

Salinidade: reflexo no acúmulo de sódio e de macronutrientes na parte aérea de plantas de arroz irrigado

Elisa Lemes, Andre de Mendonça, Sandro de Oliveira, Edinilson das Neves, Ronan Ritter, Silvana Fin, Geri Meneghello

Universidade Federal de Pelotas, Rua Gomes Carneiro, n. 1, Centro, CEP 96010-610, Pelotas, RS, Brasil. e-mails: lemes.elisa@yahoo.com.br, andre_mendonca@hotmail.com, sandrofaem@yahoo.com.br, edinilson.neves@gmail.com, ronanritter@hotmail.com, silvana_fin@hotmail.com, gmeneghello@gmail.com

Resumo: Objetivou-se avaliar o acúmulo de sódio e macronutrientes na parte aérea das plantas de duas cultivares de arroz em função do efeito do estresse salino em diferentes fases do desenvolvimento da cultura. O experimento foi conduzido em casa de vegetação e no Laboratório Didático de Análise de Sementes (LDAS). O estresse salino foi obtido pela irrigação com solução de cloreto de sódio (NaCl) na concentração de 12 mM. O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados com esquema de parcelas subdivididas, 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. Com base nos resultados obtidos, conclui-se que 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. O acúmulo de P, Ca, Mg e N em situação de salinidade nos diferentes períodos de estresse não diferiram do controle. A cultivar IRGA 417 apresenta maior acúmulo de nutrientes do que a BRS Bojuru. 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.

Palavras chave: *Oryza sativa* L., Estresse salino, Acúmulo de íons.

Salinity: effect on the accumulation of sodium and macronutrients in the shoot of irrigated rice plants

Abstract: The aim of this study was to evaluate the sodium and macronutrients accumulate in the shoot of two rice cultivars as affected by saline stress in different stages of its cycle. The experiment was conducted in nursery pots in a greenhouse and in the Seed Laboratory. The level of salinity was 12 mM kept in the water layer by adding a salt solution of sodium chloride. The experiment model used was a randomized block design arranged in a split-plot scheme, the plots consisted of different stages of rice development (C- Check control; EM- from emergence (E) to harvest maturity (M); EAN- from emergence to anthesis (AN); E35- from emergence to 35 days after emergence; 35AN- from 35 days after emergence to anthesis; and, ANM- from anthesis to harvest) and the subplots consisted of two rice cultivars (IRGA 417 e BRS Bojuru) with four replications. Salt stress in all rice development cycle (EM) and between emergence and anthesis (EAN, E35, and 35AN) affects the nutrients accumulation in both cultivars. The P, Ca, Mg, and N accumulation under salinity do not differ significantly from control. IRGA 417 cultivar shows higher accumulation of nutrients than BRS Bojuru cultivar. BRS Bojuru cultivar is more stable in the potassium accumulation even with increased sodium in its tissues. The ionic ratios show that the cultivars have different adaptations to salt stress.

Keywords: *Oryza sativa* L., Salt stress, Ion accumulation.

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, sendo a maior área afetada na região Nordeste do país (Ribeiro et al., 2016). 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 os 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.) (Ghafoor et al., 2004, Qadir, Oster, 2004 & Ribeiro et al., 2016). 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^- 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).

O menor crescimento das plantas, devido à salinidade, pode ser atribuído a redução na absorção de alguns dos principais nutrientes (nitrogênio, enxofre, cálcio e magnésio), uma vez que estes são absorvidos por fluxo de massa (Schossler et al., 2012), efeito semelhante ao observado em solos compactados (Novais & Mello, 2007). A quantidade elevada de sais afeta o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade da cultura (Carmona, Anghinoni & Weber, 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. Desta forma, torna-se necessário estudos que avaliem os 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, o objetivo deste trabalho foi avaliar o acúmulo de sódio e macronutrientes na parte aérea das plantas de duas cultivares de arroz em função do efeito do estresse salino em diferentes fases do desenvolvimento da cultura.

