

Seleção de Variedades Sacarinas de *Sorghum bicolor* Tolerantes à Salinidade*

Marta Maria Amâncio do Nascimento¹, Carlos Vinicius Carvalho do Nascimento², Márcia do Vale Barreto Figueiredo³, José Nildo Tabosa⁴ e Cosme Rafael Martínez⁵

^{2,5}Departamento de Química da Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, PB crmartinez@quimica.ufpb.br e ^{1,5}Pós-graduação em Biotecnologia-RENORBIO-PB marta.amancio@ipa.br e ^{1,3,4}Instituto Agrônômico do Pernambuco, Recife, PE nildo.tabosa@ipa.br

RESUMO – A salinidade é um problema edáfico comum nas áreas agrícolas do semiárido brasileiro que afeta as atividades agropecuárias. O sorgo sacarino é visto como uma alternativa para a região pela adaptação natural a esse ambiente e pelos seus atributos de interesse agroindustrial. Neste trabalho avaliou-se a tolerância à salinidade do sorgo sacarino em laboratório. Doze variedades de sorgo sacarino (Rio, BR 501, BR 506, Roma, Ramada, Tale, Theis, Willey, Wray, IPA 467-4-2, SF-15 e IPA 8602502) e uma forrageira (Sudan-4202) foram cultivadas (30 dias em câmara de crescimento com solução Hoagland) sob condição salina ou não (75 e 8 mM NaCl). O estresse reduziu a altura das plantas (23 %) e o teor de clorofila (20%). As variedades IPA 8602502, Rio, Tale e BR 501 tiveram destaque pela alta tolerância à salinidade, mostrando as menores reduções nas taxa de consumo de água (TCA: $\pm 38\%$) e na produção de massa seca (MST: $< 40\%$). Entretanto, Ramada mostrou alta susceptibilidade devido as fortes reduções na TCA ($\pm 74\%$) e na MST ($\pm 74\%$). Constatou-se haver fatores de tolerância à salinidade disponíveis para serem prospectados e com potencial aplicabilidade nos programas de melhoramento do sorgo.

Palavras-chave: Sorgo, sacarino, estresse salino.

Introdução

Salinização é o aumento da concentração de sólidos totais dissolvidos no solo, reduzindo dramaticamente a produtividade de muitas culturas (KRISHNAMURTHY et al., 2007). O estresse salino afeta virtualmente todos os aspectos da fisiologia e metabolismo das plantas. Seus efeitos deletérios no crescimento das plantas estão associados com a redução do potencial osmótico da solução do solo (estresse hídrico), distúrbios nutricionais, efeito específico de alguns íons (estresse iônico) ou uma combinação desses fatores (MUNNS, 2002). Neste contexto, o sorgo sacarino [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] apresenta-se como uma alternativa promissora para a produção de etanol e material forrageiro em regiões áridas e semiáridas, onde os estresses hídrico e salino limitam o desenvolvimento da maioria das culturas, tanto por ser uma gramínea de comprovada resistência à seca, como também adaptada às condições edáficas destas regiões (REIS, 1992). Vários trabalhos têm relatado a presença de uma ampla variação genotípica para a tolerância à salinidade em sorgo, oferecendo um bom escopo para integrar características de tolerância em programas de melhoramento adequadas para aumentar a produtividade das culturas em solos salinos (KRISHNAMURTHY et al., 2007). O objetivo deste trabalho foi selecionar variedades de sorgo sacarino tolerantes ao estresse salino na sua

*Fomento: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq;

²Bolsista de Iniciação Científica - PIBIC/CNPq/UFPB, carlosnascimento.bio@gmail.com

fase inicial de desenvolvimento sob cultivo hidropônico em laboratório.

