



Acúmulo de NPK e sódio na mamoneira sob estresse salino e adubação nitrogenada

Reginaldo G. Nobre¹, Lauriane A. dos A. Soares², Hans R. Gheyri³,
Geovani S. de Lima², Givanildo da S. Lourenço⁴ & Saulo da S. Soares¹

RESUMO

Objetivou-se, com esta pesquisa, avaliar os efeitos da irrigação com água de diferentes salinidades e doses de nitrogênio, sobre a acumulação de NPK e sódio na parte aérea da mamoneira, em experimento conduzido em lisímetros. Utilizou-se aleatorização em bloco em esquema fatorial 5 x 5, com três repetições, estudando-se os cinco níveis de condutividade elétrica da água (CEa), variando de 0,4 a 4,4 dS m⁻¹, associados a cinco doses de nitrogênio (50 a 150% da recomendada). Os teores de NPK e de sódio na cv. BRS Energia foram maiores nas folhas que no caule e entre as épocas de avaliação, aos 120 dias após a semeadura (DAS) em relação aos 46 DAS. Nas folhas os teores acumulados aos 46 DAS, variou na sequência K > Na > N > P e aos 120 DAS K > N > Na > P; enquanto no caule variaram em ambas as épocas, a ordem foi Na > K > P ≥ N e em função da CEa e K > Na > P ≥ N em função das doses de N aos 46 DAS níveis crescentes de CEa promoveram aumento no teor de N_{folha} e K_{folha} assim como o incremento da adubação com N inibiu o teor de Na_{folha}; aos 120 DAS o maior teor de N_{folha} foi obtido com a CEa de 4,4 dS m⁻¹ e a dose de N de 150%, já o teor de K_{folha} e K_{caule} foi obtido na dose de 150% de N enquanto o teor de P não foi influenciado por nenhum fator estudado.

Palavras-chave: *Ricinus communis* L., nutrição mineral, condutividade elétrica

Accumulation of NPK and sodium in castor bean under saline stress and nitrogen fertilization

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the effects of irrigation with water of different salinities and doses of nitrogen fertilization on accumulation of NPK and sodium in the aerial parts of the castor bean, the experiment was conducted in lysimeters. A randomized block design in 5 x 5 factorial arrangement with three replications was used, and the effects of electrical conductivity of water (ECw) varying from 0.4 to 4.4 dS m⁻¹ associated with nitrogen dose (50 to 150% of recommended dose) were studied. The NPK and sodium contents in the aerial parts of to plant in the leaves in comparison to stems and evaluation times 120 days after sowing (DAS) > 46 DAS. In leaves the content at 46 DAS varied according to following sequence K > Na > N > P and at 120 DAS K > N > Na > P while in the stem in both study periods it accumulated in the order Na > K > P ≥ N under water salinity and K > Na > P ≥ N depending on nitrogen fertilization. At 46 DAS, the increasing levels of ECw caused an increase in the N_{leaf} and K_{leaf} and nitrogen dose inhibited Na_{leaf} content. At 120 DAS the highest content of N_{leaf} was obtained in treatment ECw 4.4 dS m⁻¹ and in dose of 150% N while the contents of K_{leaf} and K_{stem} were obtained in the dose of 150% N. The P content was not affected by any of the studied factors.

Key words: *Ricinus communis* L., mineral nutrition, electrical conductivity

¹ UAGRA/UFCC, Rua Jairo Vieira Feitosa, 1770, CEP 58840-000, Pombal, PB. Fone: (83) 3431-3000. E-mails: rgomesnobre@yahoo.com.br; saulo20@hotmail.com

² UAEA/UFCC, Av. Aprígio Veloso, 882, CEP 58429-140, Campina Grande, PB. Fone: (83) 99459864. E-mails: laurispo.agronomia@gmail.com; geovanisoareslima@gmail.com

³ CCAAB/UFRB, Rua Rui Barbosa, 710, Campus Universitário de Cruz das Almas, CEP 44380-000, Cruz das Almas, BA. Fone: (83) 2101-1056. E-mail: hans@agriambi.com.br

⁴ Engenheiro Agrônomo, Av. Comandante Vital Rolin, 1286, CEP 58900-000, Cajazeiras, PB. Fone: (83) 9804-0589. E-mail: givanildo83@r7.com

INTRODUÇÃO

A região semiárida do Brasil é caracterizada por apresentar períodos prolongados de estiagens e distribuição irregular de precipitações, de forma que o uso da irrigação surge como alternativa para viabilizar a exploração agrícola porém a maior parte das águas disponíveis para uso na irrigação nesta região contém teores relativamente moderados de sais, sendo encontrados frequentemente valores que chegam a 5,0 dS m⁻¹ (Cavalcanti et al., 2005).

A salinidade é um dos principais fatores que limitam o crescimento e a produtividade de plantas; esta limitação se dá em condições salinas visto que ocorre redução na disponibilidade de água às plantas em razão da diminuição do potencial osmótico da solução do solo e, assim, as plantas tendem a gastar mais energia para absorver água e nutrientes (Leonardo et al., 2003); além disto, a salinidade pode promover desbalanço nutricional devido ao excesso de sódio na solução de solo que provoca distúrbio na absorção de nutrientes afetando sobretudo as concentrações de Ca, Mg e K na planta (Wanderley et al., 2010).

A mamoneira (*Ricinus communis* L.) é uma oleaginosa passiva de exploração no Nordeste brasileiro, por possuir características de xerofilismo e heliofilismo, além de boa adaptação a distintas condições de solo e manejo de cultivo; seus produtos e subprodutos são utilizados na indústria ricinoquímica e na agricultura, além da possibilidade do óleo extraído de suas sementes ser usado como biocombustível (Souza Júnior et al., 2005).

Entretanto, quando comparada com outras oleaginosas, a mamoneira é considerada moderadamente sensível à salinidade (Ayers & Westcot, 1999) ou seja apesar de sua rusticidade e adaptabilidade pode ter o crescimento, a produtividade e a qualidade de seus produtos prejudicados quando explorada em ambientes nos quais a salinidade (condutividade elétrica do extrato de saturação) do solo é superior a 3,0 dS m⁻¹.

Entre as principais tecnologias usadas para aumentar a produtividade e a rentabilidade dos cultivos, o suprimento nutricional se destaca sendo o nitrogênio o macronutriente exigido em maior quantidade pelas culturas agrícolas perfazendo 2% de sua massa seca total (Chaves et al., 2011). 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).

Com base no exposto objetivou-se, com esta pesquisa, avaliar os efeitos da irrigação com água de diferentes salinidades e doses de adubação nitrogenada sobre a acumulação de NPK e sódio na parte aérea da mamoneira cv. BRS Energia.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido entre outubro de 2010 e fevereiro de 2011, em lisímetros sob condições de campo

no Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, da Universidade Federal de Campina Grande (CCTA/UFCG), Pombal, PB (6° 48' 16" S, 37° 49' 15" W e altitude de 144 m).

