

## Crescimento, teor de sódio, cloro e relação iônica na mamoneira sob estresse salino e adubação nitrogenada

Geovani Soares de Lima<sup>\*1</sup>, Reginaldo Gomes Nobre<sup>1</sup>, Hans Raj Gheyi<sup>2</sup>,  
Lauriane Almeida dos Anjos Soares<sup>1</sup>, Francisco Wesley Alves Pinheiro<sup>1</sup>, Adaan Sudário Dias<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, Brasil

<sup>2</sup>Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, BA, Brasil

\*Autor correspondente, e-mail: geovanisoareslima@gmail.com

### Resumo

Propôs-se, neste trabalho, avaliar o crescimento, o teor de sódio, cloro e relação iônica na mamoneira cv. BRS Energia, em função da irrigação com águas salinizadas e adubação nitrogenada, em condições de campo no Neossolo Regolítico eutrófico típico de textura franco-arenosa, no município de Pombal, PB. O delineamento experimental utilizado foi o em blocos casualizados, arranjos em esquema fatorial 5 x 4, constituídos pela combinação de cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação - CEa (0,3; 1,2; 2,1; 3,0 e 3,9 dS m<sup>-1</sup>) e quatro doses de nitrogênio -DN (70; 100; 130 e 160% da dose indicada). O uso de água com CEa acima de 0,3 dS m<sup>-1</sup> afetou de forma negativa a altura de planta, o diâmetro caulinar, o número de folhas e a área foliar; os teores de sódio e cloro aumentaram com o incremento da CEa em todas as partes da planta, sendo os teores de cloro maiores que o de sódio; a irrigação com água de CEa de até 3,7 dS m<sup>-1</sup> promoveu aumento na relação Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup> nos tecidos das raízes; o incremento na aplicação de DN resulta em aumento no número de folhas e área foliar e elevação nos teores foliar de cloro.

**Palavras-chave:** nutrição mineral, qualidade de água, *Ricinus communis* L.

### Growth, content of sodium, chloride and ion relation in castor bean under salt stress and nitrogen fertilization

#### Abstract

The aim of this study was to evaluate the growth, the content of sodium, chloride and ion relation in castor bean cv. BRS Energia as a function of irrigation water salinity and nitrogen fertilization under field conditions in the Typic Usthorthent eutrophic soil of sandy loam texture in the municipality of Pombal, PB. The experimental design was randomized blocks, a 5x4 factorial, consisting of the combination of five levels of electrical conductivity of irrigation water - ECw (0.3, 1.2, 2.1, 3.0 and 3.9 dS m<sup>-1</sup>) and four doses of nitrogen-DN (70, 100, 130 and 160% of the recommended dose). The use of water with ECw above 0.3 dS m<sup>-1</sup> negatively affected the plant height, stem diameter, number of leaves and leaf area; the content of sodium and chloride increased with the increase in ECw in all parts of the plant, and the content of chloride being higher than sodium; irrigation with water of ECw up to 3.7 dS m<sup>-1</sup> resulted in an increase in the Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup> in root tissues; the increase in application of DN affected positively the number of leaves, leaf area and chloride in leaf.

**Keywords:** mineral nutrition, *Ricinus communis* L., water quality,

## Introdução

A demanda energética crescente no Brasil e em todo o mundo, tem contribuído para que o potencial de disponibilidade das fontes convencionais de combustíveis seja reduzido a cada ano. Além disso, estas fontes têm ocasionado efeitos negativos ao meio ambiente e à sociedade mundial. Neste sentido, diversos estudos têm sido realizados com o intuito de identificar fontes alternativas e renováveis de matérias-primas para produção em bases competitivas, visando a substituição progressiva principalmente dos combustíveis minerais derivados do petróleo (Fernandes Neto et al., 2008).

Decorrente da instabilidade climática, a garantia do sucesso de cultivos em regiões semiáridas depende, dentre outras práticas do uso da irrigação. Entretanto, devido à pressão antrópica por águas de boa qualidade e à crescente necessidade de expansão da produção agrícola em todo o mundo, a utilização de águas consideradas de qualidade inferior tem aumentado (Nobre et al., 2011). No entanto, a utilização de águas de qualidade marginal principalmente nas regiões áridas e semiáridas, tem gerado vários problemas ao meio ambiente, como a salinização do solo, em virtude de suas fontes hídricas possuírem, normalmente, elevados teores de sais (Rhoades et al., 2000).

Altas concentrações de sais no solo, além de reduzir o potencial hídrico do solo, podem provocar efeitos tóxicos nas plantas, causando distúrbios funcionais e injúrias no metabolismo (Deboubae et al., 2006). Por essa razão, o balanço osmótico é essencial para o desenvolvimento dos vegetais em meio salino e qualquer falha neste equilíbrio resultará em injúrias semelhantes aos da seca, como a perda de turgescência e a redução no crescimento e produção, resultando em plantas atrofiadas, desidratação e finalmente a morte das células (Ashraf & Harris, 2004).

Por outro lado, algumas estratégias podem ser usadas para minimizar os impactos negativos do aproveitamento de água salina na irrigação de culturas, de ordem geral, como a escolha de cultivares mais tolerantes, mistura de

águas de diferentes qualidades, uso cíclico de fontes de água com diferentes concentrações salinas, além de outras práticas que visem à obtenção de boa produção vegetal com controle da salinização/sodificação do solo (Lacerda et al., 2009).

Assim, dentre as técnicas de manejo, a adubação destaca-se como uma das principais tecnologias utilizadas para incrementar a produtividade e a rentabilidade das culturas, sendo o nitrogênio o macronutriente exigido em maior quantidade pelas culturas agrícolas (Marinho et al., 2010). Esta alta dependência ocorre devido às funções do N no metabolismo das plantas participando na formação de proteínas, aminoácidos e de outros compostos importantes no metabolismo das plantas (Barhoumi et al., 2010).

Pelo exposto, objetivou-se com este trabalho avaliar o crescimento, o teor de sódio, cloro e relação iônica na mamoneira cv. BRS Energia, em função da irrigação com águas salinizadas e adubação nitrogenada.

## Material e Métodos

O experimento foi conduzido entre setembro de 2011 e janeiro de 2012, em recipientes plásticos adaptado como lisímetros de drenagem em área experimental do Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar da Universidade Federal de Campina Grande (CCTA/UFCG), no município de Pombal, PB, situada em 6°48'16" S, 37°49'15" W e altitude média de 144 m.

Estudou-se o efeito de cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação - CEa (0,3; 1,2; 2,1; 3,0 e 3,9 dS m<sup>-1</sup>), associados a quatro doses de adubação nitrogenada- DN (70; 100; 130 e 160% da dose de N recomendada para ensaios em vasos- 100 mg kg<sup>-1</sup>), baseada em recomendações de Novais et al. (1991). Utilizou-se o delineamento experimental em blocos ao acaso, em arranjo fatorial 5x4, com três repetições, resultando em 20 tratamentos, sendo as unidades experimentais em número de 60, distribuídas em fileira simples espaçadas de 0,9 m entre fileiras e 0,7 m entre plantas dentro da fileira.

No ensaio foram utilizadas sementes de

mamoneira cultivar BRS Energia, que conforme Silva et al. (2009), trata-se de um material genético vigoroso de fácil propagação, precoce (ciclo de 130 dias), porte baixo (média de 106 cm), frutos semi indeiscentes, teor de óleo nas sementes em média de 48% e produtividade média de 1.800 kg ha<sup>-1</sup>.