Material e Métodos

As sementes de sorgo forrageiro-sacarino de ciclo tardio T-FS (Rio, BR 501, BR 506, Roma, Ramada, Tale, Theis, Willey, Wray, IPA 467-4-2 e SF-15), sorgo granífero-sacarino de ciclo precoce P-GS (IPA 8602502) e sorgo forrageiro de ciclo precoce T-F (*S. sudanense* (Piper) Stapf. variedade Sudan-4202) foram obtidas do Instituto Agrônomo de Pernambuco-IPA. As plantas foram cultivadas em solução nutritiva (SN) de Hoagland (pH 6,5) e concentração de N de 20 mM sob condições controladas de câmara de crescimento conforme Nascimento et al. (2012). Para isto, foram utilizados potes plásticos (550 mL) com tampas perfuradas preenchidos com 780 g de areia previamente homogeneizada (10-30 Mesh), lavada (água destilada), seca e autoclavada. Sete dias após a semeadura (9 sementes/pote) iniciou-se a renovação semanal da SN (por sucção, mantendo-se 65-70 % da capacidade máxima de retenção da areia) e a aplicação do N ($\text{NO}_3^- : \text{NH}_4^+$ (2:1)). O desbaste foi realizado (14 d após semeadura) deixando-se 2 plantas/pote. Foram incluídos controles (potes + areia + SN) para monitorar a evaporação. A reposição da água evapotranspirada foi por compensação gravimétrica. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 13 com dois blocos (2 repetições/bloco). Os fatores estudados foram: a) salinidade (8 e 75 mM NaCl) e b) variedades (treze genótipos de sorgo), tendo a Sudan-4202 como referência para salinidade.

Após 30 d de cultivo processou-se a coleta do experimento e as medidas do teor de clorofila foliar (CT), diâmetro do caule (DC), massas verde e seca (70° C, circulação ar) da parte aérea (MVPA e MSPA), do caule (MSC) e da raiz (MVR e MSR). O consumo de água e a altura das plantas foram monitorados durante o cultivo e as taxas de consumo de água (TCA) e de crescimento (TC) foram estimadas. Outras variáveis derivadas foram incluídas. As análises de variâncias foram realizadas com o programa Statistica 6.0 (StatSoft, Inc., Tulsa, OK). Efeitos dos fatores foram avaliados pelo teste F e médias dos tratamentos comparadas pelo HSD de Tukey (P<0,05).

Resultados e Discussão

A intensidade do estresse salino imposto (75 mM NaCl) afetou significativamente o sorgo (Tabela 01) que desenvolveu plantas menores • redução da altura (em - 23%) e do DC (- 30 %) • e menos suculentas (aumento de 2,6 % MSPA) com menos CT (-20 %), o que

resultou em forte diminuição (-46 %) no índice MSPA/CT. Nesse contexto, a produção de biomassa na parte aérea do sorgo foi mais sensível (queda 17 % na MVPA/MVR) ao estresse salino, especificamente a produção de biomassa foliar (diminuição de 0,20 g MSF por g MSC). Maior redução da produção de matéria seca da parte aérea em relação à raiz no sorgo em resposta à salinidade sob o cultivo hidropônico também foi observada em Lacerda et al. (2001) e Nascimento et al. (2012). Este efeito pode ser o resultado da alteração na distribuição/alocação dos fotossintatos na planta (SILVA et al., 2003; AQUINO et al., 2007), que em condição de estresse salino podem ser direcionados preferencialmente para a produção/manutenção da biomassa da raiz em resposta a um processo adaptativo das plantas.