Usou-se o delineamento estatístico de blocos casualizados arrançados em esquema fatorial 5 x 5, com três repetições e sendo a parcela experimental constituída por um vaso. Os tratamentos resultaram da combinação de cinco níveis de salinidade da água de irrigação - CEa (0,4 - Controle; 1,4; 2,4; 3,4 e 4,4 dS m⁻¹) e de cinco doses de adubação nitrogenada (50, 75, 100, 125 e 150%) da indicação de adubação nitrogenada (100 mg kg⁻¹ de solo) para ensaio em vaso conforme Novais et al. (1991). Em dose de 100% foram aplicados 16,67 g de fosfato monoamônio (MAP) mais 4,44 g de ureia. Da adubação com N 1/3 foi aplicado em fundação e os demais 2/3 parcelados 5 vezes em intervalos de 11 dias a partir de 24 dias após o semeio (DAS). As unidades experimentais foram dispostas em fileiras simples espaçadas 0,9 m entre fileiras e 0,7 m entre plantas dentro da fileira.

As águas com diferentes condutividades elétricas foram obtidas pela dissolução do cloreto de sódio (NaCl) em água proveniente do sistema de abastecimento local (0,4 dS m⁻¹) cuja quantidade (Q) foi determinada com base na equação de Rhoades et al. (2000) sendo $Q \text{ (mg L}^{-1}\text{)} = 640 \times \text{CEa (dS m}^{-1}\text{)}$ em que a CEa representa o valor desejado da condutividade elétrica da água. Ressalta-se que a cada evento de irrigação eram realizadas aferições da CEa, conforme os tratamentos pré-estabelecidos com o auxílio de condutivímetro portátil. As águas eram acondicionadas em toneis plásticos de 200 L de capacidade.

Utilizou-se a cultivar de mamoneira BRS Energia cujas sementes foram fornecidas pela Embrapa Algodão. Segundo Silva et al. (2009) trata-se de um material genético vigoroso, de fácil propagação, com características de precocidade e de porte baixo.

Foram utilizados vasos plásticos de 100 L de capacidade preenchidos com 2 kg de brita (n° zero) a qual cobria a base do vaso seguida de 107,8 kg do material de solo (Neossolo Regolítico Eutrófico tipo franco-arenoso), não salino e não sódio, coletado na profundidade de 0-30 cm e proveniente do município de Pombal, PB. As características físicas e químicas do solo (Tabela 1) foram realizadas no Laboratório de Solos e Nutrição de Plantas (LSNP) da UFCG, conforme metodologia descrita por Claessen (1997). Os vasos possuíam dois furos na base para permitir a drenagem e, abaixo dos mesmos, um microtubo (12 mm de diâmetro) conectava sua base a duas garrafas plásticas de 2 L de capacidade para o acompanhamento do volume drenado e estimativa do consumo de água pela cultura.

Com base nos resultados da análise do solo realizou-se a adubação básica com 162,5 g de superfosfato simples, 12 g de sulfato de potássio (K₂SO₄) e 2200 g de vermicomposto (6,3 g kg⁻¹ de N, 1,28 g kg⁻¹ de P e 0,53 g kg⁻¹ de K) por vaso, visando

Tabela 1. Características físicas e químicas do solo utilizado como substrato

Densidade kg dm ⁻³	Porosidade total (%)	Areia	Silte	Argila	Complexo sortivo				P mg kg ⁻¹	pH _{ps} -	CE _{es} dS m ⁻¹
					Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺			
1,31	48,22	830	71	99	7,50	5,15	0,29	0,29	0,72	7,33	0,53

Ca²⁺ e Mg²⁺ extraídos com KCl 1 mol L⁻¹ pH 7,0; Na⁺ e K⁺ extraídos utilizando-se NH₄OAc 1 mol L⁻¹ pH 7,0; pH_{ps} - pH da pasta saturada; CE_{es} - Condutividade elétrica do extrato de saturação

melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, de forma a aumentar a capacidade de retenção e a circulação de água no solo.

Antes da semeadura determinou-se o volume de água necessária para o solo atingir a capacidade de campo, através do método de saturação por capilaridade seguida por drenagem livre e aplicando água de acordo com os tratamentos. Foram semeadas, em 28 de outubro de 2010, 10 sementes de mamona por vaso a 2 cm de profundidade e distribuídas de forma equidistante. A emergência das plântulas teve início no sexto DAS e continuou até o décimo terceiro dia, sendo realizado aos 14 DAS o primeiro desbaste deixando-se por parcela 4 plântulas que apresentavam melhor vigor; aos 21, 35 e 46 DAS foram realizados novos desbastes eliminando-se uma planta por vaso.

Aos 29 e 37 DAS, ou seja, período inicial da emissão das flores, foram realizadas adubações foliares com Albatroz® (N - 10%, P₂O₅ - 52%, K₂O - 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 distribuídos nas plantas com um pulverizador costal.

Desde o semeio as irrigações foram realizadas diariamente sempre ao final da tarde (17 h) considerando-se a necessidade hídrica das plantas, sendo a lâmina aplicada mensurada por meio da lisimetria de drenagem mensurando-se a lâmina pela diferença entre o volume aplicado e o drenado na última irrigação adicionando-se uma fração de lixiviação média de 10%.

Durante a condução do experimento foram realizados os seguintes tratos culturais: tutoramento das plantas, eliminação manual das plantas daninhas e escarificação superficial do solo antes de cada irrigação, além de duas pulverizações ao longo da condução, com produto indicado para controle preventivo de insetos (Vertimec® 18 EC - 0,5 g L⁻¹).

Visando analisar o efeito dos tratamentos foram determinadas, aos 46 e 120 DAS, as concentrações de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K) e sódio (Na) nas folhas e caule da mamoneira. Para determinação dos teores de NPK e de sódio selecionaram-se todas as folhas e caule da planta de cada unidade experimental. O material vegetal amostrado foi lavado com água destilada e secado em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C, até peso constante. Após a secagem as amostras foram pesadas, moídas e submetidas a análises químicas segundo metodologia recomendada por Silva (1999).

