

Biometria em plantas de noni sob irrigação com águas salinas e lixiviação dos sais do solo¹

Biometrics in noni plants under irrigation with saline water and the leaching of salts
from the soil

Antônio Gustavo de Luna Souto^{2*}, Lourival Ferreira Cavalcante³, Antonio João de Lima Neto², Francisco de
Oliveira Mesquita⁴ e João Batista dos Santos⁵

RESUMO - A utilização de água com teor salino elevado está se tornando uma alternativa à produção agrícola mundial, mas, para isso, há necessidade de tecnologias que reduzam os impactos no solo e no rendimento das culturas, como o emprego de lixiviação dos sais do solo ou o uso de espécies tolerantes à salinidade. Nessa direção, o objetivo do trabalho foi avaliar o crescimento de plantas de noni (*Morinda citrifolia* L.) submetidas à irrigação e lavagem do solo com águas de salinidade crescente. O experimento foi desenvolvido em ambiente telado do Centro de Ciência Agrárias, Universidade Federal da Paraíba em Areia, PB, em blocos casualizados, com quatro repetições e duas plantas por parcela, usando o arranjo fatorial 5×2, referente a cinco valores de condutividade elétrica das águas de irrigação (0,5; 1,5; 3,0; 4,5; 6,0 dS m⁻¹), combinados com presença e ausência de drenagem para a lavagem do solo e lixiviação dos sais. O aumento da condutividade elétrica das águas de irrigação elevou o caráter salino do solo para valores que comprometeram o crescimento biométrico e a produção de biomassa total das plantas de noni, independentemente da ausência ou presença de lixiviação dos sais, mas, com maior severidade, em todas as variáveis, no solo sem drenagem. As plantas do solo sem lixiviação dos sais não sobreviveram à irrigação com água de salinidade estimada de 5,28 dS m⁻¹, não cresceram adequadamente em altura, diâmetro caulinar, emissão de folhas e área foliar e produziram baixos níveis de biomassa sob irrigação com água de condutividade elétrica 4,5 dS m⁻¹.

Palavras-chave: *Morinda citrifolia* L.. Percolação dos sais. Manejo de água salina.

ABSTRACT - The use of water with a high salt content is seen as an alternative in global agricultural production; but there is a need for technologies that reduce the impact on soil and crop yields, such as employing leaching of salts from the soil or the use of salt-tolerant species. With this in mind, the aim of this work was to evaluate the growth of the noni plant (*Morinda citrifolia* L.) when submitted to irrigation and washing the soil with water of increasing salinity. The experiment was carried out in a greenhouse environment of the Centre for Agricultural Science, at the Federal University of Paraíba in Areia, in the State of Paraíba, Brazil. The design was of randomised blocks, with four replications and two plants per lot, using a 5×2 factorial arrangement, representing the five values for electrical conductivity of the irrigation water (0.5, 1.5, 3.0, 4.5, 6.0 dS m⁻¹), with and without drainage for washing the soil and leaching the salts. Increases in the electrical conductivity of the irrigation water raised the saline character of the soil to values that compromised biometric growth and the total biomass production of the noni plants, whether with or without the leaching of salts; this was more severe for all variables in the soil with no drainage. The plants in soil where there was no leaching, did not survive irrigation with water at an estimated salinity of 5.28 dS m⁻¹, displayed less than adequate growth in height, stem diameter, leaf emission and leaf area, and produced low levels of biomass under irrigation with water at an electrical conductivity of 4.5 dS m⁻¹.

Key words: *Morinda citrifolia* L.. Percolation of salts. Saline water management.

DOI: 10.5935/1806-6690.20160037

* Autor para correspondência

¹Recebido para publicação em 09/10/2014; aprovado em 18/08/2015
Pesquisa financiada pelo INCTSal e CNPq

²Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa/UFV, Viçosa-MG, Brasil, gusluso@hotmail.com; limanetoagro@hotmail.com

³Departamento de Solos e Engenharia Rural, Universidade Federal da Paraíba/CCA/UFPB, Areia-PB, Brasil, pesquisador INCTSal, lofeca@cca.ufpb.br

⁴Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas, Universidade Federal Rural do Semi-Árido/UFERSA, Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água, Mossoró-RN, Brasil, mesquitaagro@yahoo.com.br

⁵Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande/UAEA/UFCG, Campina Grand-PB, Brasil, agrosantos@hotmail.com

INTRODUÇÃO

O acúmulo de sais no perfil do solo provocado pela irrigação com água de salinidade elevada e outras práticas realizadas na agricultura, como a aplicação excessiva de fertilizantes minerais de elevado índice salino, torna-se um risco para a produção agrícola em muitas áreas irrigadas do mundo (FENG *et al.*, 2005; SILVA *et al.*, 2013). Esses riscos são potencialmente mais agressivos (RESENDE *et al.*, 2014), tanto pela carência de pluviosidade como pela distribuição irregular das chuvas e deficiência de drenagem dos solos para lixiviação dos sais acumulados nas camadas superficiais para as mais profundas (GABRIEL *et al.*, 2012), como é o caso da maioria dos solos da região semiárida do Nordeste brasileiro.

Com o aumento populacional, que resulta na crescente demanda por alimentos, a utilização de água com teor salino elevado deve ser uma alternativa importante na agricultura (DIAS *et al.*, 2011; NOBRE *et al.*, 2013), desde que se garanta o uso de tecnologias que possibilitem o controle da salinidade, como o emprego de lixiviação para retirada dos sais solúveis da zona radicular das plantas, reduzindo os impactos negativos na produção agrícola (VENGOSH, 2014).