A variedade Sudan-4202 (P-F) teve as plantas mais altas (61,5 cm). As variedades Rio, Wray e Willey (T-FS) mostraram plantas altas ($\pm 55,3$ cm), contudo, a Rio não se diferenciou da Sudan-4202 (Tabela 02). Destas quatro variedades, as maiores concentrações foliares CT foram encontradas em Rio e Sudan-4202 ($\pm 3,0$ mg/g MV), seguidas por Wray e Willey que mostraram concentrações de CT intermediárias ($\pm 2,4$ mg/g MV). A variedade Rio apresentou mais alta % MSPA (13,1 %) e Willey uma baixa % MSPA (11,1 %), já Sudan-4202 e Wray mostraram % MSPA intermediárias ($\pm 12,0$ %). Quanto à eficiência de uso de água para produzir MSPA (MSPA/TCA), a variedade Wray destacou-se como a mais eficiente (0,109 g/(mL•d⁻¹)). As variedades Willey, Rio e Sudan-4202 tiveram eficiências intermediárias ($\pm 0,100$ g/(mL•d⁻¹)). Essa MSPA produzida foi quantitativamente superior à gerada pela raiz nas variedades Wray e Willey (MSPA/MSR: $\pm 4,4$ g/g), entretanto, na Rio e na Sudan-4202 as proporções foram consideradas intermediárias ($\pm 3,2$ g/g), sendo que na Willey e na Sudan-4202 essa produção de MSPA foi pela menor contribuição da MS do caule ($\pm 2,4$ MSF/MSC) em relação às variedades Rio e Wray ($\pm 2,9$ MSF/MSC).

As variedades BR 506, Theis, Tale, Roma e Ramada (T-FS) mostraram valores intermediários no teor de CT foliar ($\pm 2,43$ mg/g MV) e nas proporções MSPA/MSR produzidas ($\pm 3,6$ g/g) com uma melhor contribuição da MSF na formação da MSPA ($\pm 2,9$ MSF/MSC). As plantas das variedades BR 506, Tale, Roma e Theis apresentaram alturas baixas ($\pm 45,5$ cm) e % MSPA intermediárias ($\pm 12,1$ %), enquanto que Ramada apresentou as plantas mais baixas (39,6 cm) com alta % MSPA (13,0 %). Roma apresentou baixa eficiência no uso de água (0,085 g/(mL•d⁻¹)), enquanto que Ramada, BR 506 e Theis apresentaram eficiências intermediárias (0,090 g/(mL•d⁻¹)) e a Tale se destacou por ser a mais eficiente (0,111 g/(mL•d⁻¹)).

As variedades IPA 8602502 (P-GS) e BR 501 (T-FS) mostraram plantas baixas ($\pm 42,7$

cm) com, respectivamente, intermediária (2,84 mg/g MV) e mais baixa (1,84 mg/g MV) concentração foliares CT. Ambas as variedades tiveram intermediária % MSPA ($\pm 11,9$ %). Estas variedades mostraram, respectivamente, a mais baixa ($0,080 \text{ g}/(\text{mL}\cdot\text{d}^{-1})$) e intermediária ($0,095 \text{ g}/(\text{mL}\cdot\text{d}^{-1})$) uso eficiente da água assim como uma intermediária (3,44 g/g) e baixa (2,93 g/g) proporção de MSPA/MSR em que as MSPA produzidas foram principalmente originadas da massa foliar (MSF/MSR: $\pm 3,6 \text{ g/g}$).

As variedades IPA 467-4-2 e SF-15 (ambas T-FS) mostraram plantas com altura intermediária ($\pm 49,5 \text{ cm}$) assim como intermediária e baixa concentrações foliares CT (2,21 e 1,94 mg/g MV) e baixas % MSPA ($< 11,1\%$). Ambas as variedades mostraram um intermediário uso eficiente da água ($\pm 0,09 \text{ g}/(\text{mL}\cdot\text{d}^{-1})$) e a mais baixa proporção MSPA/MSR ($\pm 2,7 \text{ g/g}$) com uma MSPA produzida principalmente pelas folhas (MSF/MSR: $\pm 3,05 \text{ g/g}$).

Quanto ao uso eficiente de água, nossos resultados estão de acordo com os obtidos em experimento de campo no semiárido nordestino (Tabosa et al., 2010) para as variedades Rio, Roma, Theis, IPA 467-4-2 e SF-15, diferindo apenas para Ramada, que mostrou a mais baixa eficiência. As variedades Tale, Wray e Willey podem ter desempenhos interessantes neste parâmetro em campo. Entretanto, para altura de planta, a variedade Ramada mostrou desempenho semelhante ao de campo e a variedade Rio teve maior altura neste trabalho.