As sementes foram semeadas em lisímetros de drenagem com 100 L de capacidade, e após o desbaste deixou-se uma planta por lisímetro, constituindo a unidade experimental. Cada lisímetro possuía dois furos na parte inferior para permitir a drenagem e

abaixo dos mesmos existia garrafas plástica para coleta da água drenada, permitindo, assim, a estimativa do consumo de água pela planta. Os lisímetros foram preenchidos com 2 kg de brita (nº zero) a qual cobria a base do vaso, seguida de 107,5 kg de material de solo classificado como franco argila arenoso, não salino e não sódico coletado à profundidade de 0-30 cm, devidamente destorroado, proveniente do município de Pombal, PB, cujas características físicas e químicas (Tabela 1), foram obtidas conforme metodologias descritas por Claessen (1997).

**Tabela 1-** Características físicas e químicas do solo utilizado no experimento

Densidade (kg dm <sup>-3</sup> )	Porosidade total (%)	Umidade (%)		Água disponível (%)	Complexo sortivo				pH <sub>ps</sub>	CE <sub>es</sub> (dS m <sup>-1</sup> )
		0,33 atm	15,0 atm		Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>		
1,34	48,26	18,01	9,45	8,56	.....(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> ).....				-	0,09
					3,95	3,70	0,37	0,43	5,01	0,09

Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> extraídos com KCl 1 mol L<sup>-1</sup> pH 7,0; Na<sup>+</sup> e K<sup>+</sup> extraídos utilizando-se NH<sub>4</sub>OAc 1 mol L<sup>-1</sup> pH 7,0; pH<sub>ps</sub> - pH da pasta de saturação; CE<sub>es</sub> - condutividade elétrica do extrato de saturação

Na adubação de fundação aplicou-se, por lisímetro, 162,5 g de super fosfato simples, 12 g de sulfato de potássio e, com o objetivo de melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, e de forma a aumentar a capacidade de retenção e infiltração da água, foi incorporado 2,5 kg de vermicomposto (6,3 g de N kg<sup>-1</sup>; 1,28 g de P kg<sup>-1</sup> e 0,53 g de K kg<sup>-1</sup>).

As doses de adubação nitrogenada foi parcelada, sendo um terço aplicado em fundação e os dois terços restantes, em quatro aplicações iguais via fertigação, em intervalos de dez dias, com a primeira aplicação realizada aos 25 dias após a semeadura (DAS), sendo aplicado por lisímetro no tratamento N2 (100% - dose recomendada) 33,34 g de fosfato monoamônio (MAP) mais 8,88 g de ureia. A quantidade de adubo aplicado nos demais tratamentos era calculada conforme N2.

Foram realizadas ainda, duas adubações foliares, a partir do início da emissão das flores: aos 29 e 37 DAS, com Albatroz (N - 10%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> - 52%, K<sub>2</sub>O - 10%, Ca - 0,1%, Zn - 0,02%, B - 0,02%, Fe - 0,15%, Mn - 0,1%, Cu - 0,02% e Mo - 0,005%) na proporção de 1 g do adubo para 1 L de água, aplicando-se 5 L em cada aplicação, distribuídos em todas as plantas, com auxílio de um pulverizador costal.

Os diferentes níveis de salinidade foram

obtidos a partir da dissolução de NaCl em água proveniente do sistema de abastecimento local, sendo a quantidade de sais determinada com base na equação de Rhoades et al. (2000), sendo C (mg L<sup>-1</sup>) = 640 x CEa (dS m<sup>-1</sup>). Por ocasião do plantio, após o acondicionamento do solo nos lisímetros, induziu-se a capacidade de campo, através do método de saturação por capilaridade, seguida por drenagem livre, usando as respectivas águas. As demais irrigações foram realizadas diariamente às 17 horas, sendo a quantidade de água aplicada de acordo com a necessidade hídrica das plantas, determinada pelo balanço hídrico.

Os efeitos dos tratamentos sobre a cultura da mamoneira foram avaliados aos 100 dias após a semeadura (DAS), mediante a determinação do diâmetro de caule (DC), altura de planta (AP), número de folhas (NF) e área foliar (AF). A AP foi definida mensurando-se a distância entre o colo da planta e a inserção do meristema apical. O diâmetro do caule foi avaliado com uso de um paquímetro digital a 5 cm do colo da planta. Consideraram-se na contagem do número de folhas as que estavam totalmente expandidas com comprimento mínimo de 3 cm e que apresentavam no mínimo 50% do seu tamanho fotossinteticamente ativa; área foliar total foi determinada segundo

metodologia de Severino et al. (2005), conforme Eq. 1:

$$S = \Sigma 0,26622xP^{2,4248} \quad (1)$$

em que:

S - área foliar (cm<sup>2</sup>),

P - medida do comprimento da nervura principal da folha (cm).

Os teores de Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup> e a relação Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup> nos tecidos das folhas, caules e raízes, foram mensurados aos 120 DAS. Para tanto, as plantas foram coletadas, divididas nas respectivas partes e postas para secar em estufa de circulação forçada de ar, a 65 °C, até a obtenção de massa constante. Após a secagem, as amostras foram pesadas, moídas e submetidas a análises químicas, segundo metodologias recomendadas por Silva (1999).

Os dados obtidos foram avaliados mediante análise de variância pelo teste F e, nos casos de efeito significativo, realizou-se análise

de regressão polinomial linear e quadrática utilizando-se do software estatístico SISVAR. A escolha da regressão foi feita mediante melhor ajuste em base de coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) e levando em consideração uma provável explicação biológica.

### Resultados e Discussão

A altura de planta, o diâmetro de caule, o número de folhas e a área foliar da mamoneira foram afetados significativamente pelos níveis de salinidade da água de irrigação (Tabela 2). Já em relação ao fator doses de nitrogênio, verifica-se haver diferença significativa para o número de folhas e área foliar. Nota-se também, pela mesma tabela que não houve efeito significativo da interação entre os fatores (NSxDN) sobre nenhuma variável estudada. A ausência de interação significativa denota que o efeito dos níveis salinos e DN sobre as variáveis analisadas ocorrem de modo semelhante.

**Tabela 2.** Resumo da análise de variância, referente a altura de planta (AP), diâmetro de caule (DC), número de folhas (NF) e área foliar (AF) da mamoneira aos 100 dias após a semeadura (DAS) irrigada com água de salinidade crescente e com doses de nitrogênio

Fonte de Variação	GL	Quadrado médio			
		AP	DC	NF	AF <sup>1</sup>
Níveis salinos (NS)	4	251,71*	45,51**	735,22**	7490767,01**
Reg. Linear	1	868,33**	172,15**	2622,67**	25484922,05**
Reg. Quadrática	1	69,81 <sup>ns</sup>	4,40 <sup>ns</sup>	221,72 <sup>ns</sup>	2854568,54*
Doses de N (DN)	3	73,04 <sup>ns</sup>	4,33 <sup>ns</sup>	271,03*	2320794,09*
Reg. Linear	1	4,00 <sup>ns</sup>	7,12 <sup>ns</sup>	739,47*	6950986,26**
Reg. Quadrática	1	63,96	5,75 <sup>ns</sup>	28,01 <sup>ns</sup>	99666,03 <sup>ns</sup>
Interação (NS x DN)	12	15,10 <sup>ns</sup>	4,57 <sup>ns</sup>	115,58 <sup>ns</sup>	192217,70 <sup>ns</sup>
Bloco	2	9,12 <sup>ns</sup>	0,56 <sup>ns</sup>	30,21 <sup>ns</sup>	199342,94 <sup>ns</sup>
Resíduo	38	51,40	3,09	74,83	471553,27
CV (%)		13,35	8,37	20,03	17,30