Os dados obtidos foram avaliados mediante análise de variância pelo teste F e, nos casos de significância, realizou-se análise de regressão polinomial linear e quadrática utilizando-se o software estatístico SISVAR-ESAL.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Analisando os resultados do teste de F dos dados foliares da mamoneira (Tabela 2) verifica-se haver efeito significativo do fator salinidade da água de irrigação sobre os teores de N e Na aos 46 e 120 DAS e de K apenas aos 46 DAS. Em relação ao fator dose de adubação nitrogenada constata-se efeito significativo sobre o teor de N aos 46 e 120 DAS, de K e Na aos 120 DAS; já em relação à interação entre os fatores (salinidade da água de irrigação e doses de adubação nitrogenada) observa-

Tabela 2. Resultado do teste F para teores foliares de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K) e sódio (Na) aos 46 e 120 dias após o semeio (DAS) da mamoneira em função de diferentes níveis de salinidade da água de irrigação e doses de nitrogênio

Fonte de variação	Teste F							
	N		P		K		Na	
	46	120	46	120	46	120 ¹	46	120
Salinidade da água (S)	**	**	ns	ns	**	ns	**	**
Reg. Linear	**	**	-	-	**	-	**	**
Reg. Quadrática	ns	*	-	-	*	-	*	ns
Doses de nitrogênio (N)	**	*	ns	ns	ns	*	ns	**
Reg. Linear	**	*	-	-	-	**	-	*
Reg. Quadrática	ns	ns	-	-	-	ns	-	**
Interação (S x N)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**	**
Bloco	ns	ns	ns	ns	ns	*	*	ns
CV (%)	13,10	17,95	18,74	20,01	25,52	12,02	20,09	17,69

ns, **, * Não significativo, significativo a p < 0,01 e p < 0,05, respectivamente; ¹Análise estatística realizada após transformação de dados em \sqrt{x}

se (Tabela 2) efeito significativo sobre o acúmulo de Na aos 46 e 120 DAS.

Conforme equações de regressão (Figura 1A) aos 46 DAS o modelo linear indica acréscimos no teor de N foliar de 7,8% por aumento unitário da CEa, ou seja, incremento de 31,3% (4,2

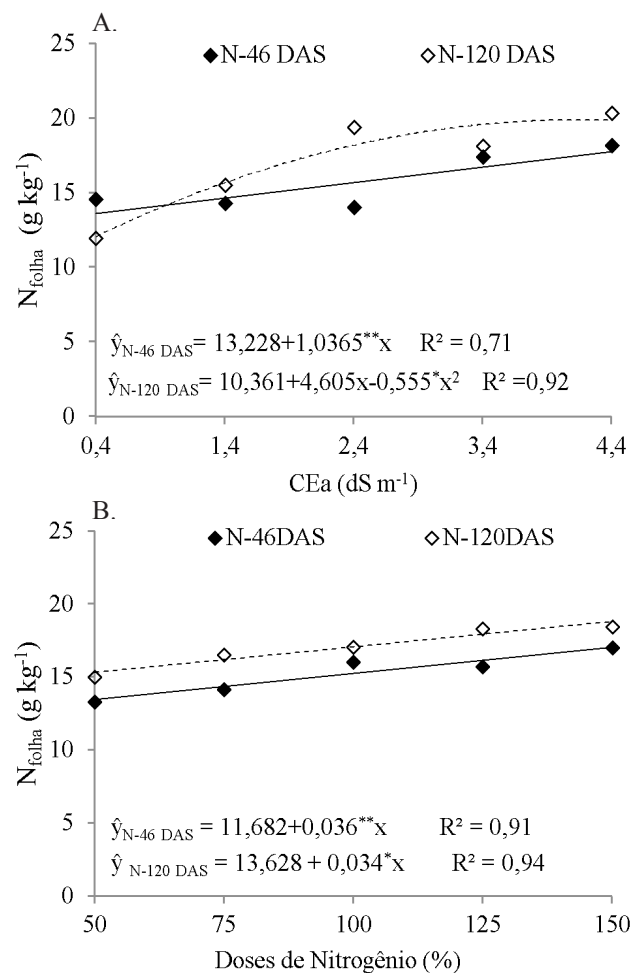


Figura 1. Teor de nitrogênio foliar (N_{folha}) em função da condutividade elétrica da água de irrigação - CEa (A) e de doses de nitrogênio (B), aos 46 e 120 dias após a semeadura (DAS)

g kg⁻¹ de N) nas plantas irrigadas com água de 4,4 dS m⁻¹ em relação à testemunha (0,4 dS m⁻¹); já aos 120 DAS, os dados se ajustaram melhor ao modelo quadrático notando-se que o maior teor de N (19,9 g kg⁻¹) foi obtido em plantas sob a CEa de 4,1 dS m⁻¹, sendo este 7,8 g kg⁻¹ de N superior ao obtido em plantas sob CEa de 0,4 dS m⁻¹.

A acumulação de compostos nitrogenados em plantas é comumente relacionada à tolerância a salinidade (Mansour et al., 2003); assim, na fase inicial (46 DAS) a cv. BRS Energia foi mais tolerante aos sais visto que manteve incremento no teor N em função dos crescentes níveis de CEa (Figura 1A). Apesar de Suhayda et al. (1990) relatarem que com o aumento do tempo de exposição das plantas aos sais e/ou do nível salino pode ocorrer inibição na absorção de nitrato devido à interação NO₃/Cl nos sítios de absorção ou à despolarização da membrana pelo Na, esta constatação não foi observada no presente estudo.

De maneira semelhante, Sousa et al. (2012) verificaram, ao estudar a influência da CEa no teor de macro e micronutrientes em folhas de pinhão-manso, efeito quadrático com maior teor de N (28,6 g kg⁻¹) obtido em plantas sob CEa de 2,2 dS m⁻¹ e sob 3,0 dS m⁻¹ acumulou apenas 18,7 g kg⁻¹ de N; acrescenta-se, conforme esta variável, ser a mamoneira mais eficiente sob estresse salino que o pinhão-manso. O aumento no teor de nitrogênio nos tecidos vegetais observado na cultura da mamoneira cv. BRS Energia é fator importante na regulação do fluxo de carbono em direção à síntese mais intensa de proteínas (alto teor de N) ou de carboidratos (baixo teor de N). Além disto, o teor de nitrogênio nas folhas exerce grande influência na expressão de genes para a síntese de enzimas carboxilativas (Rubisco, PEPcase). Outrossim, o teor de nitrogênio acumulado na planta influencia bastante o padrão de distribuição de carboidratos, o que afeta o crescimento e a produtividade (Lawlor, 2002).

Em relação ao efeito do fator adubação nitrogenada sobre o teor de N foliar aos 46 e 120 DAS observa-se, segundo modelos estatísticos (Figura 1B), comportamento linear, em que as doses crescentes de N promoveram acréscimos no teor de N foliar respectivamente, de 7,7 e 6,2% por intervalo de 25% da dose de N aos 46 e 120 DAS, ou seja, incremento de 30,81% (3,6 g kg⁻¹ de N) e 24,94% (3,4 g kg⁻¹ de N) na concentração de N das plantas sob 150% de N em relação às adubadas com 50% de N, o que mostra que os nutrientes presentes nas folhas refletem as condições de fertilidade do solo e/ou da adubação disponibilizada às plantas. Carvalho & Pissaiá (2004) verificaram, em experimento testando adubação nitrogenada em girassol e Zhao et al. (2005) estudando o algodoeiro, que o aumento na dose de adubação nitrogenada como observado fornecida às plantas promoveu incremento no teor de N nas folhas, tal como observado neste trabalho.