Os efeitos negativos da salinidade no sorgo sacarino foram detectados nas medidas da TC, TCA, MST, e na relação MVPA/CT, sendo mais sensíveis as últimas três variáveis (Figura 1 e 2). Na avaliação da TC, as maiores reduções significativas ($\pm 50\%$) por efeito de salinidade foram detectadas nas variedades Ramada (1,13 cm/d, 44 %) e Wray (1,84 cm/d, 56 %). Redução intermediária (31 %) foi induzida na IPA 467-4-2 (0,85 cm/d). Nas demais variedades não foram detectadas diminuições significativas (Fig. 1-A). As maiores TCs, sob o estresse salino, foram as das variedades SF-15, Rio e Sudan-4202, que foram maiores que as das variedades Wray (1,42 cm/d) e Ramada (1,40 cm/d). Quanto à TCA, todas as variedades sofreram reduções significativas por efeito do estresse salino (Fig. 1-B). As menores reduções ($\pm 4,71 \text{ mL/d}$ ou ± 38 %) foram observadas nas variedades Tale, BR 501, BR 506, Rio, IPA 8602502 e Roma e a maior redução (8,87 mL/d ou $\pm 74\%$) foi em Ramada. Reduções intermediárias ($\pm 6,68 \text{ mL/d}$ ou $\pm 51\%$) na TCA foram encontradas nas variedades IPA-467-4-2, Sudan-4202, Willey, Theis, Wray e SF-15. As maiores TCAs em condição salina foram das variedades Rio (10 mL/d) e Sudan-4202 (8,15 mL/d) e a menor a da Ramada. Na condição de não estresse a BR 501 foi a mais econômica em termos de uso eficiente de água.

Para a produção de MST (figura 2-A), a variedade Ramada mostrou severa redução

(1,43 para 0,37 g/pote ou 74 %) por efeito da salinidade. As variedades Tale, Sudan-4202, BR 506, Rio, IPA 467-4-2 e a Theis tiveram as menores reduções (em média de 0,63 g/pote ou \pm 40%). Enquanto que Roma, SF-15, Wray e Willey mostraram intermediárias reduções (\pm 0,83 g/pote ou \pm 52%) na MST produzida aos 30 d de cultivo. A BR 501 e a IPA 8602502 não tiveram reduções significativas na MST por efeito da salinidade. Sob o estresse salino, a Rio teve uma produção MST de 1,30 g/pote, não diferindo das variedades IPA 8602502, Tale, Wray e Sudan-4202, entretanto, foi uma produção superior às demais variedades estudadas. Ao analisar a eficiência de produção de biomassa na base do teor de clorofila (MVPA/CT) foi observada uma severa redução (-81%) na variedade Ramada. As menores reduções significativas na MVPA/CT observadas foram nas variedades Tale, IPA 467-4-2, SF-15, BR 501, Theis e Rio, redução média de 47% (Fig. 2-B). A BR 506, Roma, Sudan-4202, Wray e a Willey tiveram reduções de MVPA/CT intermediárias equivalentes a 61%. A IPA 8602502 não teve redução significativa nessa variável. A Tale teve o melhor desempenho em termos de MVPA/CT (2,97 g/(mg CT•g MV⁻¹) sob estresse salino, que foi diferente apenas da variedade Ramada (0,72 g/(mg CT•g MV⁻¹)).

Estes resultados mostram a existência de variabilidade em termos de tolerância à salinidade na fase inicial (30 d) de crescimento sorgo sob condição de laboratório. Krishnamurthy et al. (2007) também mostrou haver variabilidade de tolerância a salinidade, em experimento de casa de vegetação com solo, baseando-se na produção relativa de biomassa de 100 genótipos de sorgo durante as fases iniciais de crescimento das plantas. Este tipo de abordagem em laboratório pode auxiliar a seleção de genótipos promissores para experimentos de campo. Ressalta-se que a variedade Rio mostrou-se resistente à salinidade em experimento de campo (ALMODARES e SHARIF, 2007).