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 da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel da Universidade Federal de Pelotas [FAEM/UFPe]. Foram utilizadas sementes das cultivares: 1) IRGA 417 - ciclo médio, porte baixo, grãos longos e finos, resistente ao acamamento, alta capacidade de afilamento e suscetível a salinidade; 2) BRS Bojuru – subespécie japônica, ciclo médio, grãos curtos, porte médio e tolerante à salinidade.

O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados com esquema de parcelas subdivididas, sendo a parcela composta pelo estresse salino em 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.

O experimento foi desenvolvido na safra agrícola 2014/15, sendo a semeadura realizada em vasos de alumínio, preenchidos com 12 L de solo peneirado. O solo foi 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). 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. 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 estresse salino foi obtido pela irrigação com solução de cloreto de sódio (NaCl) na concentração de 12 mM durante cada período de estresse.

O tecido vegetal para análise do teor de sódio (Na) e macronutrientes (N, P, K, Ca e Mg) foi coletado de perfilhos velhos aleatórios da parte aérea das plantas, quando estas estavam no estádio R9. O material vegetal foi acondicionado em sacos de papel e mantido em estufa com circulação a 60 °C por 72 h. 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^+ , $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ e $\text{Na}^+/\text{Mg}^{2+}$.

Os dados foram analisados quanto à normalidade e homocedasticidade, se não atendidas as condições, foram realizadas as transformações de dados necessárias e, posteriormente, submetidos à análise de variância ($p < 0,05$). Sendo significativas pelo teste "F", as médias de período de estresse e cultivar foram comparadas pelo teste de Tukey todos a 5% de probabilidade. Para análise estatística utilizou-se o software R, versão 3.1.2 (R Core Team, 2014).

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 1). 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 a concentração 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. Para as relações iônicas da parte aérea das cultivares de arroz, pode-se inferir que os períodos de estresse (E) e a cultivar (C) tem efeito sobre as três relações. Verificou-se, também, interação E*C sobre a relação Na/K e Na/Ca no tecido vegetal.

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 1). 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 1), 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).

Tabela 1 - Análise de variância do teor de macronutrientes, sódio e das relações sódio/potássio (Na/K), sódio/cálcio (Na/Ca) e sódio/magnésio (Na/Mg) 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	Na/K	Na/Ca	Na/Mg
Estresse (E)	5	*	*	*	*	NS	*	*	*	*
Blocos (B)	3	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Resíduo a (Ra)	15									
Parcela	23									
Cultivar (C)	1	*	*	*	*	*	*	*	*	*
E*C	5	*	NS	*	NS	NS	*	*	*	NS
Resíduo b (Rb)	18									
C.V Ra (%)		13,36	12,69	15,04	5,73	10,14	15,25	29,33	20,62	25,87
C.V Rb (%)		10,18	17,64	8,99	8,87	9,27	9,95	20,05	16,49	19,04

* Significativo a 0,05% de probabilidade pelo teste F. NS, não significativo.

