

Padronização das doses de NaCl para indução de stresse salino em *Jatropha curcas* L.

Standardization of NaCl doses for saline stress induction in *Jatropha curcas* L.

Lucas S. Galdino¹, Emannuella H. A. Lira¹, Valéria F. O. Sousa², Joilma M. Souza¹, Josemir M. Maia^{1*}, Poti O. C. Costa³ e Nair H. C. Arriel⁴

¹ Universidade Estadual da Paraíba, Catolé do Rocha, Paraíba, Brasil

² Programa de Pós-Graduação em Horticultura Tropical, Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, Paraíba, Brasil

³ Centro de Ciências Humanas e Agrárias, Universidade Estadual da Paraíba, Catolé do Rocha, Paraíba, Brasil

⁴ Centro Nacional de Pesquisa do Algodão, Embrapa, Campina Grande, Paraíba, Brasil

(*E-mail: jmouram@uepb.edu.br)

<http://dx.doi.org/10.19084/RCA16081>

Recebido/received: 2016.07.04

Recebido em versão revista/received in revised form: 2016.11.15

Aceite/accepted: 2016.12.29

RESUMO

O presente estudo propõe definir as doses consideradas severa e moderada de NaCl utilizadas em ensaios experimentais de *Jatropha curcas* com até oito dias após a sementeira. Os resultados apresentados nesse estudo baseiam-se em indicadores fenológicos e fisiológicos para definir as doses de NaCl a partir do conceito de dose letal. A pesquisa foi realizada utilizando delineamento experimental inteiramente casualizado com fatorial formado por dois acessos (CNPAPM-X e CNPAPM-III) e cinco doses de NaCl (0; 50; 100; 150; 200 mM de NaCl). Avaliou-se a taxa de germinação, altura da plântula, diâmetro do caule, massa seca e o conteúdo de Na⁺, K⁺ além da razão K⁺/Na⁺ de folhas, caules e raízes. Evidenciou-se nas condições experimentais impostas que os acessos apresentaram distintos mecanismos de resposta aos stresses salinos. Obteve-se, ainda, como dose severa e moderada, padronizadas para ensaios de stresse salino em *J. curcas* com até 8 dias após a sementeira, as doses de 100 e 50 mM, respectivamente.

Palavras-chave: Euphorbiaceae, padronização experimental, salinidade.

ABSTRACT

The present study proposes to define the doses considered severe and moderate NaCl used in experimental trials of *Jatropha curcas* up to eight days after sowing. The results presented in this study are based on phenological and physiological indicators to define the doses of NaCl from the concept of lethal dose. The experiment was carried out using a completely randomized design with a factorial consisting of two accessions of *J. curcas* (CNPAPM-X and CNPAPM-III) and five doses of NaCl (0, 50, 100, 150, 200 mM NaCl). The germination rate, seedling height, stem diameter, dry mass and Na⁺, K⁺ contents in addition to the K⁺/Na⁺ ratio of leaves, stems and roots were evaluated. It was evidenced in the experimental conditions imposed that the accesses presented different mechanisms of response to the saline stresses. Additionally, there was obtained, as a moderate and severe dose, standardized for salt stress tests in *J. curcas* with up to eight days after sowing, the doses of 100 and 50 mM, respectively.

Keywords: Euphorbiaceae, experimental standardization, salinity.

INTRODUÇÃO

Jatropha curcas L. pertence à família das Euforbiáceas, a mesma da mamona (*Ricinus communis* L.) e da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz.), sendo caracterizada como uma planta perene bastante resistente a condições climáticas adversas como

seca e salinidade (Singh *et al.*, 2007). A espécie se desenvolve de forma espontânea em áreas de solos pouco férteis e de clima desfavorável à maioria das culturas alimentares tradicionais (Miragaya, 2005; Oliveira *et al.*, 2010). De acordo com Embrapa (2010), com o potencial de altos rendimentos de grãos e óleo; boa qualidade do óleo para produção

de biodiesel; adaptabilidade a diferentes regiões; precocidade e longevidade; alternativa para diversificação de cultivos em diversas regiões; possibilidade de inserção na cadeia produtiva da agricultura familiar, entre outras, esta espécie vem sendo considerada matéria prima potencial para o Programa Nacional de Produção de Biodiesel (PNPB) no Brasil. Drumond *et al.* (2010) também enfatizam a possibilidade do aumento das áreas de plantio com essa cultura em regiões salinizadas, dado a sua capacidade de adaptação a ambientes hostis, inclusive com solos salinos. Assim, o cultivo dessa espécie é compatível ao nordeste brasileiro, uma vez que essa região é caracterizada como semiárida, com baixa pluviosidade e com elevada evaporação, o que torna essa oleaginosa uma alternativa de complemento de renda para a agricultura familiar (Arruda *et al.*, 2004; Martins *et al.*, 2008) em uma região que apresenta tendência para a salinização dos solos.