Nesse sentido, indicamos a variedade IPA 8602502 (P-GS) e as variedades (T-FS) Rio, Tale e BR 501 por mostrarem alta tolerância relativa ao estresse salino (75 mM NaCl). A variedade Ramada T-FS pode ser indicada como um controle para susceptibilidade à salinidade. No recurso genético de sorgo sacarino avaliado nesta pesquisa, constatou-se haver fatores de tolerância a serem prospectados e com potencial aplicabilidade nos programas de melhoramento do sorgo.

Literatura Citada

ALMODARES, A.; SHARIF, M.E. Effects of irrigation water qualities on biomass and sugar contents of sugar beet and sweet sorghum cultivars. *Journal of Environmental Biology*, v.28, p.213-218, 2007.

AQUINO, A.J.S.; LACERDA, C.F.; BEZERRA, M.A.; GOMES-FILHO, E.; COSTA, R.N.T. Crescimento, partição de matéria seca e retenção de Na⁺, K⁺ e Cl⁻ em dois genótipos de sorgo irrigados com águas salinas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, p.961-971, 2007.

KRISHNAMURTHY, L.; SERRAJ, R.; HASH, C.T.; DAKHEEL, A.J.; REDDY, B.V.S. Screening sorghum genotypes for salinity tolerant biomass production. *Euphytica*, v.156, p.15-24, 2007.

LACERDA, C.F.; CAMBRAIA, J.; CANO, M.A.O.; RUIZ, H.A. Plant growth and solute accumulation and distribution in two sorghum genotypes under NaCl stress. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, v.13, p.270-284, 2001.

MUNNS, R. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell and Environment* v.25, p.239-250, 2002.

NASCIMENTO, C.V.C.; NASCIMENTO, M.M.A.; SILVA, G.M.C.; BARBOSA, E.N.A.; FIGUEIREDO, M.V.B.; TABOSA, J.N.; MARTÍNEZ, C.R. Efeito da salinidade no sorgo sacarino: definição do modelo experimental em laboratório. Resumos expandidos. In: XIX CONGRESSO LATINOAMERICANO DE LA CIENCIA DEL SUELO, 2012. Mar del Plata.

REIS, O.V. Seleção de linhagens de sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) tolerantes ao estresse hídrico em fase de plântula. Recife, 1992. (Mestrado – Universidade Federal Rural de Pernambuco).

SILVA J.V.; LACERDA, C.F.; AZEVEDO-NETO, A.D.; COSTA,P.H.A.; PRISCO, J.T.; ENÉAS-FILHO, J.; GOMES-FILHO, E. Crescimento e osmoregulação em dois genótipos de sorgo forrageiro submetidos a estresse salino. *Revista Ciência Agronômica*, v.33, p.125-131, 2003.

TABOSA, J.N.; REIS, O.V.; NASCIMENTO, M.M.A.; LIMA, J.M.P.; SILVA, F.G.; SILVA-FILHO, J.G.; BRITO, A.R.M.B.; RODRIGUES, J.A.S. O sorgo sacarino no semiárido brasileiro: elevada produção de biomassa e rendimento de caldo. Resumos expandidos. In: XXVIII CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 2010. Goiânia.

Tabela 1. Desempenho das variedades do sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) cultivado (30 d) em câmara de crescimento (200 • mol/(m²·s); fotoperíodo 12h/12h; UR: 56 ± 3 %; T: 28 ± 0,5° C) sob sistema hidropônico com 20 mM N/semana: Efeito da salinidade.