Apesar da variação dos níveis salino e das doses de nitrogênio fornecida às plantas, não foi constatado efeito significativo sobre o teor de fósforo nas folhas da mamoneira em nenhum período de avaliação estudado (Tabela 2). Aos 46 e 120 DAS a média do teor de P foliar em função da CEa foi, respectivamente, 6,1 e 6,6 g kg⁻¹ e das doses de adubação nitrogenada, de 6,0 e 6,8 g kg⁻¹. Denota-se que este comportamento ocorreu em razão dos efeitos de força iônica que reduzem a atividade do fósforo na solução do solo ou da

elevada adsorção do fosfato e da diminuição da solubilidade deste mineral em virtude do aumento dos níveis de Na e de Cl no solo (Carmo et al., 2011).

O fator salinidade da água de irrigação afetou significativamente ($p < 0,01$) o acúmulo de potássio nas folhas da mamoneira mas apenas aos 46 DAS (Tabela 2) e, conforme a equação de regressão (Figura 2A) houve acréscimo linear no teor de K de 8,3% por aumento unitário da CEa, isto é, aumento de 33,2% no teor de K das plantas irrigadas com água de 4,4 dS m⁻¹ em relação às sob 0,4 dS m⁻¹. Incremento na concentração de NaCl na solução do solo prejudica a absorção radicular de nutrientes, principalmente K e Ca e interfere nas funções fisiológicas (Ferreira-Silva et al., 2008); no entanto, a habilidade das plantas em manter altos teores de K e baixos níveis de Na dentro do tecido é um dos mecanismos chave que contribuem para expressar maior tolerância à salinidade (Mansour et al., 2003) sendo variável entre genótipos (Ayers & Westcot, 1999). Neste trabalho observa-se, na primeira avaliação (aos 46 DAS) que a mamoneira submetida a níveis crescentes de CEa teve incremento no teor de K_{folha} (Figura 2A). A manutenção de elevada relação de potássio com o sódio nos tecidos foliares das plantas tem sido considerada uma característica adaptativa das plantas para manutenção do crescimento em ambientes salinos,

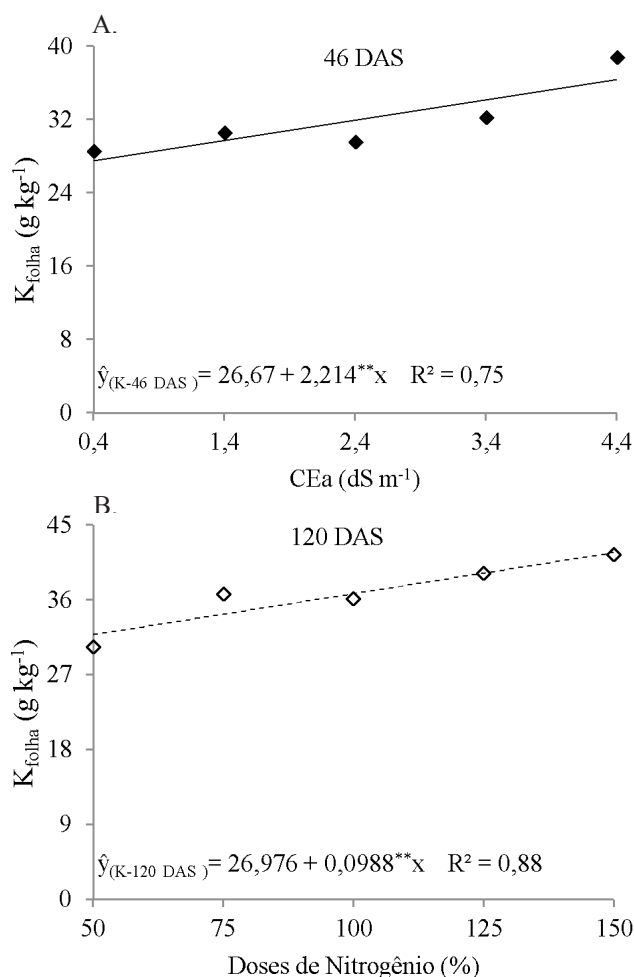


Figura 2. Teor de potássio foliar (K_{folha}) em função da condutividade elétrica da água de irrigação - CEa aos 46 dias após a semeadura (DAS) (A) e de doses de nitrogênio aos 120 DAS (B)

haja vista permitir que as células realizem suas principais funções em níveis próximos aos da normalidade das plantas (Grattan & Grieve, 1999).

A adubação nitrogenada afetou significativamente ($p < 0,01$) o teor de K das folhas aos 120 DAS (Tabela 2); de acordo com a equação de regressão (Figura 2B) o efeito foi linear havendo incremento no K_{folha} de 9,2% por aumento de 25% da dose de nitrogênio estudada, sendo alcançado com a maior dose de N (150% da recomendação) um teor de K na ordem de $41,8 \text{ g kg}^{-1}$ evidenciando que a resposta da mamoneira ao potássio depende, em parte, do nível em que se encontra a nutrição nitrogenada da planta e/ou do solo. Os efeitos das doses de nitrogênio obtidos neste estudo são condizentes com os encontrados por Pacheco et al. (2008) que, estudando a mamoneira 'IAC 226' sob os efeitos de doses de adubos NPK, também verificaram valores elevados de K quando combinados com altas doses de N.

Constata-se, na Tabela 2, que a interação entre os fatores (salinidade da água de irrigação e doses de nitrogênio) teve efeito significativo ($p < 0,01$) sobre o acúmulo de sódio nas folhas da mamoneira aos 46 e 120 DAS. Na fase inicial (46 DAS) as plantas adubadas com as distintas doses de N (50, 75, 100, 125 e 150%) apresentaram um declínio no acúmulo de Na foliar em função da salinidade da água de irrigação. Esses resultados apresentaram incoerência e divergem dos relatos encontrados na literatura (Silva et al., 2009; Sousa et al., 2012) e observados aos 120 DAS neste trabalho, por este motivo precisam ser verificados em outros estudos.