<sup>ns, \*\*</sup> respectivamente não significativo, significativo a p < 0,01 e p < 0,05; <sup>1</sup> análise estatística realizada após transformação de dados em  $\sqrt{X}$

A altura de planta e o diâmetro de caule da mamoneira foram influenciados significativamente pela salinidade da água de irrigação e a partir das equações de regressão (Figura 1A e 1B) constata-se que o aumento da CEa proporcionou efeito linear decrescente, havendo diminuição na APe DC de 4,47 e 5,58%, respectivamente, para cada incremento unitário da salinidade de água de irrigação, ou seja, as plantas submetidas à CEa de 3,9 dS m<sup>-1</sup>, apresentaram uma redução, respectivamente, de 9,64 cm (16,10%) e 4,78 mm (20,11%) na APe no DC, em comparação às irrigadas com 0,3 dS m<sup>-1</sup>.

A diminuição na AP da mamoneira pode ser atribuída ao excesso de sais no solo, provocando alteração no potencial hídrico externo e ao efeito iônico, causado pelo acúmulo de íons nos tecidos vegetais (Munns & Tester, 2008), acarretando desta forma, prejuízos a vários processos fisiológicos e bioquímicos como a respiração, fotossíntese, síntese de proteínas e metabolismo de lipídeos, podendo também levar a planta a estado de estresse hídrico com perda de água para o meio externo, fato que resultará em sérios prejuízos ao crescimento (Esteves & Suzuk, 2008).

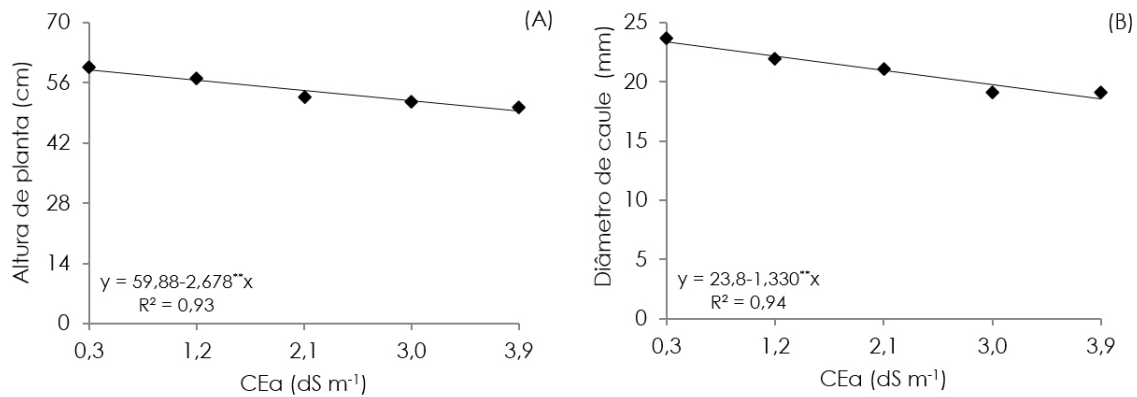
Santos et al. (2013), avaliando o

crescimento da mamoneira BRS Energia em função da salinidade da água de irrigação (CEa: 0,12 a 4,8 dS m<sup>-1</sup>) em condições de campo, constataram, aos 80 DAS, redução na AP e DC de 6,27 e 6,69% respectivamente, por incremento unitário da CEa.

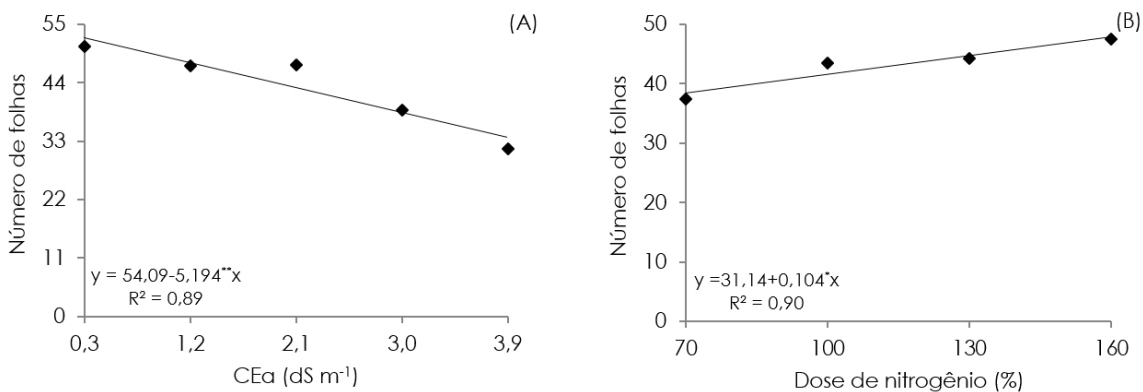
Os distintos níveis salinos da água de irrigação interferiram negativamente sobre o número de folhas da mamoneira (Tabela 2). Conforme equação de regressão (Figura 2A) verifica-se resposta linear decrescente, registrando-se diminuição da ordem de 9,59% no NF por aumento unitário da CEa, ou seja, as plantas quando irrigadas com água de 3,9 dS m<sup>-1</sup> tiveram uma redução no NF de 34,54% em relação às plantas que receberam água de 0,3

dS m<sup>-1</sup>.

A redução do número de folhas em condições de estresse salino é uma das alternativas das plantas para manter a absorção de água, sendo consequência de alterações morfológicas e anatômicas nas plantas, refletindo-se na perda de transpiração como alternativa para manter a absorção de água (Silva et al., 2008). Tal como neste trabalho, diminuição no NF também foi observado por Alves et al. (2012), em estudo com essa mesma cultivar e níveis de CEa variando de 0,6 a 4,6 dS m<sup>-1</sup>, verificaram aos 40 DAS que a salinidade da água de irrigação promoveu progressiva redução no NF, com decréscimos de 7,67% por aumento unitário da CEa.



**Figura 1.** Altura de planta (A) e diâmetro de caule (B) da mamoneira em função da condutividade elétrica da água de irrigação - CEa, aos 100 dias após a semeadura



**Figura 2.** Número de folhas da mamoneira em função da condutividade elétrica da água de irrigação - CEa (A) e doses de adubação nitrogenada (B), aos 100 dias após a semeadura

