

Estratégias de irrigação com água salina na mamoneira¹

Irrigation strategies with saline water in castor oil plant

Maria Eugênia da Costa², Francisco Alexandre de Moraes^{3*}, Wallace Carlos Moura de Souza², Marcelo Tavares Gurgel⁴ e Fábio Henrique Tavares de Oliveira⁴

RESUMO - Este experimento foi realizado em campo para avaliar estratégias de irrigação com água salina no crescimento e na produção da mamoneira (BRS Energia), além de identificar eventuais estádios de maior tolerância à salinidade e monitorar alguns atributos químicos do solo. Os tratamentos consistiram da irrigação com águas de CE 0,53; 2,09; 3,66 dS m⁻¹ de acordo com a fase de desenvolvimento da cultura, totalizando cinco estratégias de irrigação com água salina e uma testemunha. As avaliações de crescimento foram realizadas aos 20; 40; 60; 80; 100 dias após a semeadura (DAS). As coletas de solo foram realizadas concomitantemente às avaliações de crescimento, nas camadas 0-0,10; 0,10-0,30; 0,30-0,50 m. A irrigação contínua com água de CE 3,66 dS m⁻¹ reduziu a altura de planta, o comprimento de racemo terciário, o número de frutos por área útil e a produtividade de frutos. Essa estratégia aumentou acentuadamente os teores de Na⁺ e a CE do solo no final do ciclo. Por outro lado, a irrigação com água salina começando aos 45 DAS não prejudicou as variáveis de crescimento e os componentes de produção. Essa estratégia minimizou os impactos negativos sobre a salinidade/sodicidade do solo no final do ciclo. Comportamento similar foi observado para a irrigação contínua com água de CE 2,09 dS m⁻¹ (mistura de águas com CE de 0,53 e 3,66 dS m⁻¹). A mamoneira não apresentou tolerância diferenciada à salinidade em função da fase de desenvolvimento, embora tenha sido prejudicada quando aumentaram a intensidade e a duração do estresse salino.

Palavras-chave: *Ricinus communis* L. Salinidade do solo. Estresse salino. Sodicidade do solo. Manejo da irrigação.

ABSTRACT - This experiment was conducted under field conditions to evaluate irrigation strategies with saline water on growth and production of castor oil plant (cv. BRS Energia), identify eventual stages with higher tolerance to salinity and monitor some soil chemical attributes. The treatments consisted of irrigations with water of EC 0.53; 2.09; 3.66 dS m⁻¹ according to the development stage of the culture, totalizing five irrigation strategies with saline water and a control group. The growth evaluations were done at 20; 40; 60; 80; 100 days after sowing. The soil samples were taken at the same time of the growth evaluations, from the layers of 0 to 0.10; 0.10 to 0.30; 0.30 to 0.50 m. Continuous irrigation using water with EC of 3.66 dS m⁻¹ reduced the plant height, length of tertiary raceme, number of fruits per area and fruit yield. This strategy increased the values of soil chemical attributes Na⁺ and EC at the end of cycle. From the 45th day on, irrigation with saline water did not damage the growth variables and the production components. This strategy minimized the negative impacts on the salinity/sodicity of the soil at the end of cycle. Similar behavior was observed for continuous irrigation using water with EC of 2.09 dS m⁻¹ (mixing of water with EC of 0.53 and 3.66 dS m⁻¹). The castor oil plant did not show different tolerance to salinity according to the development stage, although it was damaged with a longer and more intense saline stress.

Key words: *Ricinus communis* L. Soil salinity. Salt stress. Soil sodicity. Irrigation management.

*Autor para correspondência

¹Recebido para publicação em 09/08/2011; aprovado em 23/04/2012

Parte da Dissertação de Mestrado do primeiro autor, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal Rural do Semiárido/UFERSA, pesquisa financiada pelo CNPq/INCTSal e pela CAPES

²Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró-RN, Brasil, eugenia.ufersa@gmail.com, wallace.ufersa@mail.com

³Universidade do Estado de Santa Catarina/UFES, Lages-SC, Brasil, morais@scientist.com

⁴Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas/DCAT/UFERSA, Av. Francisco Mota 572, Costa e Silva, Mossoró-RN, Brasil, 59.625-900, marcelo.tavares@ufersa.edu.br; fabio@ufersa.edu.br

INTRODUÇÃO

A mamoneira (*Ricinus communis* L.) adquiriu o prestígio da indústria pela qualidade de seu óleo e, recentemente, pela busca de novas fontes de energia (CHECHETTO; SIQUEIRA; GAMERO, 2010). Apesar de ser uma espécie xerófila, a sua exploração econômica não é viável em condições de sequeiro no Nordeste brasileiro, devido à instabilidade climática e ocorrência de longos períodos secos. Em tais condições, é necessário o cultivo irrigado (CAVALCANTI *et al.*, 2005).

No Estado do Rio Grande do Norte, especificamente no agropólo Mossoró-Assu, a principal fonte de água para irrigação é subterrânea e a captação é feita nos aquíferos Arenito Açú e Calcário Jandaíra. Atualmente, são mais utilizados os poços que exploram esse último aquífero, em decorrência do menor custo de captação. Entretanto, as suas águas têm concentração de sais relativamente elevada, restringindo o uso na agricultura (GURGEL *et al.*, 2010).

A qualidade da água para irrigação se define em função de três critérios: salinidade, sodicidade e toxicidade. O primeiro avalia o risco de aumentar a concentração de sais solúveis no solo, com o correspondente efeito osmótico. O segundo avalia o risco de elevar a percentagem de sódio trocável, causando deterioração na estrutura do solo. O terceiro avalia os problemas do acúmulo de determinados íons nos tecidos das plantas (ALMEIDA, 2010).