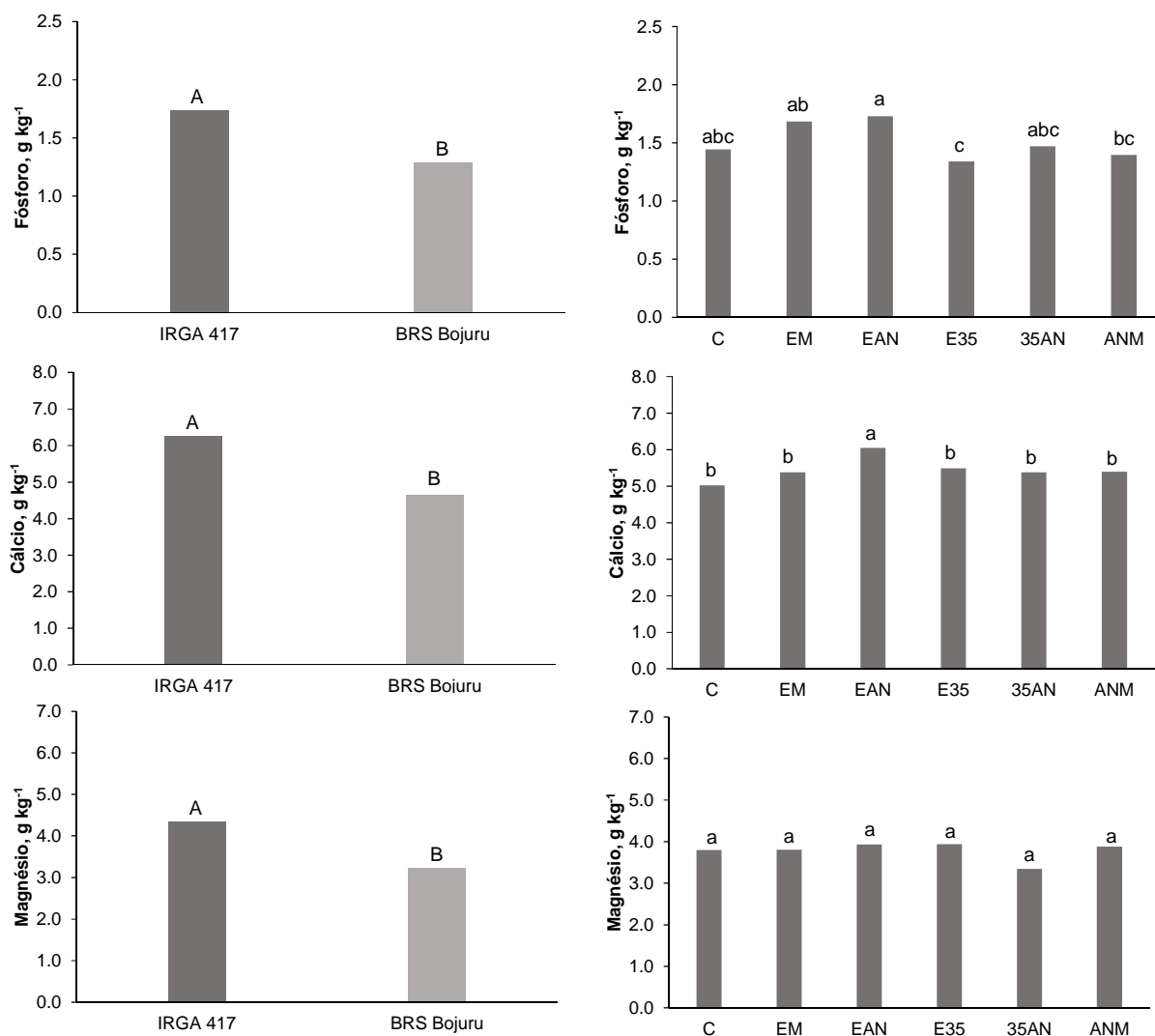
Ao observar o acúmulo de Ca na parte aérea das plantas, os níveis de estresse C, EM, E35, 35AN e ANM foram inferiores ao EAN. O menor desenvolvimento vegetal ocasionado pela salinidade, geralmente tem sido atribuído à redução na absorção de nutrientes, principalmente o K e Ca (Farias, 2008, Schossler 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, Tabosa, 2000, Epstein & Bloom, 2006). Diversos trabalhos têm demonstrado que a salinidade pode induzir deficiência de cálcio em plantas de milho (Azevedo, 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 1), não foi observado diferença significativa entre os períodos de estresse. Resultados encontrados na literatura sobre as concentrações deste nutriente em plantas cultivadas sob estresse salino são controversos. Azevedo 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 et al., 1995) ou reduzir nas diferentes partes das plantas com o incremento do estresse salino (Kawasaki, Akiba & Moritsugu, 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 nucléicos 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 1 - Teor 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.



*Médias seguidas pela mesma letra maiúscula (entre cultivares) e minúscula (entre períodos de estresse), 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.