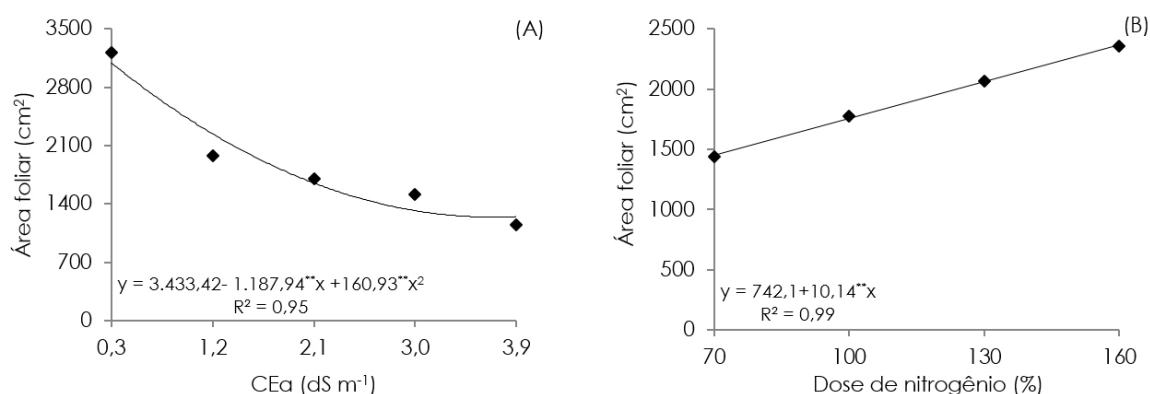
Quanto ao efeito das doses de nitrogênio sobre o número de folhas (Figura 2B), observa-se comportamento linear crescente, com acréscimo de 10,01% por cada incremento de 30% das DN. Constata-se (Figura 2B) que à medida que se aumentou o fornecimento do nitrogênio

de 70 para 160% houve um aumento no número de folhas de 40,07%. Desta forma, o aumento do NF em função das doses crescentes de N demonstra efeitos positivos do nitrogênio e pode estar associado às funções do N no metabolismo das plantas, visto que este macronutriente faz

parte de diversos compostos orgânicos vitais para o vegetal, como aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos, pigmentos e vários hormônios vegetais. Além disto, estudos têm demonstrado que o acúmulo deste soluto orgânico eleva a capacidade de ajustamento osmótico das plantas à salinidade (Silva et al., 2008).

Em relação à área foliar em função da salinidade da água de irrigação, verifica-se, conforme equação de regressão, que os dados se ajustaram ao modelo quadrático (Figura 3A), onde se observa que à medida que se elevaram os níveis salinos da água de 0,3 para 3,9 dS m<sup>-1</sup> houve uma tendência para a área foliar diminuir, sendo encontrado valor máximo de 3091,52 cm<sup>2</sup> nas plantas irrigadas com água de menor nível de salinidade (0,3dS m<sup>-1</sup>) e o mínimo de 1243,07 cm<sup>2</sup> para as plantas que receberam níveis de CEa de 3,9 dS m<sup>-1</sup>.

A redução da área foliar reflete na perda



**Figura 3.** Área foliar da mamoneira em função da condutividade elétrica da água de irrigação –CEa (A) e doses de adubação nitrogenada (B), aos 100 dias após a semeadura

De maneira semelhante ao observado para a variável número de folhas, verifica-se ter sido linear o efeito das doses de nitrogênio sobre a área foliar da mamoneira e com base na equação de regressão (Figura 3B), verifica-se que a AF apresentou acréscimo de 40,99% para cada aumento de 30% da dose de N, ou seja, quando submetem-se as plantas a adubação com doses de 160% de N houve um aumento na área foliar de 912,6 cm<sup>2</sup> em relação as plantas que receberam doses de 70% de N.

De acordo com Fageria e Baligar (2006) o nitrogênio é o nutriente mais limitante para muitas culturas no mundo e seu uso eficiente é de extrema importância econômica para os sistemas de produção. Além do mais, a dinâmica

da absorção equilibrada de água e nutrientes pelas plantas cultivadas sob condições de estresse salino (Santos et al., 2013), o que provoca danos nos tecidos foliares, levando à inibição mais acentuada do alongamento das folhas, diminuindo a superfície transpirante, refletindo na diminuição da absorção de água pelas plantas, visto que, sob tais condições, é interessante a redução na transpiração e, conseqüentemente, diminuição do carregamento de Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup> no xilema e conservação da água nos tecidos das plantas (Munns et al., 2006). Silva et al. (2008), conduzindo experimento sob condições de ambiente protegido com a cultura da mamoneira cv. BRS Energia, avaliando o efeito da irrigação com águas de salinidades crescentes (CEa: 0,7 a 6,7 dS m<sup>-1</sup>), observaram decréscimo significativo na AF de 14,6% por aumento unitário da CEa aos 80 DAS.

natural do nitrogênio e sua perda no sistema solo-planta, criam um desafio para seu manejo correto.

Resultados semelhantes foram, verificados por Lima et al. (2012) avaliando o comportamento da mamoneira cv. BRS Energia quando submetida a diferentes níveis salinidades da água de irrigação e doses de adubação nitrogenada, observaram que, com o incremento das doses de N, houve aumento de 6,50% na área foliar, para cada incremento de 25% das doses de N.

Os teores de Na<sup>+</sup> nos tecidos foliares, caulinar e das raízes e o de Cl<sup>-</sup> nas folhas e caule foram afetados significativamente pelos níveis de salinidade da água de irrigação (Tabela 3).



Já em relação ao fator doses de adubação nitrogenada, verifica-se haver efeito significativo para o teor de Na<sup>+</sup> em todas as partes da planta avaliadas, exceto para o teor de Cl<sup>-</sup> que não foi influenciado nos tecidos do caule e raiz. Nota-se

também que houve efeito interativo dos fatores salinidade e dose de N sobre a concentração de Na<sup>+</sup> nos tecidos foliares, do caule e raiz, e o de Cl<sup>-</sup> apenas nas raízes.

**Tabela 3.** Resumo da análise de variância, referente aos teores de sódio (Na<sup>+</sup>), cloro (Cl<sup>-</sup>) e relação sódio e potássio (Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>) nas diferentes partes da mamoneira aos 120 dias após a semeadura (DAS) irrigada com água de salinidade crescente e com doses de nitrogênio

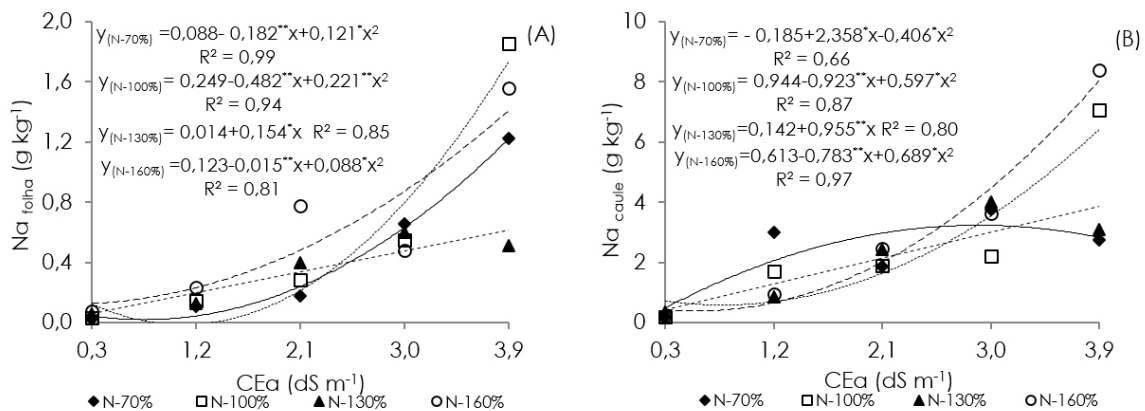
Fonte de Variação	GL	Quadrado médio								
		Na <sup>+</sup>			Cl <sup>-</sup>			Na <sup>+</sup> /K <sup>+</sup>		
		Folha <sup>1</sup>	Caule	Raiz <sup>1</sup>	Folha	Caule	Raiz <sup>1</sup>	Folha <sup>1</sup>	Caule <sup>1</sup>	Raiz <sup>1</sup>
Níveis salinos (NS)	4	2,86**	44,24**	75,59**	413,03**	345,09**	10,45 <sup>ns</sup>	0,06**	0,33**	3,18**
Reg. Linear	1	10,05**	171,01**	267,65**	1483,00**	1367,00**	33,92 <sup>ns</sup>	0,25**	0,77**	10,80**
Reg. Quadrática	1	1,09**	2,69**	10,11*	20,99 <sup>ns</sup>	6,40 <sup>ns</sup>	0,29 <sup>ns</sup>	0,01**	0,00009 <sup>ns</sup>	1,27*
Doses de N (DN)	3	0,25*	2,75**	8,45*	135,55*	2,96 <sup>ns</sup>	12,26 <sup>ns</sup>	0,005*	0,01 <sup>ns</sup>	0,26 <sup>ns</sup>
Reg. Linear	1	0,08 <sup>ns</sup>	2,93**	18,34*	393,29*	1,77 <sup>ns</sup>	8,50 <sup>ns</sup>	0,007 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	0,62 <sup>ns</sup>
Reg. Quadrática	1	0,08 <sup>ns</sup>	1,77*	5,72*	37,46 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>	22,00 <sup>ns</sup>	0,001 <sup>ns</sup>	0,0002 <sup>ns</sup>	0,17 <sup>ns</sup>
Interação (NS x DN)	12	0,024*	6,65**	2,87*	37,93 <sup>ns</sup>	6,99 <sup>ns</sup>	12,01*	0,005**	0,11*	0,17 <sup>ns</sup>
Bloco	2	0,02 <sup>ns</sup>	2,88*	0,54 <sup>ns</sup>	6,59 <sup>ns</sup>	2,98 <sup>ns</sup>	28,68*	0,0005 <sup>ns</sup>	0,07*	0,11 <sup>ns</sup>
Resíduo	38	0,05	1,08	1,51	27,89	7,44	5,91	0,0006	0,02	0,16
CV (%)		18,46	17,17	13,82	19,22	19,49	21,93	19,39	24,49	20,16