Com o aumento do conteúdo salino, os solos geralmente deixam de ser rentáveis aos seus proprietários e conseqüentemente são abandonados, uma vez que o excesso de sais acaba por comprometer as funções fisiológicas das plantas, causando stresse osmótico, resultando em distúrbios das relações hídricas, alterações na absorção e utilização de nutrientes essenciais além da acumulação de íons tóxicos (Calvet *et al.*, 2013). Em plantas, os efeitos fisiológicos da salinidade envolvem em primeira instância alterações na mobilização e compartimentalização de Na^+ e K^+ . Mas as estratégias para manter níveis adequados de K^+ e Na^+ no citosol variam amplamente entre espécies e cultivares, e esse fator (relação K^+/Na^+) tem sido utilizado como marcador fisiológico na seleção de plantas mais resistentes à salinidade (Flowers, 2004; Ashley *et al.*, 2006; Munns e Tester, 2008). Além disso, o K^+ tem sido amplamente considerado como elemento de maior mobilidade na planta e passa de uma célula para outra e do xilema para o floema, razão pela qual é o componente mineral de maior expressão nos processos osmóticos que envolvem absorção e armazenamento de água pelas plantas (Pimentel, 2004).

Quando submetido à salinidade e combinado com altas temperaturas, o aumento da oferta de potássio atenua os efeitos do stresse por reduzir a absorção de sódio (Rodrigues *et al.*, 2009), indicando a ocorrência de forte concorrência do Na^+ pelo sítio de absorção de potássio o que pode comprometer o

metabolismo celular de forma generalizada. Com base nessas questões, entende-se que uma das soluções mais viáveis para a reutilização agrícola de áreas salinizadas está na seleção de espécies economicamente relevantes e que sejam tolerantes as condições ambientais hostis; uma alternativa seria o aproveitamento desses solos para a obtenção de matéria prima com vista à produção de biocombustíveis, dada a importância de fontes alternativas de energia. Neste contexto, as plantas oleaginosas, como a *J. curcas*, ganham destaque, pois podem ser utilizadas como fontes de energia que além de renováveis, poluem muito menos que os derivados do petróleo, contribuindo para a preservação do meio ambiente (Maia *et al.*, 2014).

Contudo, mesmo a *J. curcas* tendo grande potencial para a produção de biodiesel, ainda são poucas as pesquisas voltadas para a domesticação dessa espécie, que ainda é considerada selvagem. Pouco se sabe sobre suas respostas metabólicas, principalmente quando expostas a condições de salinidade durante a germinação e o desenvolvimento da plântula, fases que segundo Borges (2003) são consideradas chaves para a estabilização e manutenção da cultura no campo. Sabe-se, contudo, que a acumulação de compostos de reservas (carboidratos, proteínas, lípidos) em sementes é um dos processos mais importantes na adaptação das plantas a condições adversas. Essas reservas tem a função de servir como fonte de energia e como fonte de esqueletos de carbono para a formação dos tecidos da plântula (Buckeridge *et al.*, 2004; Bernardes, 2010). Sabe-se, ainda, que a salinidade causa alterações significativas no metabolismo inibindo a mobilização dessas reservas e alterando o sistema de membranas do eixo embrionário, porém torna-se imprescindível esclarecer a que se deve de fato esse processo (Marques *et al.*, 2011; Araújo, 2013).

Na literatura existem relatos sobre os prejuízos que a salinidade pode ocasionar na germinação e no estabelecimento de plântulas de *J. curcas* (Silva *et al.*, 2009, 2012; Cunha *et al.*, 2013), embora ainda sejam poucas as informações sobre os mecanismos utilizados por essa espécie na regulação da mobilização das reservas sob este stresse. Essa carência de informações torna importante o estudo dos danos que a salinidade provoca na mobilização de reservas nessa espécie visto que a fase de germinação e estabelecimento de planta é crucial para o sucesso da