A lixiviação dos sais da zona radicular das plantas é necessária quando a salinidade do solo supera o limite tolerado pela cultura, nesse caso, a drenagem contribui para a redução da salinidade a níveis toleráveis pelas plantas, por meio de lâminas de irrigação (CARVALHO *et al.*, 2012; DUARTE *et al.*, 2007). Aliado a isso, a utilização de espécies tolerantes para minimizar os efeitos deletérios dos sais, e que essas possam produzir em escala comercial, tem demonstrado resultados satisfatórios, como é o caso do noni (*Morinda citrifolia* L.), planta exótica que cresce em regiões litorâneas do pacífico e muito difundida na medicina de boa parte do mundo (SINGH, 2012).

Quanto à salinidade a planta do noni (*Morinda citrifolia* L.), conforme Nelson (2005) é considerada moderadamente tolerante, mas sem apresentar o valor da salinidade limiar relativa ao crescimento e produção sob estresse salino. Essa informação está de acordo com Nivas *et al.* (2011) ao concluírem, com base nos atributos morfofisiológicos, que a cultura é naturalmente tolerante à salinidade. Por outro lado, está em conflito com Souto *et al.* (2013) ao constarem que o noni revelou-se sensível aos sais da água de irrigação.

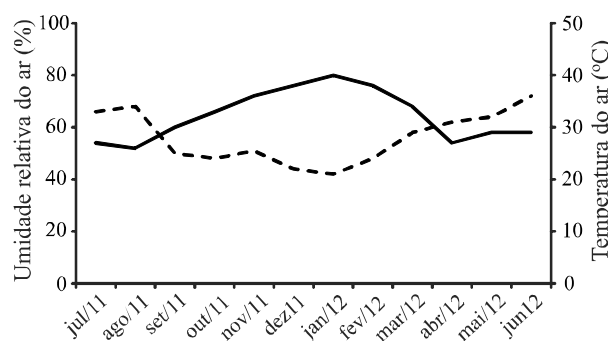
Diante da necessidade de mais informações sobre o comportamento do noni à salinidade da água e do solo, objetivou-se avaliar o acúmulo de sais no solo e o crescimento das plantas, em ambiente protegido, irrigadas com águas de salinidade crescente, em vasos sem e com

drenagem, para a lixiviação dos sais do ambiente radicular das plantas.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi executado no período de julho de 2011 a junho de 2012 em ambiente protegido, pertencente ao Departamento de Solos e Engenharia Rural, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia, PB (6°58'00" latitude S, 35°41'00" longitude W e altitude de 575 m). O clima do município é classificado segundo Köppen como do tipo As' (quente e úmido), com período chuvoso de março a julho e precipitação média anual de 1.200 mm. Os valores máximos de temperatura do ar atingem 25,7 °C no mês de fevereiro e as mínimas de 21,6 °C no mês de julho, com valores médios anuais de temperatura em torno de 23 °C e umidade média do ar de 72%. Durante o período experimental, no interior do ambiente protegido, a temperatura média mensal do ar variou de 30 a 40 °C nos meses mais quentes (setembro a março) e de 26 a 29 °C no período menos aquecido (abril a agosto). Nos respectivos períodos a umidade relativa média mensal do ar oscilou de 42 a 50% e de 58 a 72%. Esses valores foram registrados diariamente em Data Logger®, modelo HT-500, obtidas as médias mensais indicadas na Figura 1.

Figura 1 - Valores médios mensais de temperatura (—) e umidade relativa do ar (- - -), no interior do abrigo protegido, referentes ao período experimental de julho de 2011 a junho de 2012



O solo utilizado no experimento foi coletado nos primeiros 20 cm de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico não salino, conforme os critérios do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SiBCS (EMBRAPA, 2013). A caracterização física e química quanto à fertilidade foi feita conforme EMBRAPA (2011) e a salinidade do extrato de saturação (RICHARDS, 1954), conforme os valores indicados na Tabela 1.

Tabela 1 - Caracterização química do solo quanto à fertilidade e salinidade, e física antes da preparação do substrato

Fertilidade		Salinidade		Atributos físicos	
pH em água (1:2,5)	5,07	pH	7,09	Dens. do solo (g cm ⁻³)	1,24
P (mg dm ⁻³)	1,78	Ca ²⁺ (mmol _c L ⁻¹)	0,40	Dens. de partícula (g cm ⁻³)	2,78
K (mg dm ⁻³)	43,67	Mg ²⁺ (mmol _c L ⁻¹)	0,30	Porosidade total (m ³ m ⁻³)	0,54
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,35	K ⁺ (mmol _c L ⁻¹)	0,11	Areia (g kg ⁻¹)	557
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,30	Na ⁺ (mmol _c L ⁻¹)	2,05	Silte (g kg ⁻¹)	63
Na ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,11	Cl ⁻ (mmol _c L ⁻¹)	1,50	Argila (g kg ⁻¹)	380
SB (cmol _c dm ⁻³)	0,87	CO ₃ ²⁻ (mmol _c L ⁻¹)	-	Ada (g kg ⁻¹)	26
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,90	HCO ₃ ⁻ (mmol _c L ⁻¹)	1,13	Grau de flocculação (%)	93,2
H ⁺ + Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	5,70	SO ₄ ²⁻ (mmol _c L ⁻¹)	0,25	Índice de dispersão (%)	6,8
CTC (cmol _c dm ⁻³)	6,57	CEes (dS m ⁻¹)	0,29	Umidade cc (g kg ⁻¹)	128
V (%)	13,24	RAS (mmol L ⁻¹) ^{0,5}	6,93	Umidade pmp (g kg ⁻¹)	45
MO (g dm ⁻³)	18,25	PST (%)	1,67	Água disponível (g kg ⁻¹)	83

SB = soma de bases trocáveis (Na⁺ + K⁺ + Ca²⁺ + Mg²⁺); CTC = SB + (H⁺ + Al³⁺); V = Valor de saturação por bases (100*SB/CTC); MO = matéria orgânica; RAS = Razão de adsorção de sódio = Na⁺[(Ca²⁺ + Mg²⁺)/2]^{1/2}; PST = Percentagem de sódio trocável = (100 x Na⁺/CTC); Ada = Argila dispersa em água; cc = capacidade de campo; pmp = ponto de murchamento permanente

O delineamento utilizado foi em blocos ao acaso, em fatorial 5×2, com quatro repetições. Os tratamentos foram obtidos pela combinação de cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (0,5; 1,5; 3,0; 4,5 e 6,0 dS m⁻¹) em vasos sem e com dreno para lixiviação dos sais. A unidade experimental foi representada por dois vasos plásticos, com diâmetro e altura respectivamente de 28 e 32 cm, com capacidade para 15 dm³ e com uma planta de noni cada um.