Salinidade	Altura	DC	CT	MVPA/MVR	% MSPA	MSF/MS C	MSPA/CT
mM NaCl	cm	Cm	mg/g MV	g/g		g/g	
8	54,51 a	0,502 a	22,87 a	2,329 a	10,69 b	3,053 a	0,492 a
75	42,07 b	0,354 b	18,34 b	1,944 b	13,28 a	2,857 b	0,267 b
CV (%)	9,85	12,95	17,15	18,87	3,60	7,71	25,10

Médias (n=52) com letras distintas na coluna diferem pelo HSD de Tukey (P<0,05). CV: coeficiente de variação. Diâmetro do caule (DC), clorofila total por unidade de massa verde (CT), relação massa verde da parte aérea com a da raiz (MVPA/MVR), percentual massa seca na parte aérea (%MSPA), relação massa seca das folhas com a do caule (MSF/MS), relação MSPA com a Clorofila total ¹(MSPA/CT em g/(mg CT/g MV)⁻¹).

Tabela 2. Desempenho das variedades do sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) cultivado (30 d) em câmara de crescimento (200 • mol/(m²·s); fotoperíodo 12h/12h; UR: 56 ± 3 %; T: 28 ± 0,5° C) sob sistema hidropônico com 20 mM N/semana.

Variedade	Altura	MSPA/MSR	MSF/MS	%MSPA	MSPA/TCA	CT
-----------	--------	----------	--------	-------	----------	----

	cm	g/g	g/g		g/(mL·d ⁻¹)	mg/g MV
Sudan-4202*	61,5 a	2,87 cd	2,33 e	12,2 bc	0,096 abc	2,93 ab
Rio	56,0 ab	3,43 bcd	3,08 bc	13,1 a	0,100 abc	2,99 a
Wray	52,8 bc	4,45 a	2,75 cde	11,9 cd	0,109 a	2,49 abcde
Willey	51,0 bcd	4,42 a	2,41 e	11,1 de	0,101 ab	2,27 abcde
IPA 467-4-2	49,8 bcde	2,74 d	3,05 bc	11,1 de	0,094 abc	2,21 bcde
SF-15	49,2 bcde	2,72 d	3,05 bc	10,9 e	0,087 abc	1,94 de
BR 506	45,1 cdef	3,89 ab	3,11 bc	12,1 bc	0,098 abc	2,68 abcd
Roma	45,3 cdef	3,68 abc	2,98 cd	12,7 ab	0,085 bc	2,68 abcd
Tale	47,4 cdef	3,07 bcd	2,60 de	11,5 cde	0,111 a	2,16 cde
IPA 8602502	43,7 def	3,43 bcd	3,69 a	12,2 bc	0,080 c	2,84 abc
Theis	44,0 def	3,85 ab	2,82 cd	12,2 bc	0,098 abc	2,05 de
BR 501	41,8 ef	2,93 cd	3,42 ab	11,6 cd	0,095 abc	1,84 e
Ramada	39,6 f	3,67 abc	3,07 bc	13,0 a	0,088 abc	2,58 abcd
CV (%)	9,85	14,86	7,71	3,59	12,25	17,15

Médias (n=8) com letras distintas na coluna diferem pelo HSD de Tukey (P<0,05). CV: coeficiente de variação. Relação massa seca da parte aérea com a da raiz (MSPA/MSR), relação massa seca das folhas com a do caule (MSF/MSC), percentual massa seca na parte aérea (%MSPA), relação MSPA com a taxa de consumo de água (MSPA/TCA) e Clorofila total por unidade de massa verde (CT). * *S. sudanense* (Piper) Stapf.