Apesar dos inconvenientes relacionados ao uso de água com qualidade inferior, algumas estratégias podem ser utilizadas para minimizar os impactos negativos do seu aproveitamento na irrigação, entre elas: escolha de espécies ou cultivares mais tolerantes, utilização dessas fontes de água nos estádios de maior tolerância das culturas, mistura de águas de diferentes qualidades, uso cíclico de fontes de água com diferentes concentrações salinas, além de diversas outras práticas (LACERDA *et al.*, 2009).

Pesquisas recentes enfocaram o manejo diferenciado da irrigação com água salina em diversas culturas (BOTÍA *et al.*, 2005; CHAUHAN; SINGH; GUPTA, 2008; HAMDY; SARDO; FARRAG GHANEM, 2005; LACERDA *et al.*, 2009; MALASH; FLOWERS; RAGAB, 2005; MORAIS *et al.*, 2011; MURTAZA; GHAFOOR; QADIR, 2006). Outros estudos foram realizados para avaliar a influência da irrigação com água salina na mamoneira e vários deles indicaram suscetibilidade dessa espécie (CAVALCANTI *et al.*, 2005; PINHEIRO *et al.*, 2008; SILVA *et al.*, 2005 e 2008).

Verifica-se na literatura que a resposta da mamoneira à salinidade é variável em função da cultivar (RAGHAVIAH *et al.*, 2006; SILVA *et al.*, 2005 e 2008). É possível também que a tolerância seja diferente de

acordo com a fase de desenvolvimento da cultura. Como não existem estudos específicos sobre esse tema e levando em consideração a necessidade do aproveitamento na irrigação de águas com qualidade inferior, objetivou-se avaliar estratégias de irrigação com água salina no crescimento e na produção da mamoneira (BRS Energia), identificar eventuais estádios de maior tolerância à salinidade e monitorar alguns atributos químicos do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em campo entre setembro de 2010 e janeiro de 2011, na Fazenda Experimental Rafael Fernandes da Universidade Federal Rural do Semiárido, situada no Município de Mossoró-RN, cujas coordenadas geográficas são 5°11'S e 37°21'W, com altitude média de 18 m.

O solo no local é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo, de textura franco-arenosa (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2006). O clima dessa região é semiárido muito quente com apenas duas estações climáticas bem definidas, sendo uma seca que se prolonga quase sempre por sete a oito meses, e outra chuvosa que raramente ultrapassa cinco meses (CARMO FILHO; ESPÍNOLA SOBRINHO; MAIA NETO, 1991). Na Figura 1 são apresentados os dados diários de temperatura e precipitação pluvial durante o período experimental.

Foi utilizado o delineamento em blocos ao acaso com seis tratamentos e cinco repetições. Os tratamentos consistiram da irrigação com águas de CE 0,53; 2,09;

Figura 1 - Dados diários de temperatura e precipitação pluvial registrados durante a condução do experimento em campo

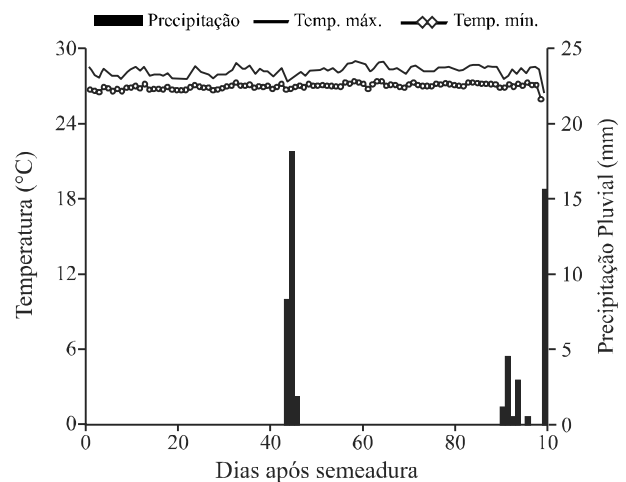


Tabela 1 - Tratamentos resultantes da irrigação com águas de CE 0,53; 2,09; 3,66 dS m⁻¹ de acordo com a fase de desenvolvimento da cultura

| Tratamentos | 0 a 45 DAS | 45 a 90 DAS | 90 a 100 DAS |
|-----------------|-----------------|------------------|--------------|
| | Fase vegetativa | Fase reprodutiva | |
| T1 (testemunha) | S1 | S1 | S1 |
| T2 | S2 | S2 | S2 |
| T3 | S3 | S3 | S3 |
| T4 | S1 | S2 | S2 |
| T5 | S1 | S2 | S3 |
| T6 | S1 | S3 | S3 |

DAS - Dias após a semeadura; S1 - 0,53 dS m⁻¹; S2 (S1+S3) - 2,09 dS m⁻¹; S3 - 3,66 dS m⁻¹

3,66 dS m⁻¹ de acordo com a fase de desenvolvimento da cultura, totalizando cinco estratégias de irrigação com água salina e uma testemunha (Tabela 1).

Utilizou-se a cultivar BRS Energia. A semeadura foi realizada manualmente em setembro de 2010, em linhas espaçadas de 0,90 m, com duas sementes a cada 0,30 m, fazendo-se o desbaste quinze dias depois, quando se deixou apenas uma planta por cova e uma densidade de 37.037 plantas por hectare.

Foram realizadas uma fertilização de semeadura e duas de cobertura via fertirrigação. A fertilização de semeadura foi realizada manualmente uma semana antes do plantio, aplicando-se, em sulco, uréia, superfosfato simples, cloreto de potássio, ácido bórico, sulfato de zinco e sulfato de cobre nas quantidades 100,8; 657,4; 85,4; 11,1; 11,0; 5,0 gramas por parcela, respectivamente. A primeira cobertura foi realizada aos 30 dias após a semeadura (DAS), aplicando-se uréia, cloreto de potássio e ácido bórico nas quantidades 201,6; 99,6; 11,1 gramas por parcela, respectivamente. A segunda cobertura foi realizada aos 50 DAS, aplicando-se uréia e cloreto de potássio nas quantidades 201,6 e 99,6 gramas por parcela, respectivamente.