As águas salinas utilizadas para a irrigação das plantas e lavagem do solo foram obtidas diluindo-se água fortemente salina de barragem superficial (7,36 dS m⁻¹) em água não salina (0,5 dS m⁻¹), avaliadas conforme Richards (1954) e as composições estão na Tabela 2.

Antes do enchimento, na base inferior de cada vaso, foi colocada uma camada de brita grossa (20 mm) sob uma camada de areia lavada com água (1,0 mm), formando uma camada com espessura de 2 cm. Nos

tratamentos com lixiviação foi colocado um dreno com diâmetro de 1 cm na parte inferior do vaso acoplado numa extremidade de uma mangueira de PVC 5/16"×0,8 mm e a outra extremidade num coletor com capacidade de 2 L, para armazenar a água drenada durante a lixiviação do solo com cada tipo de água.

Durante os primeiros 90 dias após a emergência das plântulas (DAE), a irrigação foi feita manualmente, utilizando o método da pesagem para determinar o volume de água a ser aplicado, no qual se fornecia a cada vaso o volume de água evapotranspirado num intervalo de 24 h, de modo a elevar a umidade do solo ao nível de capacidade de campo. A partir dos 90 DAE, nos tratamentos com drenagem, semanalmente, efetuava-se uma lixiviação com cada respectiva água de irrigação conforme Ayers; Westcot (1999), enquanto nos tratamentos sem drenagem a irrigação continuou sendo feita pelo método da pesagem.

Tabela 2 - Caracterização química das águas utilizadas para preparação das salinas utilizadas na irrigação das plantas de noni (*Morinda citrifolia* L.)

Componentes	CEa	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	RAS	Clas.
	dS m ⁻¹	mmol _c L ⁻¹									
Água não salina	0,50	1,23	0,75	2,64	0,13	0,82	-	0,32	3,84	2,65	C ₁ S ₁
Água salina	7,36	4,80	8,90	61,96	0,43	0,26	0,10	3,20	69,06	0,80	C ₄ S ₁

RAS = Na⁺/[(Ca²⁺ + Mg²⁺)/2]^{0,5}; Clas. = Classificação. C₁S₁ = água com baixo risco de salinizar e sodificar o solo; C₄S₁ = água com risco muito alto de salinizar e baixo risco de sodificar o solo

Durante o período da lixiviação do solo, as plantas dos tratamentos com drenagem foram irrigadas diariamente com cada tipo de água e o volume aplicado foi registrado. No dia da lavagem, aplicava-se paulatinamente, com auxílio de proveta graduada, o volume de cada tipo de água até o início da drenagem do solo; em seguida adicionava-se mais 10% do total aplicado, referente à fração de lixiviação (AYERS; WESTCOT, 1999) para promover a lixiviação dos sais do solo de cada vaso (CAVALCANTE *et al.*, 2010).

Aos 330 DAE foi avaliado o crescimento em altura, medindo-se do colo da planta à inserção da última folha, o comprimento da raiz principal do colo da planta ao final da raiz; o diâmetro caulinar com um paquímetro digital Digimess 300; foi contado o número de folhas fotossinteticamente ativas e determinada à área foliar das plantas. A área foliar foi obtida pelo produto entre a área foliar estimada (AF_e) e o fator de correção - F_c. A área foliar estimada foi quantificada pelo método não destrutivo das folhas fotossinteticamente ativas, através do produto entre o comprimento e a maior largura. O fator de correção foi obtido pela relação entre a massa seca da área estimada em papel milimetrado referente à massa do retângulo obtida pelo produto do comprimento médio e a maior largura média das folhas. Em seguida, de cada tratamento foram colhidas duas folhas e obtidas à área da projeção (Figura geométrica da folha), levada para estufa e obtida à massa seca na temperatura de 65 °C. A relação entre os valores da massa da área da projeção das folhas pela massa da área relativa ao retângulo do comprimento pela maior largura refere-se ao valor médio do fator de correção de 0,63 a ser multiplicado por cada valor individual da área foliar estimada ($AF = AF_e \times 0,63$). Em seguida, as plantas foram separadas em parte aérea e raízes e obtida à biomassa total após secagem em estufa com circulação de ar a 65 °C por 72 h.

Imediatamente após as avaliações biométricas das plantas de noni, amostras de solo foram coletadas de cada unidade experimental para avaliação da condutividade elétrica do extrato de saturação (RICHARDS, 1954).

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste “F”, as médias referentes aos tratamentos sem e com lavagem do solo foram comparadas pelo teste “F” que é conclusivo nessa condição e as referentes à salinidade da água por análise de regressão utilizando o software estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A interação entre a salinidade da água e a drenagem, exceto sobre o comprimento da raiz principal que respondeu isoladamente aos efeitos da salinidade da água e da drenagem, interferiu significativamente nas demais variáveis avaliadas ao nível de 1% de probabilidade (Tabela 3). A ausência de efeitos significativos da interação salinidade da água × drenagem está em coerência com o elevado valor do coeficiente de variação (28,97%) comparado às demais variáveis e pode ser resposta do reduzido espaço vertical de 30 cm do vaso destinado ao crescimento da raiz principal das plantas, durante o período experimental de um ano.