produção (via produção de mudas por semente) e, compreender esses mecanismos, possibilitará a domesticação da espécie bem como o melhoramento genético. Vários trabalhos dissertam sobre a imposição e os efeitos de tratamentos salinos em diversas espécies vegetais, embora poucos expliquem como definiram as doses de salinidade adotadas para os experimentos. Todavia, é possível considerar o conceito de dose letal para se padronizar as doses severas e moderadas de salinidade suportáveis pela espécie. Para Barros e Arthur (2005) dose letal (DL50) é a dose necessária de uma dada substância ou tipo de radiação para matar 50% de uma população teste. Sendo que a DL50 varia de espécie para espécie e tem consequências diferentes dependendo do tempo de exposição ao agente, da dose que é administrada e do modo como é administrada. Admitindo-se esse conceito e adaptando-o a ensaios em plantas sob condições severas e moderadas, o presente estudo propõe definir a DL100 e DL50 para *J. curcas*, padronizando as doses consideradas severa e moderada de NaCl utilizadas em ensaios experimentais com até 8 dias após a sementeira. Os resultados apresentados nesse estudo baseiam-se em indicadores fenológicos e fisiológicos para definir as doses de NaCl a partir do conceito de DL50.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada no período entre 28 de Maio a 05 de Junho de 2015 no Laboratório de Tecnologias da Produção Vegetal da Universidade Estadual da Paraíba – Campus IV no município de Catolé do Rocha. Esta foi realizada utilizando dois acessos de *J. curcas* oriundos do Banco Ativo de Germoplasma (BAG) mantido pela UEPB e Embrapa Algodão/FINEP/CNPq/MCTI no Setor de Fruticultura da UEPB, no mesmo município. A área do BAG está nas coordenadas geográficas 6°20'38"S de latitude e 37°44'48"W de longitude e altitude de 275 m. O clima do município, de acordo com a classificação de Koppen é do tipo BSW_h, ou seja, quente e seco do tipo estepe.

Para a sementeira as sementes foram escarificadas em lixa 0,5 na carúncula até o aparecimento do endosperma e posteriormente foram embebidas em água desionizada durante 12 horas. Após este período as sementes foram semeadas em substrato de areia lavada (Martins *et al.*, 2008;

Pascuali *et al.*, 2012) em bandejas de plástico com medidas 365×235×70 mm, sendo 15 sementes por bandeja, em ambiente coberto, mas sem isolamento ambiental, com temperaturas variando entre 32±5°C (dia) e 25±3°C (noite), com umidade relativa do ar de 60±15%, fotoperíodo de 12 h e irradiância média de 400 μE m⁻² s⁻¹, mensurados com termohigrômetro e medidor de PAR. Não houve registro da precipitação no período experimental. As bandejas foram separadas em lotes/tratamentos e a reposição hídrica foi realizada diariamente com solução salina preparada em água destilada, conforme o tratamento, com regador, em todas as parcelas, mantendo-se a umidade do substrato a 60% da capacidade de campo. A monitorização do teor de umidade do substrato foi realizada através de pesagens diárias das bandejas, sempre recuperando o peso inicial de cada bandeja com as soluções salinas, conforme o tratamento. As aplicações foram realizadas até ao oitavo DAS, fase de prótifo, onde as folhas cotiledonares iniciam a expansão (Pimenta *et al.*, 2014). Foram realizadas observações diárias da percentagem de germinação através da equação $G = (NG/NTS) \times 100$, onde G é percentual de germinação, expresso em %; NG é o número de sementes germinadas e; NTS é o número total de sementes. Medidas de altura da plântula e diâmetro do caule foram tomadas, além dos teores de massa seca de folhas cotiledonares, caules e raízes após as coletas das plântulas. Foram ainda efetuados doseamentos de Na⁺ e K⁺ conforme metodologia descrita por Malavolta *et al.* (1989). Para essas análises, extratos de folhas foram preparados em tubos de ensaio contendo 0,3 g da matéria seca, adicionado 10 mL de água deionizada, sendo os tubos mantidos hermeticamente fechados a 100° C, em banho-maria, durante 1 h. O sobrenadante foi filtrado com algodão e armazenado a -4° C até utilização, sendo o precipitado descartado. Os teores de Na⁺ e K⁺ foram determinados no sobrenadante segundo Malavolta (1989), com o auxílio de um fotômetro de chama. Desses valores, obteve-se a relação K⁺/Na⁺ através da divisão simples dos valores absolutos.

A partir desses resultados, calculou-se a dose severa e moderada de NaCl, tomando-se conceitos adaptados de Barros e Arthur (2005). Esta foi calculada a partir dos pontos de resposta máxima das tendências dos resultados (dose severa) e o valor médio da dose severa (dose moderada).

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado (DIC) em fatorial 2x5 onde o primeiro fator corresponde às cultivares estudadas (CNPAPM-X e CNPAPM-III); e o segundo fator, às concentrações de NaCl utilizadas (0; 50; 100; 150; 200 mM de NaCl); perfazendo assim 10 tratamentos com 5 repetições cada, totalizando 50 unidades experimentais compostas por 15 plântulas. Os resultados foram analisados pelo teste de ANOVA e as diferenças significativas entre médias foram determinadas pelo Teste de Tukey a 5% de confiança. Dados contínuos foram avaliados por teste de regressão para ajuste das curvas, quando necessário. Todos os resultados quantitativos apresentam o coeficiente de variação das amostras (CV) nas legendas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Plântulas de *Jatropha curcas* foram germinadas até ao oitavo DAS e foram cultivadas sob tratamentos salinos, avaliando-se a germinação, o crescimento e a mobilização de iões em folhas, caules e raízes. Relativamente à percentagem de germinação aos oito DAS a dose de NaCl que proporcionou a maior taxa de germinação foi 200 mM para o acesso CNPAPM-X e de 50 mM para o acesso CNPAPM-III, conferindo um incremento em germinação de 25,4% e 25,1%, respectivamente, quando comparadas aos respectivos controles (Figura 1). Ainda, o acesso CNPAPM-X foi mais sensível aos tratamentos salinos medianos do que o acesso CNPAPM-III, pois sofreu influência deletéria dos tratamentos a