Os teores foliares de Na aumentaram ao longo do ciclo da cultura refletindo o tempo de acumulação pelo fluxo transpiratório e a baixa mobilidade deste nutriente na planta de forma que se verifica, analisando o teor de Na aos 120 DAS (Figura 3) que embora as doses 50, 75, 100 e 125% de N tenham apresentados baixos coeficientes de determinação ($R^2 < 0,50$) conforme os modelos de regressão ($\hat{y}_{(N-50\%)} = 9,518 + 1,153^{**}x$ e $R^2 = 0,39$; $\hat{y}_{(N-75\%)} = 9,595 + 1,922^{**}x$ e $R^2 = 0,37$; $\hat{y}_{(N-100\%)} = 8,058 + 0,961^*x$ e $R^2 = 0,12$; $\hat{y}_{(N-125\%)} = 5,811 + 2,694^{**}x$ e $R^2 = 0,53$) tendo sido obtido incremento de 12,1; 20,0; 11,9 e 46,4% para cada aumento por unidade da condutividade elétrica da água de irrigação, correspondente a 48,5; 80,0; 47,7

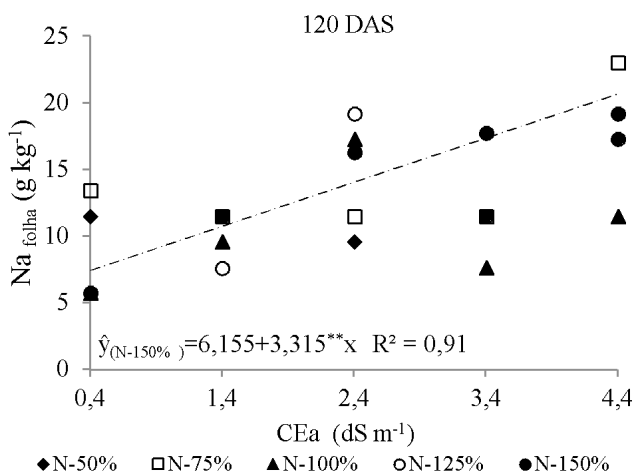


Figura 3. Teor de sódio foliar (Na_{folha}) em função da condutividade elétrica da água de irrigação - CEa e de doses de adubação nitrogenada aos 120 dias após a semeadura - DAS

e 185,4% quando se comparam os dados obtidos nas plantas submetidas à irrigação com água de $4,4 \text{ dS m}^{-1}$ em relação às sob $0,4 \text{ dS m}^{-1}$. Com relação às plantas que receberam doses de 150% de N verifica-se, pela equação de regressão (Figura 3) comportamento linear crescente para acúmulo de sódio na ordem de 53,9% por aumento unitário da CEa, ou seja, aumento de 215,4% de Na_{folha} das plantas irrigadas com CEa de $4,4 \text{ dS m}^{-1}$ quando comparadas com as sob CEa de $0,4 \text{ dS m}^{-1}$. Os resultados obtidos sugerem não ter havido mecanismos de exclusão dos íons tóxicos (Na^+) após o processo de absorção resultando em acúmulo na parte aérea da planta ao longo do tempo, com surgimento de clorose e necrose nas folhas (Gorham et al., 1988) e denotando maior sensibilidade da cv. BRS Energia aos sais no período de colheita (120 DAS).

Segundo resultado do teste F (Tabela 3) houve efeito significativo dos níveis de salinidade da água de irrigação sobre o teor de N e Na no caule da mamoneira aos 120 DAS e de K aos 46 e 120 DAS. O fator adubação nitrogenada promoveu efeito significativo sobre o teor de N no caule aos 46 DAS e do K aos 46 e 120 DAS; observa-se ainda, na Tabela 3, efeito significativo da interação entre os fatores (salinidade da água de irrigação e doses de adubação nitrogenada) sobre o teor de $N_{caulinar}$ aos 120 DAS.

Tabela 3. Resultado do teste F para teores caulinar de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K) e sódio (Na) aos 46 e 120 dias após o semeio (DAS) da mamoneira em função de diferentes níveis de salinidade da água de irrigação e doses de nitrogênio

Fonte de variação	Teste F							
	N		P		K		Na	
	46 ¹	120 ¹	46	120	46	120 ¹	46	120 ²
Salinidades da água (S)	ns	**	ns	ns	**	*	ns	**
Reg. Linear	-	**	-	-	*	**	-	**
Reg. Quadrática	-	**	-	-	**	ns	-	*
Doses de nitrogênio (N)	*	ns	ns	ns	**	**	ns	ns
Reg. Linear	*	-	-	-	**	**	-	-
Reg. Quadrática	ns	-	-	-	*	**	-	-
Interação (S x N)	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Bloco	ns	ns	ns	ns	ns	**	ns	ns
CV (%)	16,64	16,5	15,09	19,45	21,63	14,60	22,56	40,46

ns, ** : Não significativo, significativo a $p < 0,01$ e $p < 0,05$, respectivamente; ¹Análise após transformação de dados em \sqrt{x} e ² após transformação de dados em $\sqrt{x+1}$

Verifica-se efeito linear crescente do fator dose de adubação nitrogenada sobre o teor de N no caule da mamoneira aos 46 DAS (Figura 4A) com acréscimos de 8,3% em razão do aumento de 25% da dose de N estudada obtendo-se o maior teor de N_{caule} ($4,52 \text{ g kg}^{-1}$) com a dose estudada de 150% de N. Comparando os teores de 'N' acumulados em caule (Figura 4A) e folhas (Figura 1B) aos 46 DAS em função da adubação nitrogenada, constata-se que o teor de N_{folhas} foi 379% maior que o teor de N_{caule} . A aptidão em acumular nutrientes (principalmente N e P) nas folhas está relacionada, em geral, a altas taxas de crescimento, as quais seriam consequência da maior capacidade fotossintética (Dias Filho, 2006).

O teor de N caulinar da mamoneira foi afetado ($p < 0,01$) aos 120 DAS pela interação entre salinidade da água de irrigação e doses de nitrogênio; desta forma verifica-se, estudando o aumento da salinidade em cada dose de nitrogênio aplicada por análise de