A condutividade elétrica do solo aumentou com o teor salino da água utilizada na irrigação, mas, sempre em maior intensidade nos substratos sem a lixiviação dos sais através da lavagem (Figura 2). Nos tratamentos sem drenagem, o caráter salino do solo foi elevado em 2,33 dS m⁻¹ por incremento unitário da condutividade elétrica da água de irrigação, e atingiu o valor de 18,4 dS m⁻¹ nas parcelas irrigadas com água de maior concentração salina, correspondente ao solo fortemente

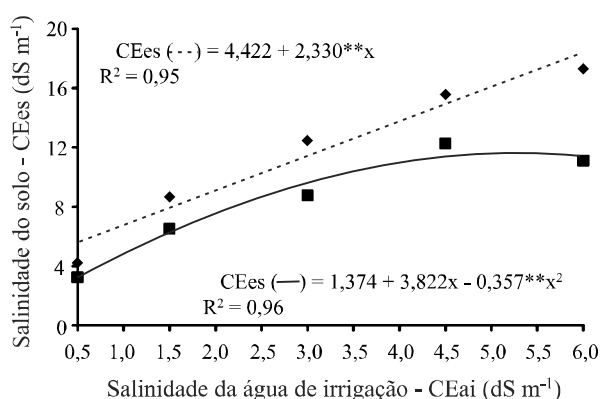
Tabela 3 - Resumo da análise de variância do efeito de níveis de salinidade da água de irrigação (A) e da drenagem (D) no desenvolvimento inicial de noni (*Morinda citrifolia* L.)

FV	GL	Quadrado Médio						
		CEes	AP	DC	NF	AF	CR	MST
Blocos	3	0,266 ^{ns}	13,42 ^{ns}	17,19 ^{ns}	195,09 ^{ns}	12291971,67*	135,06 ^{ns}	154,01 ^{ns}
Dreno (D)	1	155,60**	1177,22**	308,02**	1946,02**	30605857,99**	1303,36**	17396,82**
Água (A)	4	158,33**	3580,58**	843,93**	13451,33**	418177706,34**	2291,15**	74391,71**
D × A	4	7,78**	329,91**	51,83**	650,71**	35485299,90**	372,74 ^{ns}	3378,08**
Resíduo	27	0,32	29,09	8,19	140,20	4122984,20	142,12	529,26
CV (%)		5,73	16,46	17,48	21,54	24,15	28,97	20,47

CEes = Condutividade elétrica do extrato de saturação do solo; AP = Altura de planta; DC = Diâmetro do caule; NF = Número de folhas (unidade planta⁻¹); AF = Área foliar; CR = Comprimento radicular; MST = Massa seca total. ** = Efeito significativo pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade; * = Efeito significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade; ^{ns} = Efeito não significativo pelo teste F

salino (RICHARDS, 1954). Esse aumento da salinidade é resposta da adição de sais pelas respectivas águas de irrigação (Tabela 2), e pela alta temperatura do ar no interior do ambiente protegido (Figura 1) que contribui para a evaporação da água e aumenta a concentração de sais no solo. Os resultados estão em acordo com Nunes *et al.* (2012) e Diniz *et al.* (2013) ao constatarem aumentos elevados de sais do solo quando irrigado com águas de salinidade crescente, em ambiente protegido.

Figura 2 - Condutividade elétrica do extrato de saturação do solo irrigado com águas salinas em vasos sem (- - -) e com (—) drenagem

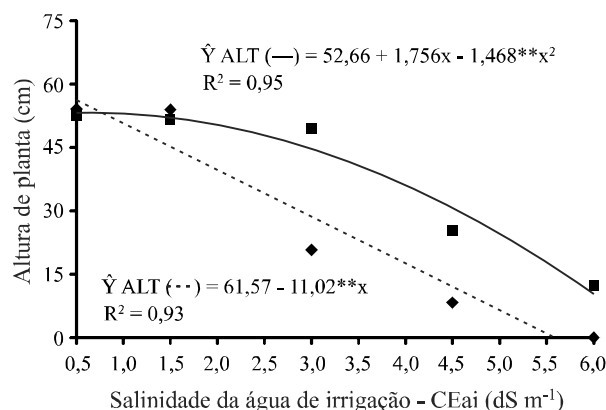


Nos tratamentos com drenagem para a lixiviação dos sais, apesar do aumento do caráter salino do solo, os valores são significativamente mais baixos que nos tratamentos sem drenagem. Verifica-se que nos tratamentos irrigados com água de condutividade elétrica superior a $5,35 \text{ dS m}^{-1}$, a lavagem apresentou maior eficiência, reduzindo a concentração de sais solúveis no solo. Esses resultados evidenciam que a diminuição dos sais solúveis no solo envolve os processos de solubilização e, conseqüentemente, a remoção desses sais pela água de percolação (FERREIRA *et al.*, 2006; GABRIEL *et al.*, 2012), reduzindo o teor salino da zona radicular das plantas.

A altura das plantas foi reduzida com o aumento da salinidade das águas de irrigação, independentemente da lavagem do solo, mas, com menor drasticidade nas plantas do solo com drenagem para a lixiviação dos sais (Figura 3). No solo sem drenagem, as plantas não sobreviveram à irrigação com água de salinidade a partir de $5,58 \text{ dS m}^{-1}$; nesse intervalo o crescimento em altura decresceu linearmente ao nível de $11,02 \text{ cm}$ por aumento unitário do teor salino das águas, com declínio de $56,06 \text{ cm}$ entre as plantas irrigadas com água não

salina ($0,5 \text{ dS m}^{-1}$), para a não formação das plantas irrigadas com água de condutividade elétrica igual ou superior a $5,58 \text{ dS m}^{-1}$.