Foi utilizado o sistema de irrigação por gotejamento para repor a evapotranspiração da cultura estimada para cada fase de desenvolvimento, a partir da evapotranspiração de referência (ET_o) pelo método de Penman-Monteith e coeficiente de cultura (K_c).

A água de salinidade baixa (S1) utilizada na irrigação foi retirada de um poço do aquífero Arenito Açú, a uma profundidade média de 1 000 m. A água de salinidade alta (S3) foi preparada mediante a adição, na água S1, dos sais NaCl, NaHCO₃, CaCl₂.2H₂O, MgSO₄.7H₂O e KCl nas quantidades 1,169; 0,504; 0,441; 0,346; 0,030 g L⁻¹, respectivamente. A proporcionalidade utilizada de 7:2:1 para Na:Ca:Mg está de acordo com Medeiros (1992), com o objetivo de obter uma amostra representativa das fontes de água salina disponíveis no aquífero Calcário Jandaíra. A água de salinidade média (S2) foi proveniente da mistura de volumes iguais das águas S1 e S3. Foram feitas análises químicas semanalmente das águas utilizadas e os valores médios obtidos ao longo do experimento estão apresentados na Tabela 2.

Cada parcela constou de seis linhas de 7 m de comprimento e tanto as avaliações de crescimento quanto as coletas de solo foram realizadas nas linhas 2 e 5. As linhas 3 e 4 constituíram a área útil (12,6 m²) para a avaliação da produção da mamoneira e as linhas 1 e 6 foram consideradas bordaduras.

As avaliações de crescimento e as coletas de solo foram realizadas aos 20; 40; 60; 80; 100 DAS. As amostragens de solo foram realizadas nas camadas 0-0,10; 0,10-0,30; 0,30-0,50 m. Para as avaliações de crescimento foram escolhidas e identificadas 4 plantas por parcela no início do ciclo. Para as amostragens de solo era escolhido um local por parcela nas proximidades de alguma planta, determinado aleatoriamente em cada época de avaliação.

Tabela 2 - Caracterização química das águas utilizadas na irrigação

| Águas | K ⁺ | Na ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Cl ⁻ | CO ₃ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | Cátions | Ânions | RAS | Dureza | pH | CE |
|-------|-----------------------------------|-----------------|------------------|------------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|---------|--------|---|--------------------|------|--------------------|
| | mmol _c L ⁻¹ | | | | | | | | | (mmol _c L ⁻¹) ^{0,5} | mg L ⁻¹ | | dS m ⁻¹ |
| S1 | 1,77 | 2,33 | 2,09 | 1,73 | 2,38 | 0,90 | 4,26 | 11,53 | 7,54 | 1,80 | 191,00 | 8,18 | 0,53 |
| S2 | 0,54 | 16,55 | 3,17 | 3,45 | 12,96 | 1,24 | 4,91 | 23,72 | 19,11 | 8,99 | 331,00 | 8,17 | 2,09 |
| S3 | 0,53 | 33,33 | 4,14 | 4,65 | 25,28 | 0,96 | 6,08 | 39,07 | 32,32 | 18,29 | 440,00 | 7,96 | 3,66 |

As amostras de solo foram compostas de 3 pontos a 0,15 m do gotejador, em forma de triângulo.

As variáveis de crescimento avaliadas foram altura de planta, diâmetro de caule e número de folhas. A colheita ocorreu em três etapas (100, 117 e 125 DAS), em função da maturação progressiva dos cachos. Os componentes de produção avaliados foram comprimento de racemo (primário, secundário e terciário), massa de 100 sementes (de frutos dos três racemos), percentagem de casca (de frutos dos três racemos), número de frutos e racemos por área útil e produtividade de frutos. A percentagem de casca foi calculada pela equação:

$$PC = \frac{\text{massa da casca}}{\text{massa do fruto}} \times 100 \quad (1)$$

Os atributos químicos do solo avaliados foram teores de sódio (Na^+), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}) e potássio (K^+) trocáveis, acidez potencial (H+Al), percentagem de sódio trocável (PST), condutividade elétrica (CE) e pH. As análises de Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , (H+Al) e pH foram realizadas conforme as metodologias descritas por Silva (2009). A CE foi obtida por meio da leitura no condutivímetro digital da suspensão solo/água destilada na proporção de 1:2,5 (RICHARDS, 1954). A PST foi calculada pela equação:

$$PST = \frac{\text{Na}^+}{\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+ + (\text{H} + \text{Al})} \times 100 \quad (2)$$

Os dados das variáveis de crescimento nas cinco épocas avaliadas e dos atributos químicos do solo aos 100 DAS, além dos componentes de produção, foram submetidos à análise de variância e teste de média (Tukey, $p < 0,05$), utilizando-se o software SISVAR (FERREIRA, 2008). No entanto, antes da condução da análise estatística, foi realizado o teste de Hartley para averiguar a homogeneidade das variâncias (BANZATTO; KRONKA, 1995), com consequente necessidade de transformação de alguns dados. Os valores de CE e PST foram transformados em \sqrt{X} e os de Na^+ em $\sqrt{X+1}$. Não houve necessidade de transformação para as demais variáveis.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Crescimento e produção da mamoneira

A altura de planta foi prejudicada pela irrigação contínua com água salina (3,66 dS m^{-1} , T3) aos 60; 80 e 100 DAS (Tabela 3). Nessas três épocas, o tratamento T1 foi superior ao T3, porém não diferiu dos demais (Tabela 4). O