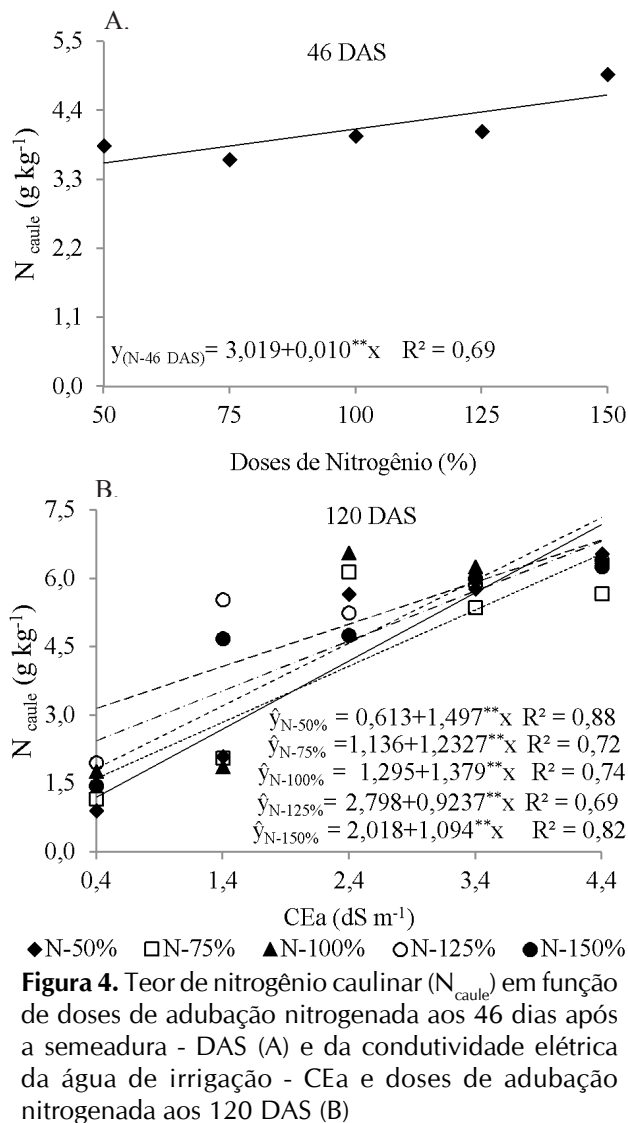


Figura 4. Teor de nitrogênio caulinar (N_{caule}) em função de doses de adubação nitrogenada aos 46 dias após a semeadura - DAS (A) e da condutividade elétrica da água de irrigação - CEa e doses de adubação nitrogenada aos 120 DAS (B)

regressão (Figura 4B) um incremento unitário da CEa na ordem de 244,0; 108,5; 101,9; 33,0 e 54,2%, quando adubadas com 50, 75, 100, 125 e 150% de N, respectivamente, ou seja, acréscimos equivalentes de 976,5; 434,2; 407,4; 132,1 e 216,9% no teor de N_{caule} das plantas irrigadas com CEa de 4,4 dS m⁻¹ em relação às sob CEa de 0,4 dS m⁻¹. A fertilização nitrogenada, além de promover o crescimento das plantas, também pode diminuir o efeito da salinidade nos vegetais (Flores et al., 2001) em razão da acumulação deste soluto elevar a capacidade de ajustamento osmótico das plantas à salinidade e aumentar a resistência das culturas ao estresse hídrico e salino (Silva et al., 2008). Conforme Silveira et al. (2003) em condições de salinidade não somente a assimilação de NO_3^- é requerida para o crescimento das plantas mas alguns dos seus metabólitos derivados podem ser utilizados no ajustamento osmótico celular.

Constata-se, no presente estudo, aumento na concentração de 'N' tanto nas folhas (Figura 1) como no caule (Figura 2) em função dos distintos tratamentos; entretanto, o teor em folhas foi, nas duas épocas de avaliação, mais expressivo. Segundo Santamaria et al. (1999) os órgãos da planta de maior acúmulo são pecíolo, seguido de folha, caule e raízes, o que justifica os maiores teores de nutrientes nas folhas neste estudo.

Os distintos níveis salinos e doses de N estudados não promoveram efeito significativo sobre o teor de fósforo no caule em nenhuma data de estudo (Tabela 3). Observou-se que o teor médio de P no caule obtido em função da CEa foi, respectivamente, de 4,5 e 7,0 g kg⁻¹ aos 46 e 120 DAS; já sob as doses de adubação nitrogenada foram obtidos 4,4 e 6,7 g kg⁻¹.

Conforme equações de regressão, o modelo linear indica decréscimos no teor de K_{caule} de 5,6 e 6,1% aos 46 e 120 DAS, respectivamente, por aumento unitário da CEa (Figura 5A) ou seja, reduções do teor de K_{caule} de 23,4% (5,2 g kg⁻¹) aos 46 DAS e 24,5% (5,8 g kg⁻¹) aos 120 DAS nas plantas irrigadas com água de 4,4 dS m⁻¹ em relação ao controle (0,4 dS m⁻¹). O teor de K_{caule} aos 46 DAS em função do aumento dos níveis de CEa teve comportamento contrário ao verificado nas K_{folhas} (Figura 2A) denotando-se que, nesta fase, a cultura teve maior tolerância aos sais, de forma a acumular mais K do que Na nas folhas e consequentemente favoreceu o processo de fotossíntese pois, conforme Apse & Blumwald (2007) o 'K' se relaciona à atividade de mais de 60 enzimas, mantendo a turgescência das folhas e sendo essencial no transporte interno de açúcares e no equilíbrio eletroquímico da planta.

Constata-se efeito significativo ($p < 0,01$) da adubação nitrogenada aos 46 e 120 DAS sobre o teor caulinar de potássio

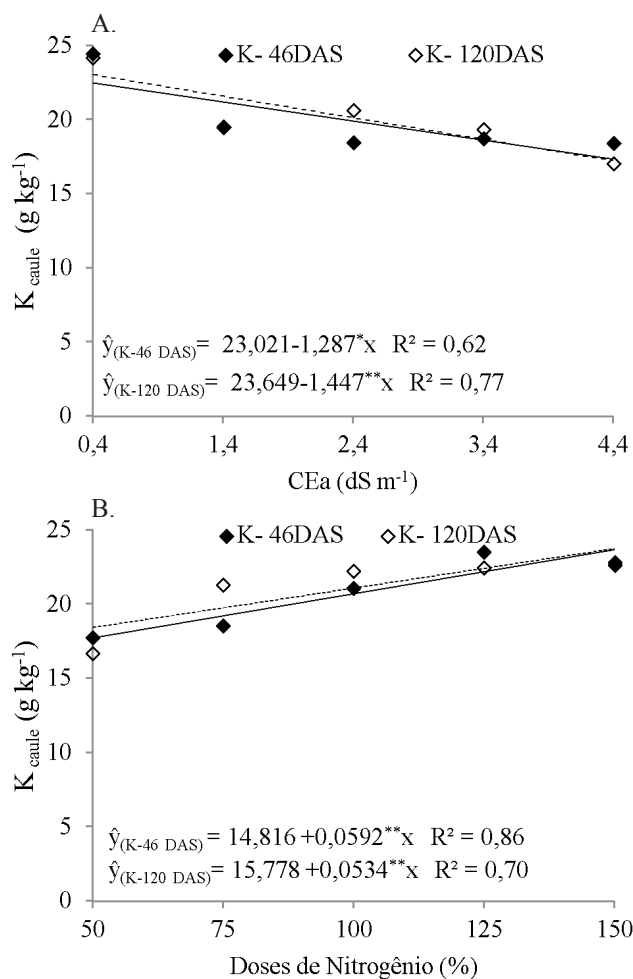


Figura 5. Teor de potássio caulinar (K_{caule}) em função da condutividade elétrica da água de irrigação (CEa) (A) e doses de adubação nitrogenada (B), aos 46 e 120 dias após a semeadura - DAS