Figura 3 - Altura de plantas de noni (*Morinda citrifolia* L.) irrigadas com águas salinas no substrato acondicionado em vasos sem (- - -) e com (—) drenagem



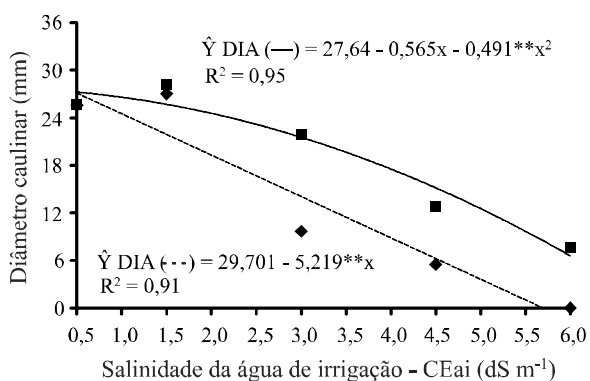
Nos tratamentos com a lixiviação, o aumento da concentração de sais nas águas inibiu o crescimento estimado em altura de $53,17$ para $10,35 \text{ cm}$, entre as plantas irrigadas com águas de menor e maior teor salino, respectivamente $0,5$ e $6,0 \text{ dS m}^{-1}$. Essa redução representa uma perda em altura de $80,53\%$ e indica a ação positiva da drenagem dos solos para a lixiviação dos sais, em relação às plantas do solo sem lixiviação dos sais, mesmo sob irrigação com águas de concentração salina elevada. A redução do crescimento das plantas pode ser devido à alta concentração de sais no solo ter induzido ao estresse osmótico e comprometido à capacidade da planta em absorver água (HORIE *et al.*, 2012). Nessas condições, ocorrem prejuízos das reações metabólicas responsáveis pela síntese de proteínas e lipídeos das plantas, em geral, (MUNNS; TESTER, 2008), refletindo-se na inibição do crescimento das plantas sensíveis e moderadamente sensíveis aos sais (AYERS; WESTCOT, 1999), inclusive do noni como observado também por Souto *et al.* (2013).

Os valores estimados da altura de plantas irrigadas com as águas de $3,0$ e $4,5 \text{ dS m}^{-1}$ diminuíram de $44,72$ para $30,48 \text{ cm}$ e de $28,51$ para $11,98 \text{ cm}$, respectivamente, entre as plantas do solo sem e com drenagem. Os declínios resultaram em perdas de $31,04$ e $57,98\%$ referentes à presença e ausência de drenagem para a lixiviação dos sais. Esses resultados indicam os efeitos positivos da lavagem do solo e possibilitam o crescimento do noni, mesmo quando submetido à irrigação com águas de elevada salinidade (AYERS; WESTCOT, 1999) e constatarem que

a lavagem do solo foi eficiente para lixiviação dos sais conforme registrado também por Duarte *et al.* (2007), em solo salinizado pelo excesso de fertilizante.

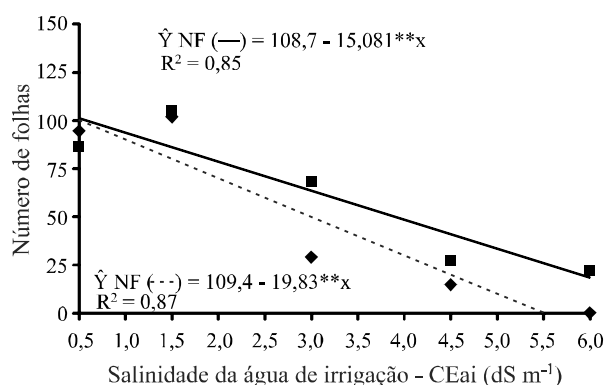
O aumento da condutividade elétrica das águas de irrigação, independente do uso da drenagem para a lixiviação dos sais após a lavagem, comprometeu o crescimento do noni pelo diâmetro caulinar (Figura 4). A inibição linear do diâmetro do caule, nas plantas dos tratamentos sem drenagem, foi de 5,21 mm por incremento unitário da salinidade da água de irrigação até o valor nulo nos tratamentos sob irrigação com água de condutividade elétrica estimada de 5,69 dS m⁻¹ ou superior. Nos tratamentos com drenagem, as plantas cresceram mais em todos os níveis salinos das águas, como constatado para o crescimento em altura (Figura 3). Apesar da superioridade nos tratamentos com dreno em relação aos do solo sem drenagem, a salinidade da água de irrigação reduziu o diâmetro caulinar de 27,23 mm na água não salina para 6,57 mm nas plantas irrigadas com a água de 6 dS m⁻¹, com perdas de 75,9% nesta variável. Comportamentos semelhantes foram verificados em plantas de noni (*Morinda citrifolia*) e nim (*Azadirachta indica*), onde a salinidade das águas de irrigação inibiu o crescimento das plantas (DINIZ *et al.*, 2013; NIVAS *et al.*, 2011; NUNES *et al.*, 2012; SOUTO *et al.*, 2013).

Figura 4 - Diâmetro do caule de plantas de noni (*Morinda citrifolia* L.) irrigadas com águas salinas, no substrato acondicionado em vasos sem (- - -) e com (—) drenagem



O aumento da concentração salina das águas prejudicou a emissão das folhas de noni, assim como no crescimento em altura e diâmetro caulinar, com maiores perdas de folhas nas plantas do solo sem drenagem para a lixiviação dos sais após a lavagem (Figura 5). Situação semelhante foi registrada por Nivas *et al.* (2011) e Nunes *et al.* (2009) ao avaliarem o crescimento inicial de noni irrigado com águas salinas.