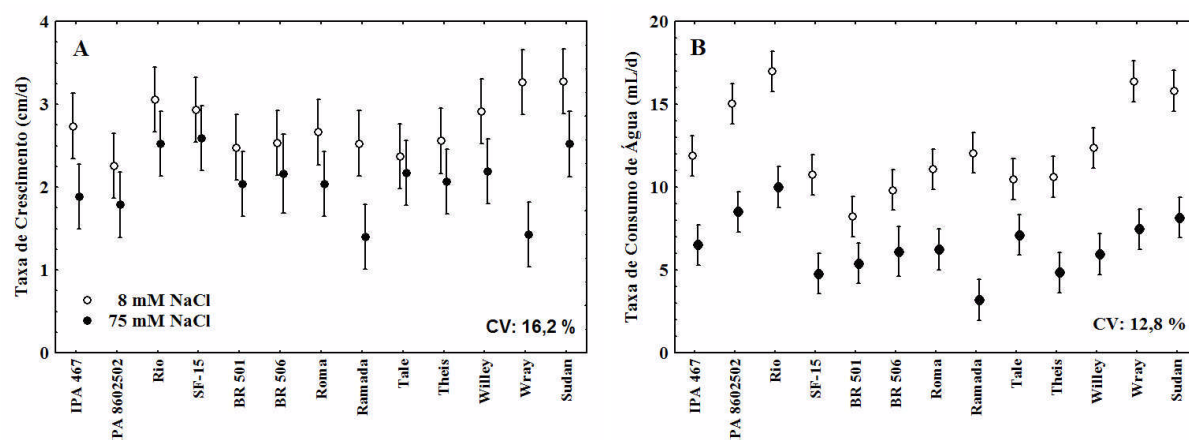


Figura 1. Taxas de crescimento (A) e de consumo de água (B) de variedades de sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) cultivadas em solução de Hoagland (pH 6,5 e 20 mM N/semana) com (75 mM NaCl) e sem (8 mM NaCl) estresse salino. Plantas cresceram por 30 d em câmara de crescimento (200 • mol/(m²·s); fotoperíodo: 12 h/12 h; UR: 56 ± 3 %; T: 28 ± 0,5° C). Médias (n=4) e seus intervalos de confiança (P<0,95). Sudan-4202 é variedade do *S. sudanense* (Piper) Stapf

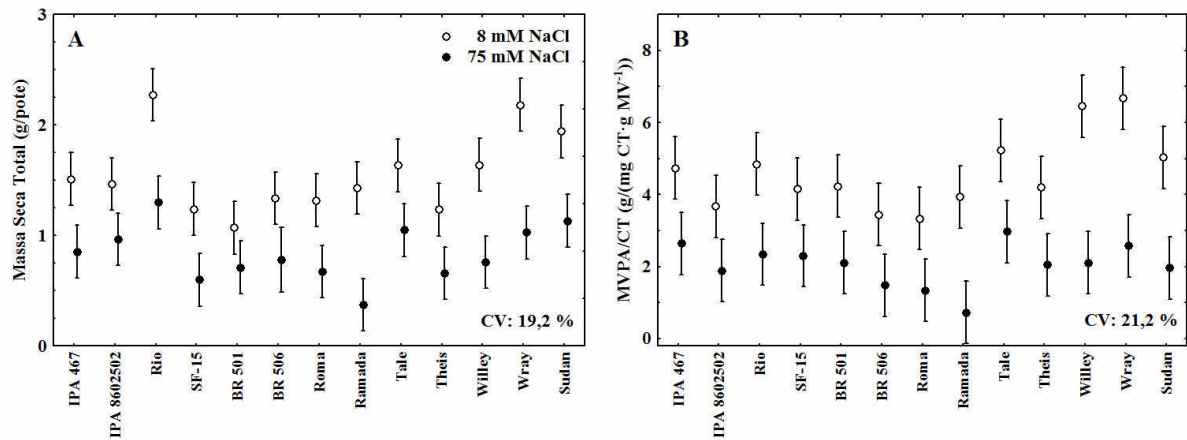


Figura 2. Produção de massa seca total (A) e produção de massa verde da parte aérea na base do teor de clorofila total (B) das variedades de sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) cultivadas em solução de Hoagland (pH 6,5 e 20 mM N/semana) com (75 mM NaCl) e sem (8 mM NaCl) estresse salino. Plantas cresceram por 30 d em câmara de crescimento ($200 \cdot \text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$; fotoperíodo: 12 h/12 h; UR: $56 \pm 3 \%$; T: $28 \pm 0,5^\circ \text{C}$). Médias ($n=4$) e seus intervalos de confiança ($P<0,95$). Sudan-4202 é variedade do *S. sudanense* (Piper) Stapf.