(Tabela 3). De acordo com as equações de regressão (Figura 5B) houve efeito linear e crescente no aumento do teor de K de 10,0 e 6,1% por aumento de 25% da dose de nitrogênio, ou seja, acréscimos de 40,0 e 33,8% respectivamente, para a concentração de potássio aos 46 e 120 DAS nas plantas submetidas à maior dose de N (150% da recomendação) em relação à menor dose de N (50%). Pacheco et al. (2008) conduzindo experimento sob condições de campo com a cultura da mamoneira cv. IAC 226 avaliando o efeito da aplicação das doses de nitrogênio em quantidades que variaram de 0 a 80 kg ha⁻¹ de N sobre os teores de macro e micronutrientes em mamoneira constataram, assim como no presente estudo, haver efeito significativo e crescente das doses de N sobre o teor de potássio da cultura.

Observa-se, neste estudo, que os teores foliares dos nutrientes N, P e K foram superiores aos encontrados no caule independente dos tratamentos estudados e das datas de avaliação, corroborando com a afirmativa de Malavolta (2006) de que o N, P, K e Mg acumulam mais nas folhas em decorrência de atuarem isoladamente ou de forma conjunta na síntese de clorofila, abertura e fechamento dos estômatos e na síntese de ATP.

Aos 120 DAS o teor de sódio no caule da mamoneira aumentou linearmente com o incremento da CEa (Figura 6), cujo incremento foi de 145,2% por aumento unitário da CEa, ou seja, teve aumento de 581% no teor de Na_{caule} das plantas irrigadas com água de CEa de 4,4 dS m⁻¹ (37,1 g kg⁻¹) em comparação com o teor de Na_{caule} das plantas irrigadas sob CEa 0,4 dS m⁻¹ (7,93 g kg⁻¹). Silva et al. (2009) verificaram, estudando a influência da salinidade na acumulação de Na⁺, Cl⁻ e K⁺ em plantas jovens de pinhão-mansão, acúmulo excessivo de Na⁺, sendo este proporcional ao aumento das doses de NaCl, chegando a 661% na dose mais elevada de salinidade (100 mM).

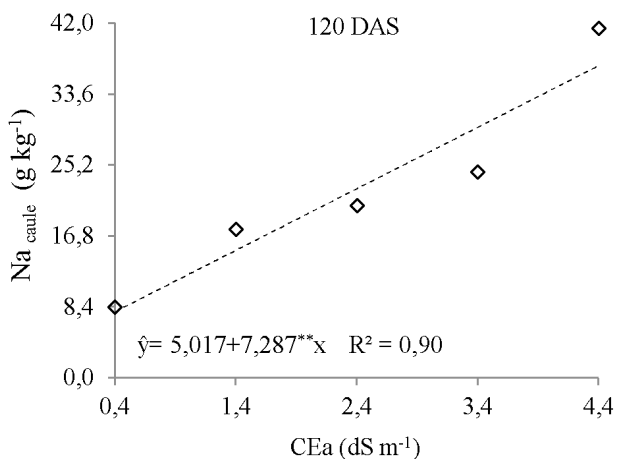


Figura 6. Teor de sódio caulinar (Na_{caule}) em função da condutividade elétrica da água de irrigação - CEa aos 120 dias após a semeadura - DAS (B)

Com base nos resultados encontrados observou-se que os teores dos nutrientes N, P, K e do elemento Na nas folhas da mamoneira, obedeceram aos 46 DAS, a seguinte sequência de concentração K > Na > N > P; aos 120 DAS a ordem decrescente de concentração foi K > N > Na > P; quanto aos teores no caule, observa-se que a ordem decrescente de concentração em

função da salinidade da água de irrigação em ambas as épocas de estudo, foi Na > K > P ≥ N e em função do fator dose de adubação nitrogenada K > Na > P ≥ N. Conforme Malavolta (2006) a requisição de macronutrientes pela mamoneira ocorre de maneira que os nutrientes absorvidos seguem a sequência: N > K > Ca > P ≥ S > Mg; entretanto, esta sequência poderá ser alterada em função da espécie vegetal, cultivar, condições ambientais e de solo. Esta divergência de resposta no presente estudo em relação aos relatos de Malavolta (2006), está relacionada, possivelmente, ao fato de que nesta pesquisa as plantas de mamoneira foram cultivadas sob condições de estresse salino induzido pela predominância do cloreto de sódio na água de irrigação, ao contrário das condições indicadas para cultivo desta oleaginosa pelo autor supracitado o que, sem dúvida, proporcionou alterações bioquímicas e fisiológicas no metabolismo das plantas o que, por outro lado, afetou diretamente o equilíbrio iônico celular.

CONCLUSÕES

1. Aos 46 DAS níveis crescentes de CEa promoveram aumento no teor de N_{folha} e K_{folha} da mamoneira.
2. No período de colheita o maior teor de N_{folha} foi obtido com a CEa de 4,4 dS m⁻¹ e a dose de adubação nitrogenada de 150% da estudada; já o teor de K_{folha} e K_{caule} foi obtido com a dose de 150% de N.
3. O teor de P na parte aérea da cv. BRS Energia não foi influenciado significativamente pela variação dos níveis salinos da água nem das doses de adubação nitrogenada.
4. Os teores de macronutrientes (NPK) e de sódio nas partes vegetais da mamoneira cv. BRS Energia obedecem à ordem folhas > caule e, para épocas de avaliação, 120 DAS > 46 DAS.
5. Nas folhas da mamoneira os teores de macronutrientes e sódio se acumularam aos 46 DAS segundo a ordem de concentração K > Na > N > P e aos 120 DAS K > N > Na > P.
6. No caule os teores de macronutrientes e sódio seguiram a ordem Na > K > P ≥ N em função da salinidade da água de irrigação em ambas as épocas de estudo enquanto sob diferentes doses de adubação nitrogenada a sequência foi K > Na > P ≥ N.

LITERATURA CITADA

- Apse, M. P.; Blumwald, E. Na⁺ transport in plants. FEBS Letters, v.581, p.2247-2254, 2007.
- Ayers, R. S.; Westcot, D. W. A qualidade da água na agricultura. Campina Grande: UFPB, 1999. 153p. Estudos FAO: irrigação e drenagem, 29
- Barhoumi, Z; Atia, A.; Rabhi, M.; Djebail, W.; Abdelly, C.; Smaoui, A. Nitrogen and NaCl salinity effects on the growth and nutrient acquisition of the grasses *Aeluropus littoralis*, *Catapodium rigidum*, and *Brachypodium distachyum*. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, v.173, p.149-157, 2010.
- Carmo, G. A. do; Oliveira, F. R. A. de; Medeiros, J. F. de; Oliveira, F. de A. de; Campos, M. de S.; Freitas, D. C. de. Teores foliares, acúmulo e partição de macronutrientes na cultura da abóbora irrigada com água salina. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.15, p.512-518, 2011.