Figura 5 - Número de folhas de plantas de noni (*Morinda citrifolia* L.) irrigadas com águas salinas, no substrato acondicionado em vasos sem (- - -) e com (—) drenagem



Nas plantas do solo sem drenagem, a emissão foliar foi inibida linearmente em 19,83 folhas por incremento unitário da condutividade elétrica da água de irrigação, com os valores reduzidos de 99 folhas para ausência de emissão de folhas, devido a não formação de plantas nos tratamentos irrigados com água de salinidade igual ou maior que 5,52 dS m⁻¹ e com crescimento severamente prejudicado quando irrigadas com água de nível salino igual ou superior a 4,5 dS m⁻¹. Esse declínio é resultado da ação negativa do maior teor salino do solo como indicado na Figura 2.

Nos tratamentos com drenagem o número de folhas também foi diminuído pelo aumento da salinidade, principalmente quando se irrigou com água de condutividade elétrica a partir de 3,0 dS m⁻¹, porém, com intensidade menor que a observada nas plantas do solo sem drenagem. A redução na disponibilidade de água do solo às plantas, causada pelo estresse salino, restringe o crescimento das mudas, inclusive a emissão das folhas, uma vez que as taxas de alongação e de divisão celular dependem diretamente do processo de extensibilidade da parede celular (TAIZ; ZEIGER, 2013). Dessa forma, o ajustamento osmótico das plantas é comprometido pelo excesso de sais e resulta em sintomas semelhantes aos da seca fisiológica, como a perda da turgescência e redução no crescimento que, em casos extremos, provoca a morte das plantas sensíveis e moderadamente sensíveis à salinidade (MUNNS; TESTER, 2008).

A aplicação de uma lâmina de irrigação que proporcione a lixiviação dos sais, utilizada como prática de manejo para controle da salinidade reduz a salinidade no ambiente radicular das plantas (CARVALHO *et al.*, 2012; DINIZ *et al.*, 2013; FERREIRA *et al.*, 2006; GABRIEL *et al.*, 2012). Pelos resultados, a lâmina

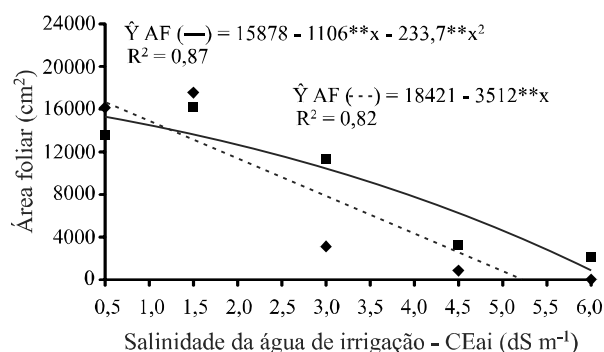
de água referente à fração de lixiviação promoveu a diminuição dos sais no solo (Figura 2) e estimulou o crescimento e a emissão das folhas.

A tendência de redução no número de folhas, em função da salinidade das águas de irrigação, foi transmitida à área foliar do noni. O aumento da condutividade elétrica das águas, independentemente da adoção ou não da drenagem para a lixiviação dos sais do ambiente radicular, reduziu a área foliar (Figura 6), mas, com menor agressividade nas plantas do solo com drenagem nos tratamentos irrigados com águas de concentração salina acima de 1,5 dS m⁻¹. No solo sem drenagem, a área foliar foi reduzida de 16.665 cm², nas plantas irrigadas com água não salina (0,5 dS m⁻¹), para o valor nulo ou zero, onde não houve formação das plantas sob irrigação com águas de condutividade elétrica igual ou superior a 5,25 dS m⁻¹ e com desenvolvimento sem qualidade quando irrigadas com água de 4,5 dS m⁻¹. Por outro lado, as plantas do solo com lavagem para lixiviação dos sais, apesar da redução com o aumento da salinidade, houve menores perdas em comparação com a ausência de drenagem, sendo observada área foliar de 828,8 cm² nas plantas irrigadas com a água de maior teor salino (6,0 dS m⁻¹). Esses resultados indicam que a lixiviação dos sais do solo não elimina, mas atenua os efeitos degenerativos da salinidade às plantas, em geral, inclusive o noni. Os resultados estão coerentes com os de Beckmann-Cavalcante *et al.* (2010), ao constatarem que a lixiviação do substrato proporcionou uma maior expansão da área foliar de crisântemo (*Dendranthema agrandiflora* Tzvelev), sob irrigação com águas salinas.

Os resultados evidenciam a importância da lavagem do solo e da drenagem, mesmo quando realizadas com águas de elevado conteúdo salino, em promover a remoção dos sais do ambiente radicular e estimularem o crescimento das plantas em condições de elevada salinidade do solo (Figura 2). De acordo com Taiz e Zeiger (2013), o estresse salino reduz o potencial osmótico e, com efeito, interfere negativamente no potencial hídrico, causando inibição ou retardamento do crescimento vegetativo e da ação fotossintética dos vegetais, entretanto, a lixiviação dos sais atenua os seus efeitos degenerativos às plantas. Outra vantagem é que a lixiviação dos sais reduz o nível salino do ambiente radicular, resultando em menores riscos de toxicidade, desbalanço nutricional, perda da atividade clorofilática e fotossintética (MUNNS; TESTER, 2008) e se reflete em maior área foliar das plantas, como constatado na Figura 6.