<sup>ns, \*\*</sup> respectivamente, não significativo, significativo a p < 0,01 e p < 0,05; <sup>1</sup> análise estatística realizada após transformação de dados em  $\sqrt{x}$

Segundo as equações de regressão apresentadas na Figura 4A, vê-se que o teor de Na<sup>+</sup> nas folhas apresentou uma resposta quadrática para as plantas adubadas com doses de 70, 100 e 160% de N, sendo obtido um teor máximo de Na<sup>+</sup> de 1,21; 1,73 e 1,40 g kg<sup>-1</sup> ao se irrigar com água de CEa de 3,9 dSm<sup>-1</sup> e quando estas foram submetidas à irrigação com CEa de 0,3 dS m<sup>-1</sup> tiveram uma redução na concentração de Na<sup>+</sup> nas folhas de 1,17; 1,60 e 1,27 g kg<sup>-1</sup> em relação as que estavam sendo irrigadas com água de CEa de 3,9 dSm<sup>-1</sup>.

Verifica-se também nas equações de regressão (Figura 4A) haver comportamento linear crescente sobre a concentração de Na<sup>+</sup>

no tecido foliar das plantas que receberam dose de 130% de N, cujo incremento foi de 1100%, ou seja, as plantas que estavam sob irrigação com água de CEa de 3,9 dS m<sup>-1</sup> tiveram um aumento na concentração de sódio de 0,554 g kg<sup>-1</sup> em relação as sob CEa de 0,3 dS m<sup>-1</sup>. Aumento na concentração de Na<sup>+</sup> nos tecidos das plantas também foi reportado por Silva et al. (2009), avaliando a influência da salinidade da água de irrigação na acumulação de Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup> e K<sup>+</sup> em plantas jovens de pinhão manso, que verificaram acúmulo excessivo de Na<sup>+</sup> nos tecidos foliar, sendo este proporcional ao aumento das doses de NaCl chegando a 661% na dose mais elevada de salinidade (100 mM).



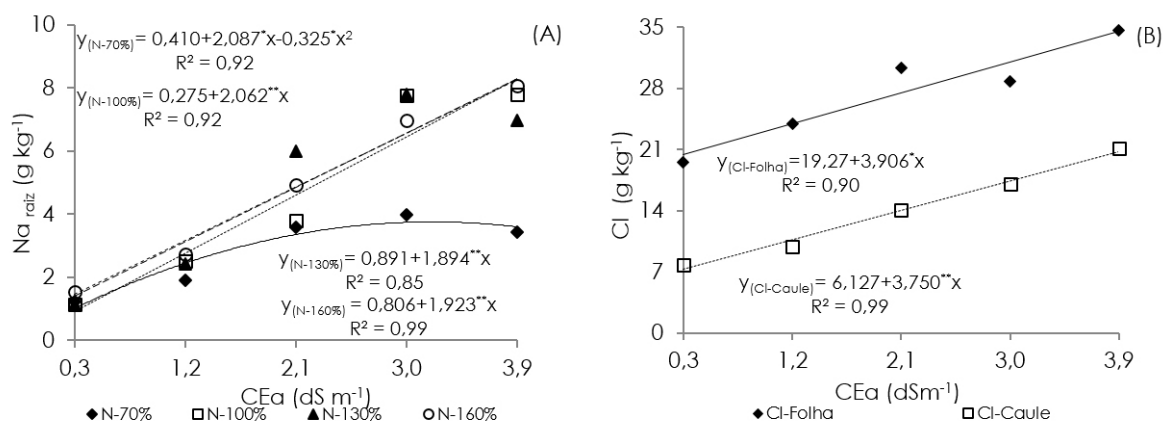
**Figura 4.** Teor de sódio foliar - Na<sub>folha</sub> (A) e caulinar - Na<sub>caule</sub> (B) em função da interação entre a condutividade elétrica da água de irrigação-CEa e doses de adubação nitrogenada-DN, aos 120 dias após a semeadura (DAS)

Com base nas equações de regressão obtida para teor de  $\text{Na}^+$  acumulado nos tecidos caulinares (Figura 4B), verifica-se ter sido quadrático o efeito dos níveis de salinidade da água sobre o teor de  $\text{Na}^+$  para as plantas que receberam doses de 70; 100 e 160% de N, onde se observa que à medida que se elevaram os níveis salinos da água de 0,3 para 3,9  $\text{dS m}^{-1}$  houve uma tendência de aumentada concentração de sódio, sendo encontrados valores máximos de 3,60; 6,42 e 8,03  $\text{g kg}^{-1}$  respectivamente, no teor de sódio no caule das plantas irrigadas com o maior nível de salinidade. Outrossim, pela equação de regressão (Figura 4B), obtida para as plantas que foram submetidas à adubação com 130% de N, constata-se acréscimos relativos de 672,5% no teor de  $\text{Na}^+$  por aumento unitário da CEa, ou seja, comparando-se os valores obtidos entre  $S_5$  (3,9  $\text{dS m}^{-1}$ ) e  $S_1$  (0,3  $\text{dS m}^{-1}$ ), verifica-se aumento de 3,43  $\text{g kg}^{-1}$  no teor de sódio no caule das plantas de mamoneira. Os resultados obtidos neste estudo evidenciam não ter havido mecanismos de exclusão dos íons tóxicos ( $\text{Na}^+$ ) após o processo de absorção, resultando em acúmulo no caule da planta ao longo do tempo (Bosco et al., 2009).