Em relação ao teor de nitrogênio (Figura 2A), 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

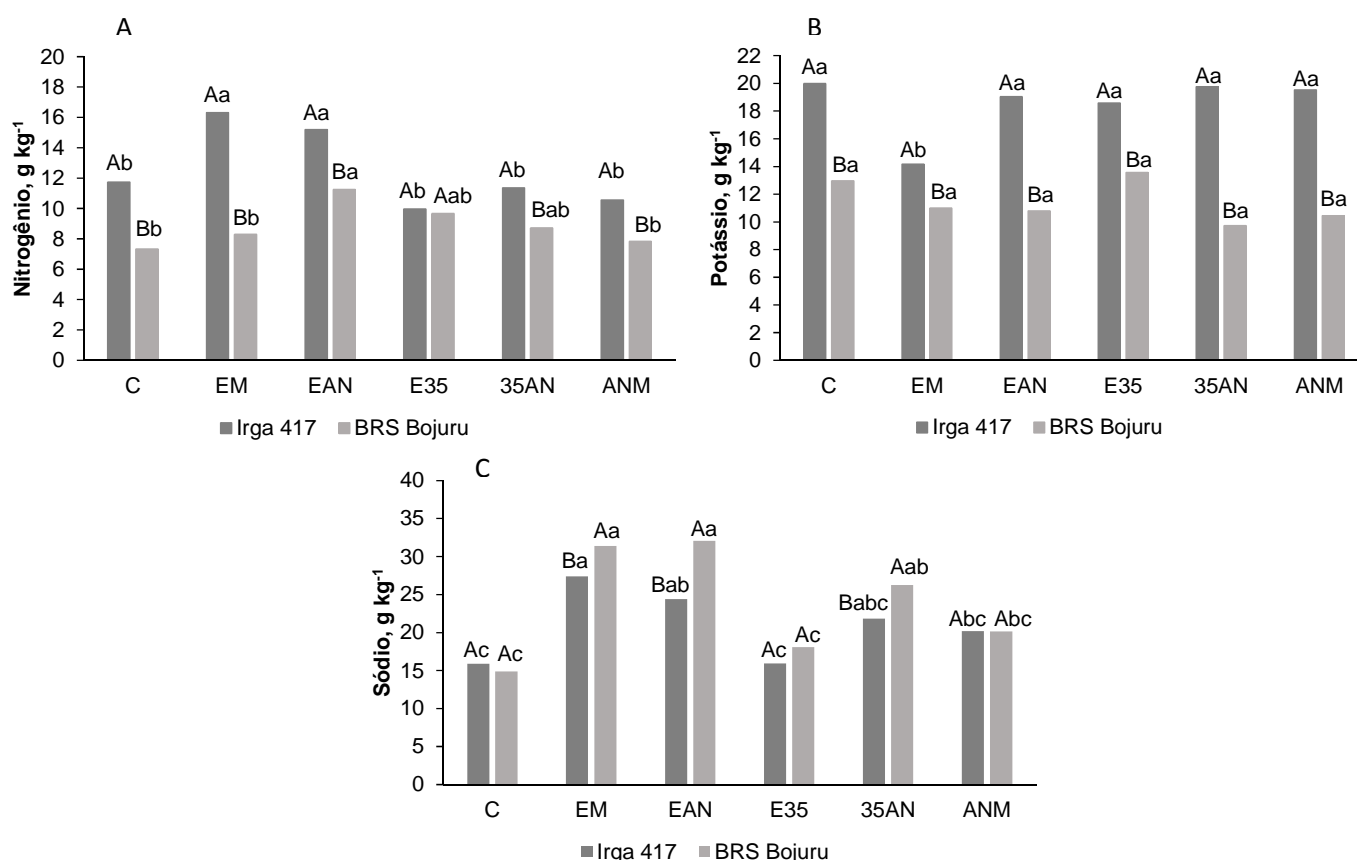
correspondem ao estresse durante todo o ciclo da cultura e durante o período que compreende a emergência e a antese, respectivamente. Da mesma forma, constatou-se diferença no acúmulo de N na parte aérea de plantas de arroz da cultivar

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 glicíndia, inferiram que 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^- 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 ($8,01 \text{ g kg}^{-1}$).