Apesar do aumento da concentração salina das águas reduzir o comprimento da raiz principal (Figura 7A) constatam-se, exceto nas plantas irrigadas com água de maior salinidade (6,0 dS m⁻¹), com o menor comprimento de 15,74 cm, valores de 55,60; 53,86; 46,67 e 33,95 cm e, portanto, superiores aos 30 cm de espaço vertical do

Figura 6 - Área foliar de plantas de noni (*Morinda citrifolia* L.) irrigadas com águas salinas, no substrato acondicionado em vasos sem (- - -) e com (—) drenagem

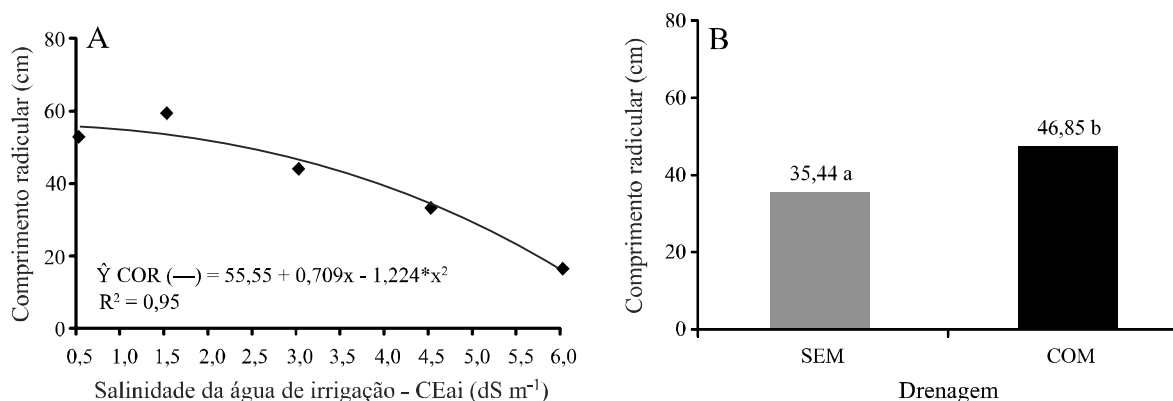


vaso destinado ao crescimento da respectiva variável. Constata-se também que a raiz principal das plantas cresceu 29,64 cm, o suficiente para atingir a base do vaso, na salinidade estimada da água de 4,9 dS m⁻¹. Pelos resultados, a raiz principal ao atingir a base do substrato mudou a direção, mas, continuou crescendo com superioridades de 25,60; 23,86; 16,67 e 3,95 cm além dos 30 cm disponível. Os aumentos, em relação aos 30 cm, para o crescimento da raiz principal, evidencia rusticidade física do noni em sobreviver e produzir em solos pedregosos, costeiros e de origem vulcânica, inclusive em ambiente salinos (NELSON, 2005). Entretanto, os declínios de 3,1; 16,1; 38,9 e 46,7% entre as plantas irrigadas com águas de 0,5; 1,5; 3,0; 4,5 e a estimada de 4,9 dS m⁻¹, expressam perdas elevadas do crescimento da raiz principal sob irrigação com água de condutividade elétrica igual e superior a 3,0 dS m⁻¹. Esse comportamento dos dados diverge de Nelson (2005) e Nivas *et al.* (2011), ao afirmarem que o noni é tolerante à salinidade.

Quanto ao efeito da drenagem, conforme apresentado na Figura 7B, o aumento de 35,44 para 46,86 cm indica que a lixiviação de sais promoveu um aumento relativo de 32,2% entre a raiz principal das plantas desenvolvidas no solo com e sem lavagem. Apesar da limitação física do tamanho do vaso ao crescimento radicular, e dos elevados declínios nas plantas tratadas com águas de teor salino crescente, essa técnica expressa à importância da lixiviação dos sais com a própria água salina na redução dos riscos de salinidade dos solos (AYERS; WESTCOT, 1999; RICHARDS, 1954).

A matéria seca total foi reduzida com o aumento do teor de sais nas águas de irrigação (Figura 8), tanto no solo sem ou com dreno para a lixiviação de sais da zona radicular. Nos tratamentos sem drenagem, os valores

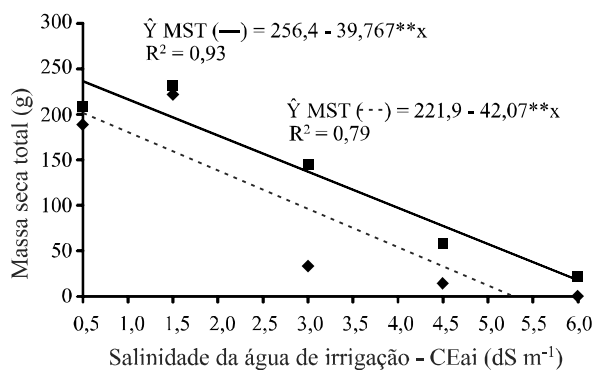
Figura 7 - Comprimento da raiz principal de plantas de noni (*Morinda citrifolia* L.) irrigadas com águas salinas (A) no solo acondicionado em vasos, sem (□) e com drenagem (■) (B)



decreceram de 200,86 g para a não formação de matéria seca, indicativo de que as plantas não sobreviveram quando irrigadas com água de nível salino estimado igual ou superior a 5,28 dS m⁻¹ e com baixos valores quando irrigadas com águas de 4,5 dS m⁻¹ de acordo com a equação apresentada na Figura 8. Nos tratamentos com drenagem a produção de biomassa seca total sofreu uma redução de 229,13 para 10,19 g entre as plantas irrigadas com água de menor e maior salinidade, correspondente a uma perda de 95,55%.

O efeito negativo da salinidade na matéria seca das plantas de noni é atribuído à diminuição do potencial osmótico da solução do solo, reduzindo o poder da planta em absorver água e nutrientes, devido principalmente ao aumento das concentrações de sais solúveis no solo (ASIK *et al.*, 2009), principalmente íons de sódio e cloreto.