Mediante estudos de regressão (Figura 5A) verifica-se haver efeito quadrático sobre o aporte de  $\text{Na}^+$  nas raízes das plantas submetidas a doses de nitrogênio de 70% de N, sendo o maior acúmulo de sódio (3,76  $\text{g kg}^{-1}$ ) alcançado ao se

irrigar com água de condutividade elétrica de 3,2  $\text{dS m}^{-1}$ , a partir da qual ocorreu decréscimo desta variável. Em relação às doses de nitrogênio de 100; 130 e 160%, o modelo ao qual os dados se ajustaram melhor foi o linear, cujos acréscimos foram de 749,8; 212,6 e 238,5%, respectivamente, por incremento unitário da CEa. Confrontando-se em termos relativos os valores obtidos em 3,9  $\text{dS m}^{-1}$  com 0,3  $\text{dS m}^{-1}$ , verifica-se para esses níveis, respectivamente, aumento de 7,42; 6,81 e 6,92  $\text{g kg}^{-1}$  na concentração de sódio no sistema radicular.

A partir dos dados obtidos para teor de sódio nos diferentes órgãos da mamoneira é possível verificar que o maior teor deste cátion, ocorreu nos tecidos do caule, conforme Santos et al. (2009), esta resposta está relacionada possivelmente com a capacidade das plantas em diminuir a concentração deste elemento nos órgãos fotossinteticamente ativos, possibilitando a manutenção de produção contínua de folhas, fator este considerado positivo na definição da tolerância da cultura ao estresse salino, podendo se caracterizar como um mecanismo de proteção do metabolismo contra o excesso de sódio nas folhas. Corroborando com o presente estudo, Silva et al. (2009) em trabalho com o pinhão manso, também constataram aumento nas concentrações de  $\text{Na}^+$  no sistema radicular, sendo obtido no nível mais elevado de salinidade (100 mM) incremento de 1250%.



**Figura 5.** Teor radicular de sódio -  $\text{Na}_{\text{raiz}}$  em função da interação condutividade elétrica da água de irrigação - CEa e doses de adubação nitrogenada (A) e teor de cloro foliar -  $\text{Cl}_{\text{folha}}$  e caulinar -  $\text{Cl}_{\text{caule}}$  em função da CEa (B), aos 120 dias após a semeadura (DAS)

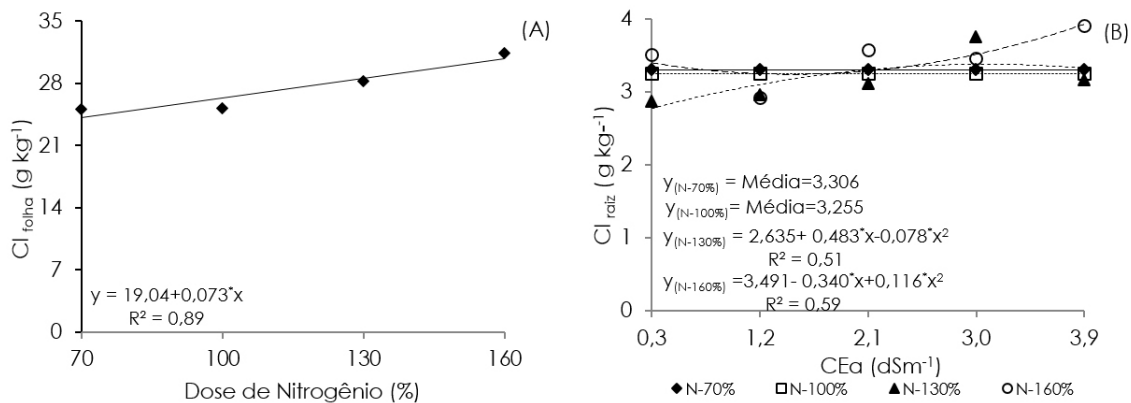


No que se refere à concentração de cloro nos tecidos foliares e caulinar da mamoneira, vê-se pelas equações de regressão (Figura 5B) que o aumento da CEa proporcionou efeito linear, cujos acréscimos foram respectivamente, na ordem de 20,26 e 61,20% para cada incremento unitário da CEa, ou seja, as plantas submetidas à CEa de 3,9 dS m<sup>-1</sup>, apresentaram aumento no teor de Cl<sup>-</sup> de 72,97% (34,50 g kg<sup>-1</sup>) e 220,3% (20,75 g kg<sup>-1</sup>) nos tecidos das folhas e caule, respectivamente, em comparação às irrigadas com 0,3 dS m<sup>-1</sup>.

Verifica-se ainda a partir das equações de regressão (Figura 5B) que o acúmulo de Cl<sup>-</sup> nos tecidos foliares e caulinar foram mais pronunciados nas plantas que receberam irrigação com água de condutividade elétrica de 3,9 dS m<sup>-1</sup>, sendo obtido o maior teor de Cl<sup>-</sup> nos tecidos foliares. O cloro é um elemento essencial para as reações de quebra da molécula de água na fotossíntese, pelas quais o oxigênio é

produzido (Clarke & Eaton-Rye, 2000), e ainda, pode ser necessário para a divisão celular, tanto em folhas quanto no caule (Harling et al., 1997).

O teor de Cl<sup>-</sup> foliar aumentou em resposta à adubação nitrogenada (Figura 6A), verificando-se acréscimo linear de 11,50% por cada aumento de 30% na dose de N, ou seja, vê-se a partir do estudo de regressão (Figura 6A) que as plantas que receberam a maior dosagem de nitrogênio (160% de N) tiveram um aumento no teor de 6,57 g kg<sup>-1</sup> em relação as que foram submetidas à menor dose de N. Este aumento nos teores foliares de Cl<sup>-</sup> sugere que não houve competição entre os ânions NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e Cl<sup>-</sup>, tendo em vista que o incremento na concentração de nitrogênio (nitrato) na zona radicular não reduziu a absorção de cloro, o que provavelmente favoreceu para uma alteração no balanço iônico, proporcionando, desta forma, o maior acúmulo deste anion nos tecidos foliares da planta.



**Figura 6.** Teor foliar de cloro - Cl<sub>folha</sub> em função da adubação nitrogenada -N (A) e teor radicular de cloro - Cl<sub>raiz</sub> em função da interação entre a condutividade elétrica da água de irrigação - CEa e as doses de N (B), aos 120 dias após a semeadura (DAS)

Verifica-se com base nas equações de regressão referente ao teor de cloro acumulado nas raízes das plantas de mamoneira (Figura 6B) não haver a ocorrência de efeito significativo para as plantas que receberam as dosagens de 70 e 100% de N, independente dos níveis de salinidades aplicados. Contudo, nota-se que as plantas sob as doses de 70 e 100% de N, acumularam um teor médio de cloro de 3,30 e 3,25 g kg<sup>-1</sup> nas raízes.

Através da análise de regressão (Figura 3B) observa-se para as doses de 130 e 160% de N, que os dados ajustaram-se ao modelo quadrático, tendo sido obtido um

acúmulo máximo de cloreto de 3,38 e 3,92 g kg<sup>-1</sup> quando da aplicação de CEa 3,1 e 3,9 dS m<sup>-1</sup>, respectivamente. Em função dos resultados obtidos nesta pesquisa e comparando-se o aporte de Cl<sup>-</sup> em relação ao de Na<sup>+</sup> para os diferentes órgãos da mamoneira, constata-se que o cloro foi acumulado em maior proporção nas folhas, em relação à absorção de sódio. Todavia, esperava-se que a aplicação de doses crescentes de nitrogênio poderia minorar o efeito da salinidade, uma vez que, o aumento de nitrato na zona radicular poderia inibir uma maior absorção de Cl<sup>-</sup> pelas raízes através do efeito antagônico existente entre estes ânions,

fato este não verificado no presente estudo.