Figura 2 - Teor 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 maiúscula (entre cultivares) e minúscula (entre períodos de estresse) 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.

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 2B). 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, 2000) e ribossomos (Tester & Davenport, 2003). O resultado obtido com estas plantas expostas durante todo o ciclo à salinidade (EM), corrobora com os autores supracitados, uma vez que a planta acumulou mais Na (Figura 2C) 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 2B). 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 2C). 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).

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 2C), 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.

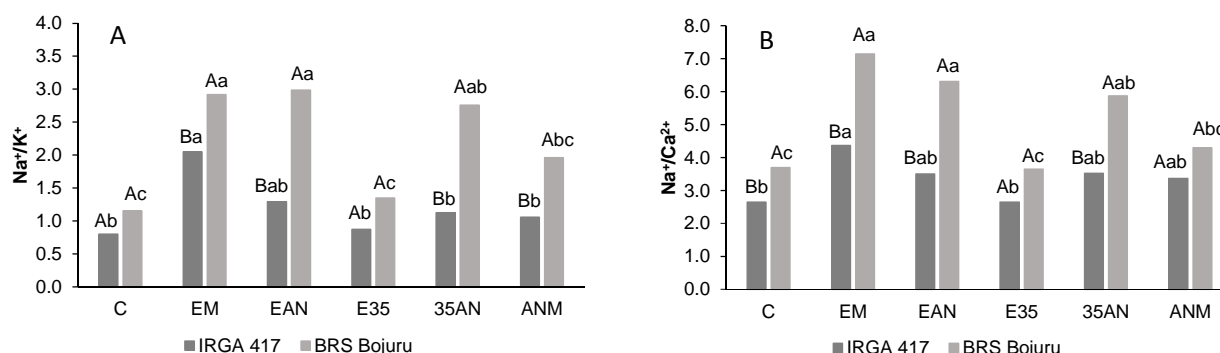
Ainda ao observar os resultados da Figura 2C, de modo geral, estas plantas acumularam mais sódio que as plantas do controle (C), isso corrobora com Tester e Davenport (2003), os quais afirmaram que plantas submetidas ao estresse salino tendem a acumular mais sódio na parte aérea, pois o transporte do 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, 2002). Outra estratégia é a adaptação das plantas aos elevados níveis de salinidade, muitas vezes compartimentalizando o íon dentro dos vacúolos.

A determinação das relações do sódio com o potássio, cálcio e magnésio (Na^+/K^+ , Na^+/Ca^{2+} e Na^+/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 3A). O

mesmo foi observado para a cultivar BRS Bojuru, no entanto, essa relação foi mais alta nas plantas submetidas ao estresse durante EM, EAN e 35AN.

Figura 3 - Relação sódio/potássio (A), sódio/cálcio (B) da parte aérea de plantas de arroz das cultivares IRGA 417 e BRS Bojuru, cultivadas sob diferentes períodos de estresse.



*Médias seguidas pela mesmamarca maiúscula (entre cultivares) e minúscula (entre períodos de estresse) 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).