- Carvalho, D. B. de; Pissaia, A. Cobertura nitrogenada em girassol sob plantio direto na palha: Teores de nutrientes nas folhas. *Revista Acadêmica Ciências Agrárias e Ambientais*, v.2, p.65-72, 2004.
- Cavalcanti, M. L. F.; Fernandes, P. D.; Gheyi, H. R.; Barros Júnior, G.; Soares, F. A. L.; Siqueira, E. C. Tolerância da mamoneira BRS 149 à salinidade: Germinação e características de crescimento. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.9, p.57-61, 2005.
- Chaves, L. H. G.; Gheyi, H. R.; Ribeiro, S. Consumo de água e eficiência do uso para cultivar de mamona Paraguaçu submetida à fertilização nitrogenada. *Revista Engenharia Ambiental*, v.8, p.126-133, 2011.
- Claessen, M. E. C. (org.). Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa CNPS, 1997. 212p. Documento, 1.
- Dias Filho, M. B. Competição e sucessão vegetal em pastagens. 1.ed. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2006. 38p. Documentos, 240.
- Ferreira-Silva, S. L.; Silveira, J. A. G.; Voigt, E. L.; Soares, L. S. P.; Viégas, R. A. Changes in physiological indicators associated with salt tolerance in two contrasting cashew rootstocks. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, v.20, p.51-59, 2008.
- Flores, P.; Carvajal, M.; Cerda, A.; Martinez, V. Salinity and ammonium/nitrate interactions on tomato plant development, nutrition, and metabolites. *Journal of Plant Nutrition*, v.24, p.1561-1573, 2001.
- Gorham, J.; Tomar, O. S.; Jones, G. R. Salinity induced changes in the chemical composition of *Leucaena leucocephala* and *Sesbania bispinosa*. *Plant Physiology*, v.132, p.678-682, 1988.
- Grattan, S. R.; Grieve, C. M. Salinity-mineral nutrient relations in horticultural crops. *Scientia Horticulturae*, v.78, p.127-157, 1999.
- Lawlor, D. W. Carbono and nitrogen assimilation in relation to yield: Mechanisms are the key to understanding production systems. *Journal of Experiment Botany*, v.53, p.773-787, 2002.
- Leonardo, M.; Broetto, F.; Vilas-Bôas, R. L.; Almeida, R. S.; Godoy, L. J. G.; Marchese, J. A. Estresse salino induzido em plantas de pimentão e seus efeitos na produção de frutos. *Horticultura Brasileira*, v.21, p.1-4, 2003.
- Malavolta, E. Manual de nutrição mineral de plantas. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638p.
- Mansour, M. M. F.; Salama, K. H. A.; Al-Mutana, M. M. Transport protein and salt tolerance in plants. *Plant Science*, v.146, p.891-900, 2003.
- 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. Brasília: Embrapa/SEA. 1991. p.189-253.
- Pacheco, D. D.; Gonçalves, N. P.; Saturnino, H. M.; Antunes, P. D. Teores foliares de nutrientes em mamoneiras (*Ricinus communis* L.) adubadas com doses variadas de NPK em solo de chapada da bacia do Rio Jequitinhonha. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, v.8, p.224-231, 2008.
- Rhoades, J. D.; Kandiah, A. M.; Marshali, A. M. Uso de águas salinas para produção agrícola. Campina Grande: UFPB. 2000. 117p. Estudos da FAO - Irrigação e Drenagem, 48.
- Santamaria, P.; Elia, A.; Serio, F.; Todaro, E. A survey of nitrate and oxalate content in retail fresh vegetables. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v.79, p.1832-1888, 1999.
- Silva, E. M. da; Silveira, J. A. G.; Fernandes, C. R. R.; Dutra, A. T. B.; Aragão, R. M. de. Acúmulo de íons e crescimento de pinhão-manso sob diferentes níveis de salinidade. *Revista Ciência Agronômica*, v.40, p.240-246, 2009.
- Silva, F. C. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 370p.
- Silva, S. M. S.; Alves, A. N.; Gheyi, H. R.; Beltrão, N. E. de M.; Severino, L. S.; Soares, F. A. L. Desenvolvimento e produção de duas cultivares de mamoneira sob estresse salino, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.12, p.335-342, 2008.
- Silva, S. M. S.; Gheyi, H. R.; Beltrão, N. E. de M.; Santos, J. W. dos; Soares, F. A. L. Dotações hídricas em densidades de plantas na cultura da mamoneira cv. BRS Energia. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.4, p.338-348, 2009.
- Silveira, J. A. G.; Viégas, R. A.; Rocha, I. M. A.; Moreira, A. C. O. M.; Moreira, R. A.; Oliveira, J. T. A. Proline accumulation and glutamine sintetase activity are increased by salt induced proteolysis in cashew leaves. *Journal of Plant Physiology*, v.160, p.115-123, 2003.
- Sousa, A. E. C.; Lacerda, C. F. de; Gheyi, H. R.; Soares, F. A. L.; Uyeda, C. A. Teores de nutrientes foliares e respostas fisiológicas em pinhão manso submetido a estresse salino e adubação fosfatada. *Revista Caatinga*, v.25, p.144-152, 2012.
- Souza Júnior, S. P.; Soares, F. A. L.; Siqueira, E. C. S.; Gheyi, H. R.; Fernandes, P. D.; Beltrão, N. E. de M. Germinação, crescimento e produção do algodoeiro colorido BRS verde sob estresse salino. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.9, p.236-241, 2005.
- Suhayda, C. G.; Giannini, J. L.; Briskin, D. P.; Electrostatic changes in *Lycopersicon esculentum* root plasma membrane resulting from salt stress. *Plant Physiology*, v.93, p.471-478, 1990.
- Wanderley, J. A. C.; Araújo Filho, J. B. de; Souza, J. de S.; Alves, L. de S.; Maracajá, P. B. Efeito de doses de rejeito de caulim em solo sódico no desenvolvimento inicial da mamoneira (*Ricinus communis* L.). *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v.5, p.26-38, 2010.
- Zhao, D.; Reddy, K. R.; Kakani, V. G.; Read, J. J.; Koti, S. Selection of optimum reflectance ratios for estimating leaf nitrogen and chlorophyll concentrations of field-grown cotton. *Agronomy Journal*, v.97, p.89-98, 2005.