Tabela 3 - Resumo da ANOVA para altura de planta, diâmetro de caule e número de folhas, nas cinco épocas avaliadas, em função dos tratamentos

| Fontes de variação | GL | Quadrado médio | | | | |
|--------------------|----|---------------------|----------------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| | | Altura de planta | | | | |
| | | 20 DAS | 40 DAS | 60 DAS | 80 DAS | 100 DAS |
| Tratamentos | 5 | 0,670 ^{ns} | 13,854 ^{ns} | 286,934* | 549,103* | 472,600* |
| Blocos | 4 | 0,893 | 30,089 | 238,903 | 292,673 | 229,832 |
| Resíduo | 20 | 0,838 | 19,761 | 90,962 | 167,079 | 135,538 |
| CV (%) | - | 9,95 | 12,22 | 11,15 | 10,38 | 9,14 |
| Fontes de variação | GL | Diâmetro de caule | | | | |
| | | 20 DAS | 40 DAS | 60 DAS | 80 DAS | 100 DAS |
| | | Tratamentos | 5 | 0,228 ^{ns} | 2,685 ^{ns} | 0,717 ^{ns} |
| Blocos | 4 | 0,299 | 2,493 | 2,825 | 4,055 | 2,710 |
| Resíduo | 20 | 0,294 | 1,090 | 1,284 | 1,344 | 1,863 |
| CV (%) | - | 9,48 | 7,38 | 6,04 | 5,83 | 6,68 |
| Fontes de variação | GL | Número de folhas | | | | |
| | | 20 DAS | 40 DAS | 60 DAS | 80 DAS | 100 DAS |
| | | Tratamentos | 5 | 0,194 ^{ns} | 15,013 ^{ns} | 14,253 ^{ns} |
| Blocos | 4 | 0,653 | 3,533 | 21,972 | 183,682 | 151,860 |
| Resíduo | 20 | 0,084 | 6,213 | 15,611 | 26,662 | 58,761 |
| CV (%) | - | 8,74 | 15,14 | 15,09 | 16,36 | 20,22 |

*Significativo pelo teste F ($p < 0,05$); ^{ns} Não significativo

Tabela 4 - Médias de altura de planta aos 60, 80 e 100 DAS, em função dos tratamentos

| Tratamentos | Altura de planta (cm) | | |
|-----------------|-----------------------|-----------|-----------|
| | 60 DAS | 80 DAS | 100 DAS |
| T1 (testemunha) | 97,75 a | 141,90 a | 144,25 a |
| T2 | 83,70 b | 120,73 ab | 121,87 ab |
| T3 | 74,50 ab | 110,40 b | 115,95 b |
| T4 | 88,05 ab | 121,90 ab | 125,80 ab |
| T5 | 86,30 ab | 129,35 ab | 131,60 ab |
| T6 | 83,15 ab | 122,75 ab | 124,80 ab |

Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem significativamente entre si (teste de Tukey, $p < 0,05$)

diâmetro de caule e o número de folhas não diferiram entre os tratamentos em nenhuma das cinco épocas avaliadas (Tabela 3). Em relação aos componentes de produção, houve diferença para o comprimento de racemo terciário, o número de frutos por área útil e a produtividade de frutos (Tabela 5). Nos três casos, o tratamento T3 apresentou as menores médias (Tabela 6).

Com base nesses resultados, infere-se que a mamoneira não apresenta tolerância diferenciada à salinidade em função

da idade da planta, por dois motivos: primeiro, a irrigação contínua com água salina ($3,66 \text{ dS m}^{-1}$, T3) prejudicou a altura de planta somente a partir da metade do ciclo (60 DAS), e não no início (20 e 40 DAS); segundo, a irrigação com água salina começando aos 45 DAS (T4, T5 e T6) proporcionou o mesmo crescimento e produção da testemunha (T1).

Essa tolerância à salinidade por limitados períodos de tempo pode estar envolvida com alguns mecanismos

Tabela 5 - Resumo da ANOVA para comprimento de racemo (CR1 = primário; CR2 = secundário; CR3 = terciário), massa de 100 sementes (MS1 = racemo primário; MS2 = racemo secundário; MS3 = racemo terciário), percentagem de casca (PC1 = racemo primário; PC2 = racemo secundário; PC3 = racemo terciário), número de frutos (NF) e racemos (NR) por área útil e produtividade de frutos (PF), em função dos tratamentos

| FV | GL | Quadrado médio | | | | | | | | | | | |
|--------|----|---------------------|---------------------|-------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-----------|--------------------|----------|
| | | CR1 | CR2 | CR3 | MS1 | MS2 | MS3 | PC1 | PC2 | PC3 | NF | NR | PF |
| Trat. | 5 | 12,81 ^{ns} | 13,60 ^{ns} | 6,44* | 47,66 ^{ns} | 61,34 ^{ns} | 68,14 ^{ns} | 2,36 ^{ns} | 1,12 ^{ns} | 7,50 ^{ns} | 299 460** | 8,06 ^{ns} | 313 765* |
| Bloc. | 4 | 5,77 | 11,47 | 7,53 | 41,21 | 84,39 | 29,42 | 3,13 | 2,63 | 0,73 | 20 429 | 4,88 | 227 365 |
| Res. | 20 | 4,93 | 5,84 | 2,16 | 30,80 | 25,10 | 54,48 | 1,58 | 1,31 | 3,20 | 53 413 | 8,34 | 80 170 |
| CV (%) | - | 7,73 | 13,24 | 9,62 | 5,92 | 5,74 | 8,78 | 3,97 | 3,59 | 5,95 | 17,27 | 9,99 | 12,08 |