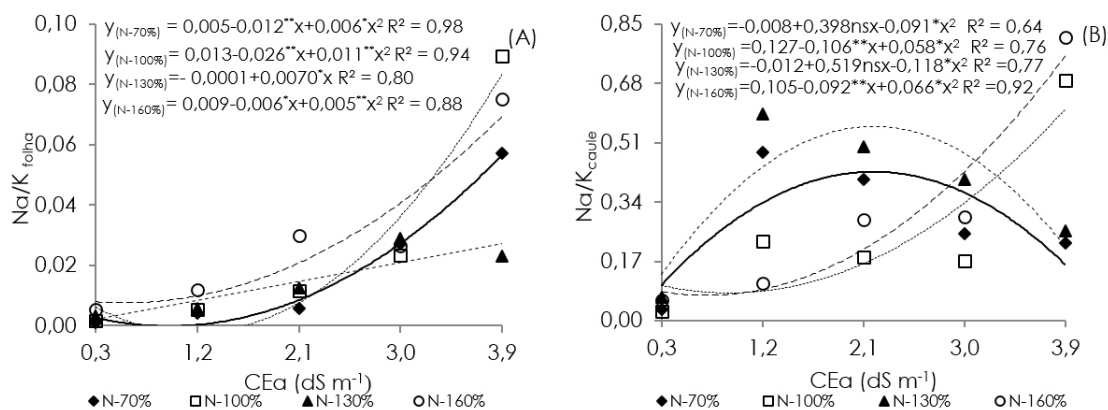
Esses resultados são comumente observados e explicados pela característica de ânion livre de cloro na planta, o que lhe confere maior mobilidade e transporte (Fernandes et al., 2002). A tendência desses resultados está coerente com os de Silva et al. (2009), que também constataram aumento na concentração de cloro nos tecidos das raízes da cultura do pinhão manso em virtude do incremento da salinidade da água.

Acompanhando a tendência observada para o teor de sódio acumulado nos tecidos das folhas das plantas de mamoneira, a relação  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  também foi afetada pela interação entre os fatores - NS x DN (Tabela 3). Ressalta-se que os teores de potássio nos tecidos foliares, caulinar e radicular da mamoneira avaliados no presente estudo, foram influenciados significativamente pelos níveis de salinidade da água, tendo sido obtido respectivamente, teor médio de 11,98; 9,16 e 4,80 g  $\text{kg}^{-1}$ .

Conforme as equações de regressão obtidas para a variável relação  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  acumulado nos tecidos das folhas (Figura 7A) nota-se ter havido efeito quadrático para as plantas adubadas com 70; 100 e 160% de N,

tendo sido obtido valores máximos de 0,049; 0,079 e 0,062 nas plantas que receberam irrigação com água de CEa de 3,9  $\text{dS m}^{-1}$ . Outrossim, verifica-se a partir dos estudos de regressão (Figura 4A) que o aumento dos valores da relação  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  nas folhas das plantas de mamoneira, com o incremento dos níveis de salinidade da água de irrigação, indica o acréscimo na absorção de sódio em detrimento da absorção de potássio.

Com relação à aplicação da dose de 130% de N, observa-se com base na equação de regressão (Figura 7A) que a relação  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  aumentou linearmente em função do incremento dos níveis de salinidade da água de irrigação, com acréscimos de 4747,2% por aumento unitário da CEa, ou seja, as plantas ao serem irrigadas com água de CEa de 3,9  $\text{dS m}^{-1}$  apresentaram um aumento na relação  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  de 0,025 em comparação com as plantas irrigadas com CEa de 0,3  $\text{dS m}^{-1}$ . O aumento na absorção de sódio e o declínio na de potássio, aumenta a relação sódio e potássio. Isso ocorre possivelmente, devido o desbalanço iônico celular, aos danos osmóticos e as desordens na ativação enzimática e síntese de proteínas (Saqib et al., 2005).



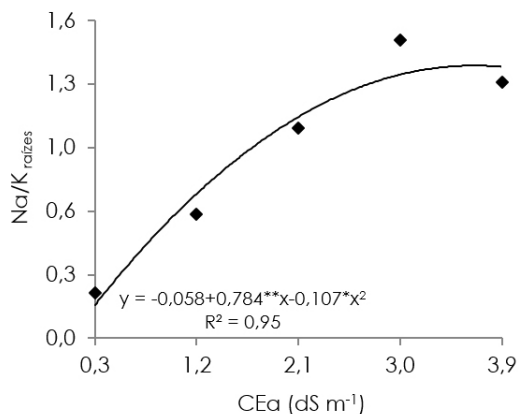
**Figura 7.** Relação  $\text{Na}/\text{K}$  nas folhas -  $\text{Na}/\text{K}_{\text{folha}}$  (A) e no caule -  $\text{Na}/\text{K}_{\text{caule}}$  (B) em função da interação entre a condutividade elétrica da água de irrigação - CEa e doses de adubação nitrogenada - DN, aos 120 dias após a semeadura

Constata-se com as equações de regressão (Figura 7B) haver resposta quadrática para todas as doses de nitrogênio fornecidas as plantas, tendo sido obtido aumento na relação  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  nos tecidos caulinar, quando foram realizadas irrigações com níveis de salinidade da água de até 2,2; 3,9; 2,2 e 3,9  $\text{dS m}^{-1}$  respectivamente, para as plantas que foram

submetidas a adubação com doses de 70; 100; 130 e 160% de N. A avaliação da relação sódio e potássio na nutrição mineral é importante, por indicar a habilidade das plantas em absorver seletivamente os macronutrientes catiônicos, especialmente  $\text{K}^+$ , uma vez que esta relação indica o grau de seletividade da espécie na absorção e compartimentalização desses íons

em seus tecidos (Flowers, 2004).

Observa-se a partir dos estudos de regressão que o modelo que se ajustou ao comportamento desta variável foi o quadrático (Figura 8), onde se constata que com o aumento do aporte de sódio pelas raízes das plantas cultivadas sob níveis de salinidades diferentes (Figura 5A), semelhantemente, houve um aumento acentuado da relação deste íon com o potássio, obtendo-se o máximo valor para esta relação nos tecidos das raízes (1,378) das plantas que estavam sob irrigação com água de 3,7 dS m<sup>-1</sup>, decrescendo posteriormente a partir deste nível de CEa. Conforme Grattan & Grieve (1999), a manutenção de baixas relações sódio e potássio nos diferentes órgãos das plantas tem sido considerada como um importante critério na caracterização da tolerância das plantas a salinidade, pois a menor absorção e translocação de sódio, em relação ao potássio, reflete na absorção balanceada de elementos essenciais, bem como à ação específica desses íons sobre o funcionamento de enzimas e membranas, e conseqüentemente maior tolerância, fato este não observado no presente trabalho.



**Figura 8.** Relação Na/K nas raízes em função da condutividade elétrica da água de irrigação - CEa, aos 120 dias após a semeadura (DAS)

### Conclusões

O uso de água com CEa acima de 0,3 dS m<sup>-1</sup> afeta de forma negativa o crescimento da mamoneira, refletindo em redução linear da altura de planta, diâmetro caulinar, número de folhas e área foliar;

Os teores de sódio e cloro aumentam

com o incremento da salinidade da água de irrigação em todas as partes da planta, sendo os teores de cloro maiores que o de sódio;

A aplicação das doses de adubação nitrogenada resulta em incremento no número de folhas e área foliar e elevação nos teores foliar de cloro.