Figura 8 - Matéria seca total de plantas de noni (*Morinda citrifolia* L.) irrigadas com águas salinas no substrato acondicionado em vasos sem (-) e com (-) drenagem



Pelos resultados, a lavagem promoveu ganhos de 51,74 e 152,79% entre as plantas irrigadas com águas de 3,0 e 4,5 dS m⁻¹ comparados ao solo sem drenagem. Esses aumentos são respostas também da fração de lixiviação para retirada paulatina, mas contínua, de sais da zona radicular (AYERS; WESTCOT, 1999), pois, o emprego de técnicas de manejo de água salina permite a planta se ajustar osmoticamente às condições de estresse salino, contribuindo para um maior ganho no crescimento e produção de biomassa das culturas, em geral (SOUTO *et al.*, 2013), como se constata nas plantas de noni desenvolvidas no solo com drenagem.

CONCLUSÕES

1. O caráter salino do solo foi expressivamente elevado com a salinidade da água de irrigação e compromete o crescimento e a produção de biomassa das plantas de noni, mas, com menor severidade nas plantas do solo com drenagem para a lixiviação dos sais;
2. No solo sem drenagem as plantas de noni (*Morinda citrifolia* L.) não sobrevivem quando irrigadas com água de salinidade estimada acima de 4,5 dS m⁻¹.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade (INCTSal) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo suporte financeiro e pela concessão da bolsa ao primeiro autor.

REFERÊNCIAS

- ASIK, B. B. *et al.* Effects of humic substances on plant growth and mineral nutrients uptake of wheat (*Triticum durum* cv. Salihli) under conditions of salinity. **Asian Journal of Crop Science**, v. 1, n. 2, p. 87-95, 2009.
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Tradução H. R. Gheyi *et al.* Campina Grande: UFPB, 1999. 153 p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 29).
- BECKMANN-CAVALCANTE, M. Z. *et al.* Condutividade elétrica da solução nutritiva do crisântemo em vaso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 1, p. 747-756, 2010.
- CARVALHO, J. F. *et al.* Produção e biometria do milho verde irrigado com água salina sob frações de lixiviação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 4, p. 368-374, 2012.
- CAVALCANTE, F. L. *et al.* Recuperação de solos afetados por sais. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. (Eds). **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: INCTSal, 2010. parte V, p. 425-448.
- DIAS, T. J. *et al.* Produção do maracujazeiro e resistência mecânica do solo com biofertilizante sob irrigação com águas salinas. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 42, n. 3, p. 644-651, 2011.
- DINIZ, B. L. M. T. *et al.* Crescimento inicial e consumo hídrico de nim submetido ao estresse salino e biofertilizante bovino. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 8, n. 3, p. 470-475, 2013.
- DUARTE, S. N. *et al.* Recuperação de um solo salinizado devido a excesso de fertilizante em ambiente protegido. **Irriga**, v. 12, n. 3, p. 422-428, 2007.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Solos: Embrapa Informação Tecnológica, 2011. 627 p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353 p.
- FENG, Z. Z. *et al.* Soil N and leaching after the autumn irrigation and its impact on groundwater in Hetao irrigation district China. **Agricultural Water Management**, v. 71, n. 2, p. 131-143, 2005.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.
- FERREIRA, P. A. *et al.* Efeito da lixiviação e salinidade da água sobre um solo salinizado cultivado com beterraba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 3, p. 570-578, 2006.
- GABRIEL, J. J. *et al.* The role of cover crops in irrigated systems: soil salinity and salt leaching. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 158, n. 8, p. 200-207, 2012.
- HORIE, T. *et al.* Salinity tolerance mechanisms in glycophytes: an overview with the central focus on rice plants. **Rice**, v. 5, n. 11, p. 1-18, 2012.
- MUNNS, R.; TESTER, M. Mechanisms of salinity tolerance. **Annual Review of Plant Biology**, v. 59, n. 1, p. 651-681, 2008.
- NELSON, S. C. **Noni seed handling and seedling production**. Honolulu, Hawaii: Cooperative Extension Service. College of Tropical Agriculture and Human Resources. University of Hawaii at Manoa, 2005. 74 p.
- NIVAS, D. *et al.* Physiological responses of two *Morinda* species under saline conditions. **American Journal of Plant Physiology**, v. 6, n. 3, p. 157-166, 2011.
- NOBRE, R. G. *et al.* Emergência, crescimento e produção da mamoneira sob estresse salino e adubação nitrogenada. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 44, n. 1, p. 76-85, 2013.
- NUNES, J. C. *et al.* Comportamento de mudas de nim à salinidade da água em solo não salino com biofertilizante. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 11, p. 1152-1158, 2012.
- NUNES, J. C. *et al.* Formação de mudas de noni sob irrigação com águas salinas e biofertilizante bovino no solo. **Engenharia Ambiental**, v. 6, n. 2, p. 451-463, 2009.
- RESENDE, R. S. *et al.* Distribuição espacial e lixiviação natural de sais em solos do Perímetro Irrigado Califórnia, em Sergipe. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 46-52, 2014. Suplemento.
- RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils**. Washington: United States Salinity Laboratory Staff, 1954. 160 p. (Agriculture, 60).
- SILVA, A. O. *et al.* Relações hídricas em cultivares de beterraba em diferentes níveis de salinidade do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 11, p. 1143-1151, 2013.
- SINGH, D. R. *Morinda citrifolia* L. (noni): a review of the scientific validation for its nutritional and therapeutic properties. **Journal of Diabetes and Endocrinology**, v. 3, n. 6, p. 77-91, 2012.
- SOUTO, A. G. L. *et al.* Comportamento do noni à salinidade da água de irrigação em solo com biofertilizante bovino. **Irriga**, v. 18, n. 3, p. 442-453, 2013.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 954 p.
- VENGOSH, A. Salinization and saline environments. **Treatise and Geochemistry**, v. 11, p. 325-378, 2014.