transport in higher plants. **Annals of Botany**, v.91, p.503-527, 2003.

TRAVASSOS, K. D.; SOARES, F. A. L.; GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; NOBRE, R. G. Crescimento e produção de flores de girassol irrigado com água salobra. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.5, n. 2, p.123–133, 2011.

VAN NGUYEN, N.; FERRERO, A. Meeting the challenges of global rice production. **Paddy and Water Environment**, v.4, p.1-9, 2006.

VAUGHAN, D. A., MORISHIMA, H.; KADOWAKI, K. Diversity in the *Oryza* genus. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 6, n. 2, p 139-146, 2003.

VELIKOVA, V.; YORDANCV, I.; EDREVA, A. Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain-treated bean plants. Protective role of exogenous polyamines. **Plant Science**, v. 151, p. 59-66, 2000.

VIANA, A.P; BRUCKNER, C.H.; MARTINEZ, H.E.P; MOSQUIM, P.R. et al. Características fisiológicas de portaenxertos de videira em solução salina. **Scientia Agrícola**, v.58, n.1, p.158-165, 2001.

VIEIRA, R.D.; CARVALHO, N.M. **Testes de vigor em sementes**. Jaboticabal: FUNEP, 1994. 164p.

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

VRANOVÁ, E.; ATICHARTPONGKUL, S.; VILLARROEL, R.; MONTAGU, M. V.; INZÉ, D.; CAMP, W. V. Comprehensive analysis of gene expression in *Nicotiana tabacum* leaves acclimated to oxidative stress. **Proceeding of the National Academy of Science of the United States of America**, v.99, n.16, p.10870-10875, 2002.

WELFARE, K.; FLOWERS, T.J.; TAYLOR, G.; YEO, R. Additive and antagonistic effects of ozone and salinity on the growth, ion contents and gas exchange of five varieties of rice (*Oryza sativa* L.). **Environmental Pollution**, v.92, p.257-256, 1996.

WILLADINO, L.; CAMARA, T.R. Tolerância das plantas à salinidade: aspectos fisiológicos e bioquímicos. **Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer**, v.86, n.11; p.1-23, 2010.

WILLADINO, L.; CAMARA, T.R.; BOGET, N.; SANTOS, M.; TORNÉ, J.M. Polyamines and free amino acid variation in NaCl-treated embryogenic maize callus from sensitive and resistant cultivars. **Journal of Plant Physiology**, v. 149, p. 179185, 1996.

YANIK, T.; DONALDSON, R. P. A protective association between catalase and isocitrate lyase in peroxisomes. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, v.435, p.243-252, 2005.

YEO, A.R.; FLOWERS, T.J. Varietal differences in the toxicity of sodium ions in rice leaves. **Physiologia Plantarum**, v.59, p.189-195, 1983.

YOSHIDA, S. **Fundamentals of rice crop science**. Los Baños, IRRI, 1981. 269p.

ZENG, L.; SHANNON, M. C.; LESCH, S. M. Timing of salinity stress affects rice growth and yield components. **Agricultural Water Management**, v.48, p. 191-206, 2001.

ZHANG, J.; KIRKHAM, M.B. Lipid peroxidation in sorghum and sunflower seedlings as affected by ascorbic acid, benzoic acid, and propyl gallate. **Journal of Plant Physiology**, v.149, n.5, p.489-493, 1996.

ZHU, J. K. Plant salt stress. **Encyclopedia of life sciences**. 2007. Disponível em: <<http://dx.doi.10.1002/9780470015902.a0001300.pub2>>. Acesso em: 10 Abr. 2017.

ŽIVKOVIĆ, S., DEVIĆ, M., FILIPOVIĆ, B., GIBA, Z. and GRUBIŠIĆ, D. Effect of NaCl on seed germination in some Centaurium Hill. species (Gentianaceae). **Archives of Biological Sciences**, v.59, n.3, p.227-231. 2007.