**Significativo pelo teste F ($p < 0,01$); * Significativo pelo teste F ($p < 0,05$); ^{ns} Não significativo

Tabela 6 - Médias de comprimento de racemo terciário (CR3), número de frutos por área útil (NF) e produtividade de frutos (PF), em função dos tratamentos

| Tratamentos | Variáveis | | |
|-----------------|-----------|---------|---------------------------|
| | CR3 (cm) | NF | PF (kg ha ⁻¹) |
| T1 (testemunha) | 16,96 a | 1.495 a | 2.750 a |
| T2 | 14,60 ab | 1.343 a | 2.217 ab |
| T3 | 13,82 b | 866 b | 2.026 b |
| T4 | 15,69 ab | 1.453 a | 2.501 ab |
| T5 | 15,97 ab | 1.339 a | 2.290 ab |
| T6 | 14,67 ab | 1.535 a | 2.279 ab |

Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem significativamente entre si (teste de Tukey, $p < 0,05$)

da mamoneira já reportados na literatura, como por exemplo: aumento acentuado no conteúdo de prolina (LI *et al.*, 2008); controle eficiente no transporte de Na^+ para as folhas, com acúmulo nas raízes e no caule (HEIKAL; AHMED; SHADDAD, 1980; JESCHKE; PATE, 1991); alta mobilidade de K^+ no floema, com grande deposição nas folhas e nas raízes (JESCHKE; PATE, 1991).

Aparentemente, o efeito negativo supracitado foi devido à intensidade e duração da exposição aos sais, em vez da fase de desenvolvimento. Segundo Chaves, Flexas e Pinheiro (2009) esses dois fatores influenciam a resposta das plantas à salinidade e determinam se o processo de mitigação associado com a aclimação ocorrerá ou não. Outros autores também destacam a relevância desses componentes no processo de adaptação ao estresse salino (MUNNS, 2002; LACERDA *et al.*, 2006).

Divergindo do presente estudo, Pinheiro *et al.* (2008) avaliaram a influência da irrigação com água salina na mamoneira até os 38 DAS, e concluíram que ela não tolera estresse salino nos estádios iniciais de desenvolvimento. Resultados semelhantes foram obtidos

por Silva *et al.* (2005) aos 20 e 40 DAS. Possivelmente, em ambos os casos, outros fatores foram decisivos na suscetibilidade da cultura (cultivo em ambiente protegido com as plantas em vasos, tipo de solo, método e frequência de irrigação, cultivar e níveis de salinidade).

Já Cavalcanti *et al.* (2005) e Silva *et al.* (2008) avaliando aos 80 e 100 DAS, também verificaram efeito negativo da salinidade. Nesses casos, é possível que a intensidade e a duração do estresse salino também tenham sido importantes na resposta da cultura, a exemplo do tratamento T3. Como nessas pesquisas não houve condições similares ao do presente estudo (aplicação de água salina de acordo com a fase de desenvolvimento e avaliações na planta no início do ciclo), fica difícil fazer outras comparações.

Atributos químicos do solo

Em geral, os teores de Na^+ , a PST e a CE do solo aumentaram continuamente ao longo do ciclo nos tratamentos irrigados com água salina, nas três camadas (Figuras 2; 3; 4). No caso dos tratamentos

Figura 2 - Evolução do teor de sódio trocável (Na^+) em um Argissolo ao longo do ciclo da mamoneira, nas diferentes camadas, em função dos tratamentos

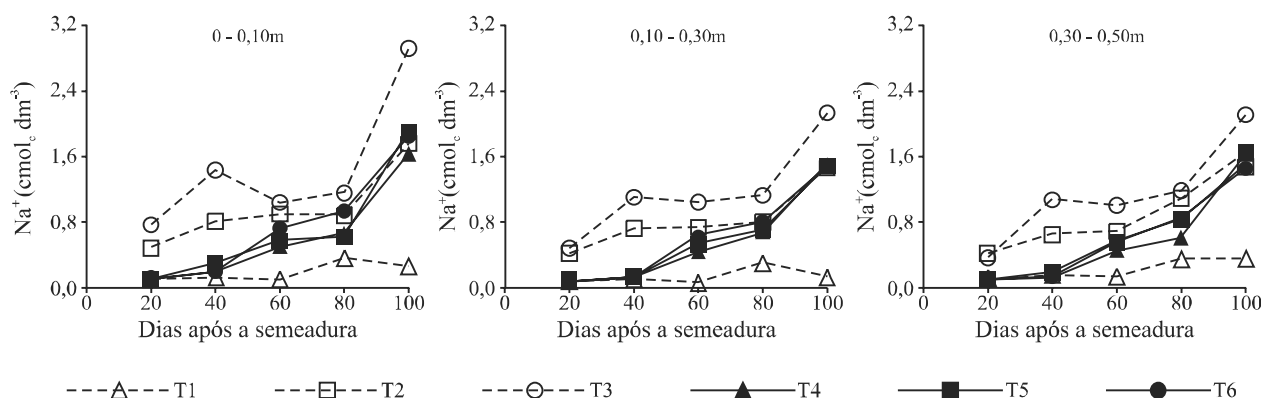


Figura 3 - Evolução da percentagem de sódio trocável (PST) em um Argissolo ao longo do ciclo da mamoneira, nas diferentes camadas, em função dos tratamentos