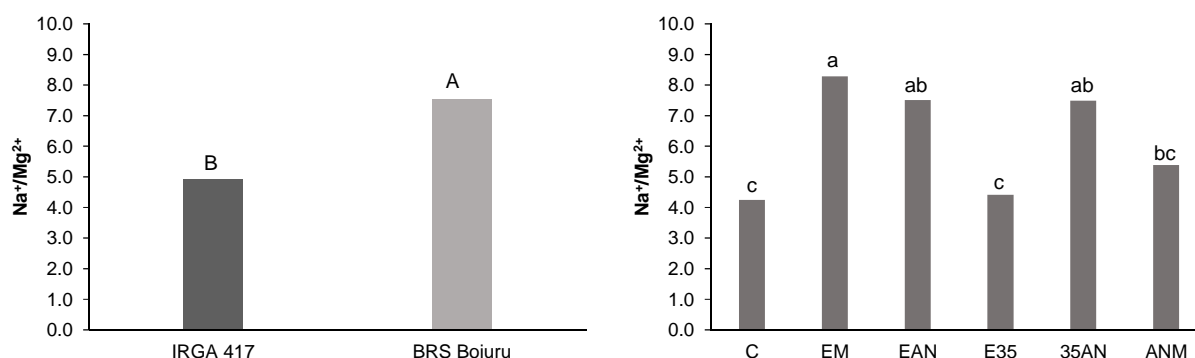
Apesar de ser observado que a cultivar BRS Bojuru, considerada tolerante ao estresse salino, apresentou maior relação Na/K em certos períodos de estresse (EM, EAN, 35AN e ANM), esta teve um padrão no acúmulo de potássio mesmo com alta concentração de sódio nos tecidos. Ferreira et al. (2005) verificou 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 3B). 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 & Tabosa, 2000).

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 4). Além disso, a maior relação Na/Mg foi constatada nas plantas que passaram por estresse durante EM, EAN e 35AN.

Figura 4 - Relação sódio/magnésio 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 maiúscula (entre cultivares) e minúscula (entre períodos de estresse), 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.

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. 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.

Conclusão

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

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

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.

Referências

- Azevedo Neto, A. D., & Tabosa, J. N. (2000). Estresse salino em plântulas de milho: Parte II distribuição dos macronutrientes catiônicos e suas relações com sódio. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 4 (2), 165-171.
- Azevedo Neto, A.D., et al. (1995). Efeito da salinidade sobre os teores de macronutrientes em duas cultivares de sorgo cultivadas em solução nutritiva. *Resumos do Congresso Brasileiro da Ciência do Solo* (v. 3, pp.1345-1347). Viçosa, MG: SBCS, 25.
- Bernstein, L. (1961). Tolerance of plants to salinity. *Proceedings of American Society of Civil Engineering*, 87 (4), 1-12,

- Blumwald, E. (2000). Sodium transport and salt tolerance in plant cells. *Current Opinion of Cell Biology*, 12 (4), 76-112.
- Carmona, F. C., et al. (2009). 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*, 33, 371-383.
- Carmona, F. C., Anghinoni, I., & Weber, E. (2011). *Salinidade da água e do solo e seus efeitos sobre o arroz irrigado no Rio Grande do Sul* (Boletim Técnico n. 10, 54p). Porto Alegre: IRGA.
- Cavalcante, L. F., et al. (2010). Fontes e níveis da salinidade da água na formação de mudas de mamoeiro cv. Sunrise solo. *Semina: Ciências Agrárias*, 31 (1), 1281-1290.
- Coelho, D. S. (2013.). *Influência da salinidade nos aspectos nutricionais e morfofisiológicos de genótipos de sorgo forrageiro* (85f). Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro, BA, Brasil.
- Comissão de Química e Fertilidade do Solo (2004). *Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina* (10. ed., 400p). Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.
- Cruz, J. L., et al. (2006). Influência da salinidade sobre o crescimento, absorção e distribuição de sódio, cloro e macronutrientes em plântulas de maracujazeiro-amarelo. *Bragantia*, 65 (2), 275-284,
- D'Almeida, D. M. B. A., et al. (2005). Importância relativa dos íons na salinidade de um Cambissolo na Chapada do Apodi, *Engenharia Agrícola*, 25 (3), 615- 621.
- Epstein, E. & Bloom, A. J. (2006). *Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas* (403p). Londrina: Editora Planta.
- Fageria, N. K. (1985). Salt tolerance of rice cultivars. *Plant and Soil*, 88, 237-243,
- Farias, S. G. G. (2008) .*Estresse osmótico na germinação, crescimento e nutrição mineral de glicirídia (Gliricidia sepium (Jacq.)* (61f). Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, Brasil.
- Farias, S. G. G., et al. (2009). Estresse salino no crescimento inicial e nutrição mineral de Gliricídia (*Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunt ex Steud) em solução nutritiva. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33 (5), 1499-1505.
- Ferreira, P. A., et al. (2005). Estresse salino em plantas de milho: II – Macronutrientes catiônicos e suas relações com o sódio. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 9 (supl.), 11-15. 2005.
- Foundation for Statistical Computing. (2014). *R core Team: a language and environmental for Statistical computing* (Version 3.1.2.) Vienna, Austria: Foundation for Statistical Computing. Recuperado de URL <https://www.R-project.org/>.
- Garcia, A., et al. (1997). 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*, 20 (9), 1167-1174.
- Ghafoor, A., Qadir, M., & Murtaza, G. (2004). *Salt affected soils: Principle of management* (pp.183-215). Lahore, Pakistan: Allied Book Centre.
- Gheyi, H. R. (2000). Problemas de salinidade na agricultura irrigada. In: Oliveira, T., et al. (Eds.). *Agricultura, sustentabilidade e o semiárido* (pp.329-345). Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.
- Grattan, S. R., & Grieve, C. M. (1999). Salinity-mineral nutrient relations in horticultural crops. *Scientia Horticulturae*, 78 (1/4), 127-157,
- Greenway, H., & Munns, R. (1980). Mechanisms of salt tolerance in crop plants. *Plant Physiology*, 31, 149-190.
- Kawasaki, T., Akiba, T., & Moritsugu, M. (1983). 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*, 75, 75- 85.