A irrigação com água de CEa de até 3,7 dS m<sup>-1</sup> promove aumento na relação Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup> nos tecidos das raízes;

### Referências

Alves, A.N., Gheyi, H.R., Uyeda, C.A., Soares, F.A.L., Nobre, R.G., Cardoso, J.A.F. 2012. Uso de águas salinas e adubação nitrogenada no cultivo da mamoneira BRS-Energia. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada* 6:151-163.

Ashraf, M., Harris, P.J.C. 2004. Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. *Plant Science* 166:3-16.

Barhoumi, Z., Atia, A., Rabhi, M., Djebail, W., Abdelly, C., Smaoui, A. 2010. Nitrogen and NaCl salinity effects on the growth and nutrient acquisition of the grasses *Aeluropus litoralis*, *Catapodium rigidum*, and *Brachypodium distachyum*. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 173:149-157.

Bosco, M.R. de O., Oliveira, A.B. de, Hernandez, F.F.F., Lacerda, C.F.de. 2009. Influência do estresse salino na composição mineral da berinjela. *Revista Ciência Agronômica* 40:157-164.

Claessen, M.E.C. (Org.). 1997. *Manual de métodos de análise de solo*. 2.ed. rev. atual. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPQ (Embrapa-CNPQ. Documentos, 1). 212p.

Clarke, S.M., Eaton-Rye, J.J. 2000. Amino acid deletions in loop C of the chlorophyll a-binding protein CP47 alter the chloride requirement and/or prevent the assembly of photosystem II. *Plant Molecular Biology* 44:591-601.

Debouba, M., Gouia, H., Suzuki, A., Ghorbel, M.H. 2006. NaCl stress effects on enzymes involved in nitrogen assimilation pathway in tomato *Lycopersicon esculentum* seedlings. *Journal of Plant Physiology* 163:1247-1258.

Esteves, B.S., Suzuki, M.S. 2008. Efeito da salinidade sobre as plantas. *Ecologia Brasileira* 12:662-679.

Fageria, N.K., Baligar, V.C. 2006. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. *Advances in Agronomy* 88:97-185.

Fernandes Neto, S., Abreu, B.S., Baracuh Neto,

- G.M., Araújo, P.S. de, Baracuchy, J.G. de V. 2008. Impacto ambiental – agroindústria processadora de óleo de mamona/PB. *Revista Ciência e Natura* 30:141-154.
- Fernandes, A.R., Carvalho, J.G. de, Curi, N., Pinto, J.E.B.P., Guimarães, P de T.G. 2002. Nutrição mineral de mudas de pupunheira sob diferentes níveis de salinidade. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 37:1613-1619.
- Flowers, T.J. 2004. Improving crop salt tolerance. *Journal of Experimental Botany* 55:307-319.
- Grattan, S.R., Grieve, C. M.1999. Salinity-mineral nutrient relations in horticultural crops. *Scientia Horticulturae* 78:127-157.
- Harling, H., Czaja, L.S., Walden, R. 1997. A plant cation-chloride co-transporter promoting auxin-independent tobacco protoplast division. *EMBO Journal* 16: 5855-5866.
- Lacerda, C.F., Neves, A.L.R., Guimarães, F.V.A., Silva, F.L.B., Prisco, J.T., Gheyi, H.R. 2009. Eficiência de utilização de água e nutrientes em plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento. *Engenharia Agrícola* 29: 221-230.
- Lima, G.S. de, Nobre, R.G., Gheyi, H.R., Soares, L. A. dos A., Lourenço, G. da S. 2012. Resposta da mamoneira cv. BRS Energia a diferentes níveis de salinidade da água e doses de nitrogênio. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável* 7:79-87.
- Marinho, A.B., Moreira, L.G., Viana, T.V.A., Albuquerque, A.H.P., Oliveira, C.W., Azevedo, B.M. de. 2010. Influência da fertirrigação nitrogenada na produtividade da cultura da mamoneira. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada* 4: 31-42.
- Munns, R., James, R.A., Lauchli, A. 2006. Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. *Journal of Experimental Botany* 57: 1025-1043.
- Munns, R., Tester, M. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology* 59: 651-681.
- Nobre, R.G., Gheyi, H.R., Soares, F.A.L., Cardoso, J.A.F. 2011. Produção de girassol sob estresse salino e adubação nitrogenada. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 35: 929-937.
- Novais, R.F., Neves, J.C.L., Barros, N.F. Ensaio em ambiente controlado. In: OLIVEIRA A. J. (ed.) *Métodos de pesquisa em fertilidade do solo*.1991. Brasília: Embrapa-SEA. p. 189-253.
- Rhoades, J.D., Kandiah, A., Mashali, A.M. *Uso de águas salinas para produção agrícola*. Campina Grande: UFPB, 2000. Estudos da FAO, Irrigação e Drenagem, 48, revisado. 117p.
- Santos, J.B. dos, Santos, D.B. dos; Azevedo, C.A.V. de, Rebequi, A.M.; Cavalcante, L. F., Cavalcante, I.H.L. 2013. Comportamento morfofisiológico da mamoneira BRS Energia submetida à irrigação com água salina. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 17:145-152.
- Santos, P.R. dos, Ruiz, H.A., Neves, J.C.L., Freire, M.B.G.S., Freire, F.J. 2009. Acúmulo de cátions em dois cultivares de feijoeiro crescidos em soluções salinas. *Revista Ceres* 56:666-678.
- Saqib, M., Akhtar, J., Qureshi, R.H. 2005. Na<sup>+</sup> exclusion and salt resistance of wheat (*Triticum estivum*) in saline-water logged conditions are improved by the development of adventitious nodal roots and cortical root aerenchyma. *Plant Science* 169:125-130.
- Severino, L.S., Vale, L.S., Cardoso, G.D., Beltrão, N.E. de M., Santos, J.W. dos. 2005. *Método para determinação da área foliar da mamoneira*. Campina Grande: Embrapa – CNPA (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 55). 20 p.
- Silva, E. C., Nogueira, R.J.M.C., Araújo, F.P., Melo, N.F., Azevedo Neto, A.D. 2008. Physiological responses to salt stress in young umbu plants. *Environmental and Experimental Botany* 63:147-157.
- Silva, E.N. da, Silveira, J.A.G., Fernandes, C.R.R., Dutra, A.T.B., Aragão, R.M. de. 2009. Acúmulo de íons e crescimento de pinhão-mansão sob diferentes níveis de salinidade. *Revista Ciência Agronômica* 40:240-246.
- Silva, F.C. 1999. *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes*. Brasília: Embrapa Comunicação para transferência de tecnologia. 370 p.
- Silva, S.M.S., Alves, A. N., Gheyi, H. R., Beltrão, N.E. de M., Severino, L. S., Soares, F. A. L. 2008. Desenvolvimento e produção de duas cultivares de mamoneira sob estresse salino. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 12: 335-342.
- Silva, S.M.S., Gheyi, H.R., Beltrão, N.E. de M., Santos, J.W. dos, Soares, F.A.L. 2009. Dotações hídricas em densidades de plantas na cultura da mamoneira cv. BRS Energia. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias* 4: 338-348.