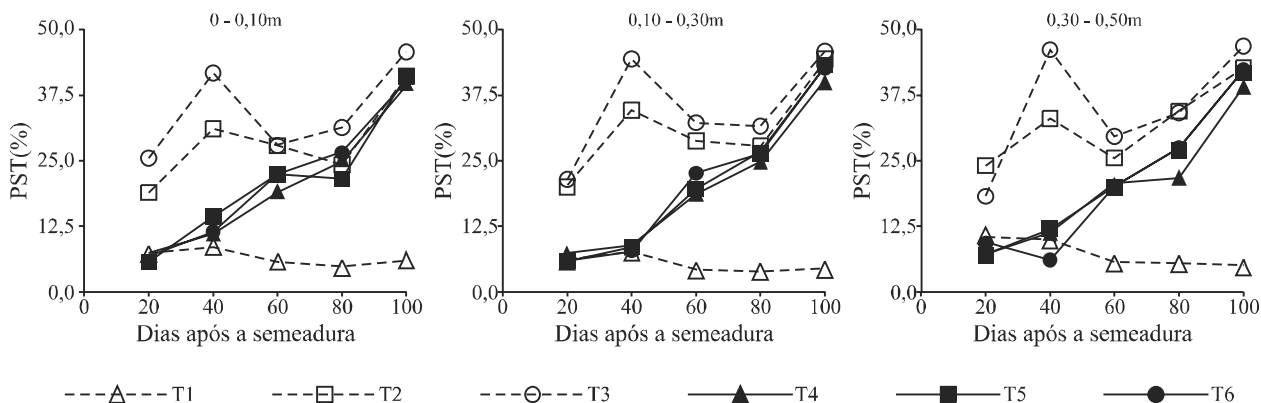
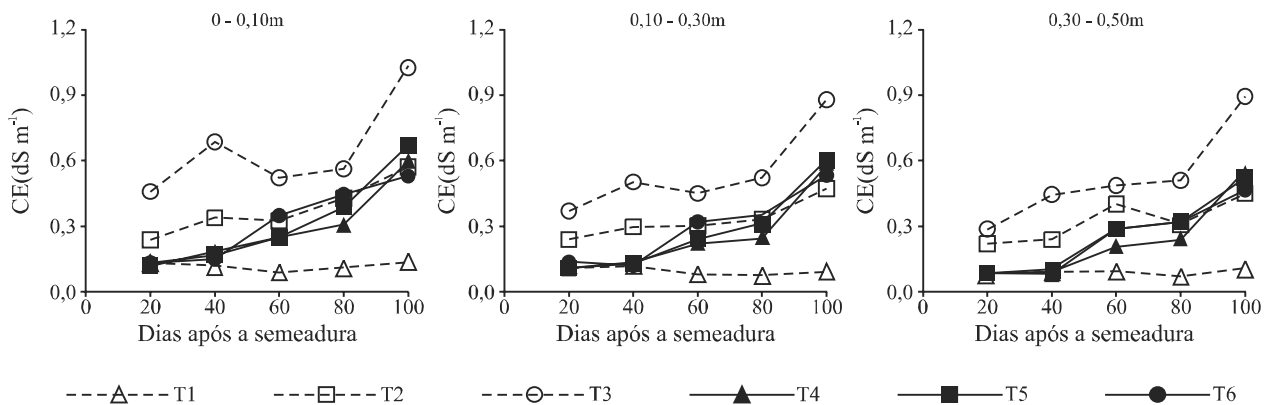
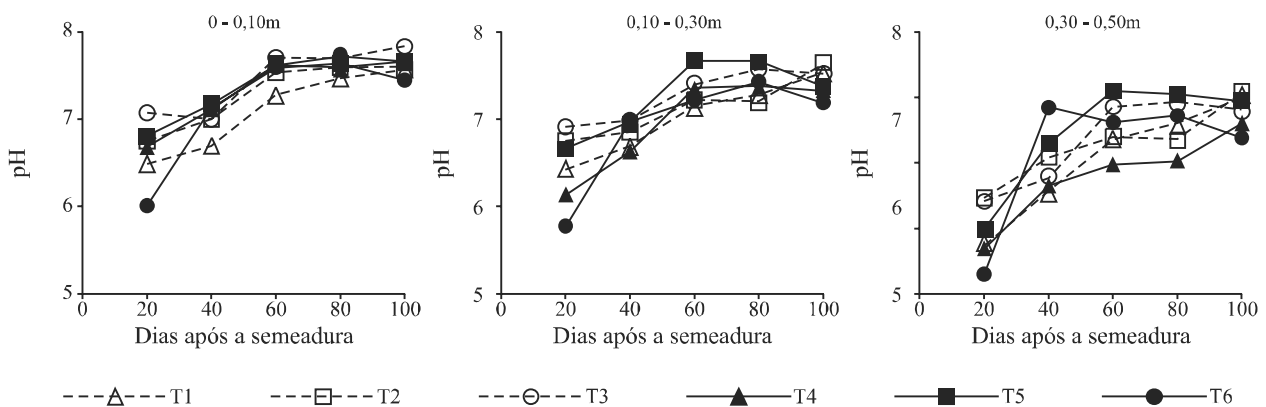


Figura 4 - Evolução da condutividade elétrica (CE) em um Argissolo ao longo do ciclo da mamoneira, nas diferentes camadas, em função dos tratamentos**Figura 5** - Evolução do pH em um Argissolo ao longo do ciclo da mamoneira, nas diferentes camadas, em função dos tratamentos

T4, T5 e T6, esse aumento foi mais acentuado a partir dos 40 DAS, praticamente coincidindo com o início da irrigação com água salina (Tabela 1). Já o pH do solo aumentou e estabilizou a partir da metade do ciclo em todos os tratamentos, também nas três camadas (Figura 5). Provavelmente, a grande permeabilidade do solo proporcionou boa lixiviação dos sais e consequentemente o comportamento uniforme dos quatro atributos químicos em todas as camadas avaliadas.

No final do ciclo, os tratamentos T4, T5 e T6 apresentaram médias de teor de Na⁺ e CE inferiores em relação ao T3, porém superiores em relação ao T1. Vale salientar que T2 mostrou desempenho parecido. No entanto, não houve diferença quanto à PST entre os tratamentos irrigados com água salina. Além disso, eles foram superiores em relação ao T1 (Tabelas 7 e 8).