- Lucena, C. C., et al. (2012). Efeito do estresse salino na absorção de nutrientes em mangueira. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 34 (1), 297-308.
- Maas, E. V., & Hoffman, G.J. (1977). Crop salt tolerance - current assessment. *Journal of Irrigation and Drainagem Division*, 103, 115-134,
- Mansour, M. M. F., & Salama, K. H. A. (2004). Cellular basis of salinity tolerance in plants. *Environmental and Experimental Botany*, 52 (2), 113-122.
- Marschner, H. (1995). *Mineral nutrition of higher plants* (2 ed., 889p). London: Academic.
- Munns, R. (2002). Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell and Environmental*, 25 (2), 239–250.
- Novais, R. F., & Mello, A. W. V. (2007). Relação solo-planta. In: Novais, R. F., et al. *Fertilidade do solo* (pp. 133-204). Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.
- Parida, A. K., & Das, A. B. (2005). Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 60 (3), 324–349.
- Qadir, M., & Oster, J. D. (2004). Crop and irrigation management strategies for saline-sodic soils and waters aimed at environmentally sustainable agriculture. *Science of the total Environment*, 323 (1-3), 1-19.
- Rhoades, J. D., Kandiah, A., & Mashali, A. M. (2000). *Uso de águas salinas para produção agrícola* (Estudos da FAO, Irrigação e Drenagem, n. 48, 117p). Campina Grande: UFPB.
- Ribeiro, M. R., et al. (2016). 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* (pp.12-20). Fortaleza: INCTSal.
- Schossler, T. R., et al. (2012). Salinidade: efeitos na fisiologia e na nutrição mineral de plantas. *Enciclopédia Biosfera*, 8 (15), 1563-1578.
- Streck, E. V., et al. (2008). *Solos do Rio Grande do Sul* (2 ed. rev. ampl., 222p). Porto Alegre: EMATER/RSASCAR.
- Taiz, L., et al. (2017). *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. (6 ed., 858p). Porto Alegre: Artmed.
- Tedesco, M. J., et al. (1995). *Análises de solo, plantas e outros materiais* (2 ed. rev. e ampl., 174p). Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia.
- Tester, M., & Davenport, R. (2003). Na⁺ tolerance and Na⁺ transport in higher plants. *Annals of Botany*, 91 (5), 503-527.
- Willadino, L. & Camara, T. R. (2010). Tolerância das plantas à salinidade: aspectos fisiológicos e bioquímicos. *Enciclopédia Biosfera*, 86 (11), 1-23.

Recebido em: 15/02/2018

Aceito em: 12/08/2021