Os resultados sugerem que essas estratégias (T2, T4, T5 e T6) apenas minimizam os impactos negativos sobre a salinidade/sodicidade do solo. Isso fica evidenciado pelos altos valores de PST dos tratamentos T2, T4, T5 e T6 no final do ciclo, bem maiores que o limite de 15% indicado por Richards (1954) para solos sódicos.

Como é possível perceber, é indispensável a adoção conjunta de outras práticas quando se utilizar alguma das estratégias avaliadas no presente estudo. Entre elas, recomendam-se o cultivo em solos permeáveis, de drenagem adequada e com aplicação de um excesso de água para lixiviar os sais (ALMEIDA, 2010). Em determinadas situações, a precipitação pluvial pode ser suficiente para proporcionar essa lixiviação (ASSIS JÚNIOR *et al.*, 2007), todavia, no Semiárido nordestino isso pode não ocorrer (CHAVES *et al.*, 2006).

Tabela 7 - Resumo da ANOVA para teor de sódio trocável (Na⁺), percentagem de sódio trocável (PST), condutividade elétrica (CE) e pH aos 100 DAS, nas diferentes camadas, em função dos tratamentos

| Fontes de variação | GL | Quadrado médio | | | |
|--------------------|----|--------------------|-------------|------------|------------------------|
| | | Camada 0-0,10 m | | | |
| | | Na ⁺ | PST | CE | pH |
| Tratamentos | 5 | 0,388068** | 16,136910** | 0,218507** | 0,083358 ^{ns} |
| Blocos | 4 | 0,006957 | 0,303916 | 0,010613 | 0,065792 |
| Resíduo | 20 | 0,017233 | 0,182218 | 0,011852 | 0,112770 |
| CV (%) | - | 8,07 | 7,26 | 14,70 | 4,40 |
| Fontes de variação | GL | Camada 0,10-0,30 m | | | |
| | | Na ⁺ | PST | CE | pH |
| | | Tratamentos | 5 | 0,292669** | 17,654041** |
| Blocos | 4 | 0,002531 | 0,634900 | 0,004523 | 0,094588 |
| Resíduo | 20 | 0,006160 | 0,237189 | 0,005488 | 0,142634 |
| CV (%) | - | 5,11 | 8,26 | 10,66 | 5,08 |
| Fontes de variação | GL | Camada 0,30-0,50 m | | | |
| | | Na ⁺ | PST | CE | pH |
| | | Tratamentos | 5 | 0,209824** | 16,585260** |
| Blocos | 4 | 0,006366 | 0,170082 | 0,003309 | 0,056255 |
| Resíduo | 20 | 0,027136 | 0,517836 | 0,009910 | 0,391487 |
| CV (%) | - | 10,67 | 12,29 | 14,73 | 8,79 |

**Significativo pelo teste F ($p < 0,01$); ^{ns} Não significativo; Os valores de CE e PST foram transformados em \sqrt{x} e os de Na⁺ em $\sqrt{x+1}$

Tabela 8 - Médias de teor de sódio trocável (Na⁺), percentagem de sódio trocável (PST) e condutividade elétrica (CE) aos 100 DAS, nas diferentes camadas, em função dos tratamentos

| Tratamentos | Atributos químicos do solo | | |
|-----------------|---|-------------|-------------|
| | Na ⁺ (cmol _c dm ⁻³) | | |
| | 0-0,10 m | 0,10-0,30 m | 0,30-0,50 m |
| T1 (testemunha) | 0,27c | 0,14c | 0,35b |
| T2 | 1,76b | 1,50b | 1,63a |
| T3 | 2,92a | 2,19a | 2,08a |
| T4 | 1,63b | 1,55b | 1,63a |
| T5 | 1,91b | 1,53b | 1,49a |
| T6 | 1,84b | 1,55b | 1,43a |
| Tratamentos | PST (%) | | |
| | 0-0,10 m | 0,10-0,30 m | 0,30-0,50 m |
| | T1 (testemunha) | 4,94b | 4,59b |
| T2 | 44,08a | 45,50a | 44,08a |
| T3 | 48,34a | 47,22a | 48,34a |
| T4 | 41,45a | 41,43a | 41,45a |
| T5 | 45,84a | 44,95a | 45,84a |
| T6 | 39,70a | 44,10a | 39,70a |

Continuação da Tabela 8

| Tratamentos | CE (dS m ⁻¹) | | |
|-----------------|--------------------------|-------------|-------------|
| | 0-0,10 m | 0,10-0,30 m | 0,30-0,50 m |
| T1 (testemunha) | 0,14c | 0,09c | 0,10c |
| T2 | 0,58b | 0,47b | 0,45b |
| T3 | 1,03a | 0,88a | 0,90a |
| T4 | 0,60b | 0,58b | 0,56b |
| T5 | 0,68b | 0,60b | 0,52b |
| T6 | 0,53b | 0,53b | 0,46b |

Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem significativamente entre si (teste de Tukey, $p < 0,05$)

CONCLUSÕES

1. A irrigação contínua com água de CE 3,66 dS m⁻¹ reduziu a altura de planta, o comprimento de racemo terciário, o número de frutos por área útil e a produtividade de frutos. Essa estratégia aumentou acentuadamente os teores de Na⁺ e a CE do solo no final do ciclo;
2. A irrigação com água salina começando aos 45 DAS não prejudicou as variáveis de crescimento e os componentes de produção. Essa estratégia minimizou os impactos negativos sobre a salinidade/sodicidade do solo no final do ciclo. Comportamento similar foi observado para a irrigação contínua com água de CE 2,09 dS m⁻¹ (mistura de águas com CE de 0,53 e 3,66 dS m⁻¹);
3. A mamoneira não apresentou tolerância diferenciada à salinidade em função da fase de desenvolvimento, embora tenha sido prejudicada quando aumentaram a intensidade e a duração do estresse salino.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pelo apoio na realização desta pesquisa, mediante a liberação de auxílios financeiros provenientes do “Projeto Casadinho” (entre a UFERSA e a UFRRJ) e do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade (INCTSal). Também à CAPES pela concessão de bolsa.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, O. A. **Qualidade da água de irrigação**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010. 228 p.
- ASSIS JÚNIOR, J. O. *et al.* Produtividade do feijão-de-corda e acúmulo de sais no solo em função da fração de lixiviação e da salinidade da água de irrigação. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 03, p. 702-713, 2007.
- BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. N. **Experimentação agrícola**. 3. ed. Jaboticabal: FUNEP, 1995. 247 p.
- BOTÍA, P. *et al.* Yield and fruit quality of two melon cultivars irrigated with saline water at different stages of development. **European Journal of Agronomy**, v. 23, n. 03, p. 243-253, 2005.
- CARMO FILHO, F.; ESPÍNOLA SOBRINHO, J.; MAIA NETO, J. M. **Dados climatológicos de Mossoró**: um município semi-árido nordestino. Mossoró: ESAM, 1991. 121 p. (Coleção Mossoroense, série C, 30)
- CAVALCANTI, M. L. F. *et al.* Tolerância da mamoneira BRS 149 à salinidade: germinação e características de crescimento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 09, p. 57-61, 2005. Suplemento.
- CHAUHAN, C. P. S.; SINGH, R. B.; GUPTA, S. K. Supplemental irrigation of wheat with saline water. **Agricultural Water Management**, v. 95, n. 03, p. 253-258, 2008.
- CHAVES, L. C. G. *et al.* Risco de degradação em solo irrigado do Distrito de Irrigação do Perímetro Araras Norte, Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, v. 37, n. 03, p. 292-298, 2006.
- CHAVES, M. M.; FLEXAS, J.; PINHEIRO, C. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. **Annals of Botany**, v. 103, n. 04, p. 551-560, 2009.
- CHECHETTO, R. G.; SIQUEIRA, R.; GAMERO, C. A. Balanço energético para a produção de biodiesel pela cultura da mamona (*Ricinus communis* L.). **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 04, p. 546-553, 2010.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.
- FERREIRA, D. F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Científica Symposium**, v. 06, n. 02, p. 36-41, 2008.
- GURGEL, M. T. *et al.* Crescimento de meloeiro sob estresse salino e doses de potássio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 01, p. 3-10, 2010.
- HAMDY, A.; SARDO, V.; FARRAG GHANEM, K. A. Saline water in supplemental irrigation of wheat and barley under

- rained agriculture. **Agricultural Water Management**, v. 78, n. 01/02, p. 122-127, 2005.
- HEIKAL, M. M.; AHMED, A. M.; SHADDAD, M. A. Dry matter and mineral composition of some oil producing plants as influenced by some salinization treatments. **Phyton**, v. 20, n. 01/02, p. 159-173, 1980.
- JESCHKE, W. D.; PATE, J. S. Cation and chloride partitioning through xylem and phloem within the whole plant of *Ricinus communis* L. under conditions of salt stress. **Journal of Experimental Botany**, v. 42, n. 09, p. 1105-1116, 1991.
- LACERDA, C. F. *et al.* Morpho-physiological responses of cowpea leaves to salt stress. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 18, n. 04, p. 455-465, 2006.
- LACERDA, C. F. *et al.* Eficiência de utilização de água e nutrientes em plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento. **Engenharia Agrícola**, v. 29, n. 02, p. 221-230, 2009.
- LI, G. *et al.* Leaf chlorophyll fluorescence, hyperspectral reflectance, pigments content, malondialdehyde and proline accumulation responses of castor bean (*Ricinus communis* L.) seedlings to salt stress levels. **Industrial Crops and Products**, v. 31, n. 01, p. 13-19, 2008.
- MALASH, N.; FLOWERS, T. J.; RAGAB, R. Effect of irrigation systems and water management practices using saline and non-saline water on tomato production. **Agricultural Water Management**, v. 78, n. 01/02, p. 25-38, 2005.
- MEDEIROS, J. F. **Qualidade da água de irrigação e evolução da salinidade nas propriedades assistidas pelo GAT nos Estados do RN, PB e CE**. 1992. 173 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.
- MORAIS, F. A. *et al.* Influência da irrigação com água salina na cultura do girassol. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 02, p. 327-336, 2011.
- MUNNS, R. Comparative physiology of salt and water stress. **Plant, Cell and Environment**, v. 25, n. 02, p. 239-250, 2002.
- MURTAZA, G.; GHAFOR, A.; QADIR, M. Irrigation and soil management strategies for using saline-sodic water in a cotton-wheat rotation. **Agricultural Water Management**, v. 81, n. 01/02, p. 98-114, 2006.
- PINHEIRO, H. A. *et al.* Leaf gas exchange, chloroplastic pigments and dry matter accumulation in castor bean (*Ricinus communis* L.) seedlings subjected to salt stress conditions. **Industrial Crops and Products**, v. 27, n. 03, p. 385-392, 2008.
- RAGHAVIAH, C. V. *et al.* Screening castor (*Ricinus communis*) genotypes for salinity tolerance in terms of germination, growth and plant ion composition. **Indian Journal of Agricultural Sciences**, v. 76, n. 03, p. 196-199, 2006.
- RICHARDS, L. A. (Ed.) **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington: US Department of Agriculture, 1954. 160 p. (USDA Agricultural Handbook, 60)
- SILVA, F. C. (Ed.) **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. 627 p.
- SILVA, S. M. S. *et al.* Germinação e crescimento inicial de duas cultivares de mamoneira sob estresse salino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 09, p. 347-352, 2005. Suplemento.
- SILVA, S. M. S. *et al.* Desenvolvimento e produção de duas cultivares de mamoneira sob estresse salino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 04, p. 335-342, 2008.