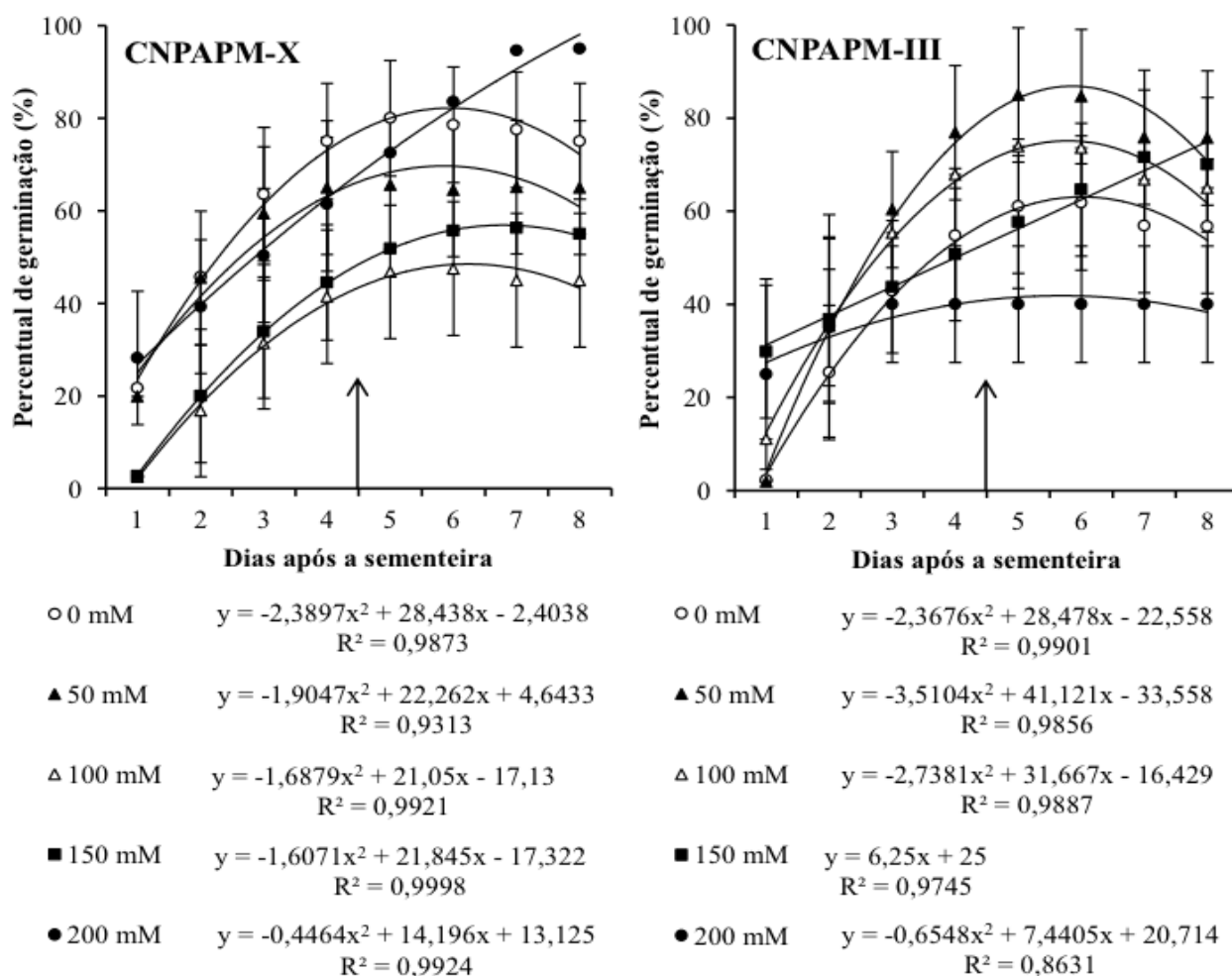


Figure 1 - Taxa de germinação de plântulas de *Jatropha curcas*, dos acessos CNPAPM-X e CNPAPM-III, submetidas a 5 concentrações de NaCl (0; 50; 100; 150 e 200 mM) a partir do 4.º dia após sementeira (DAS). As setas indicam o ponto de inflexão dos gráficos polinomiais. $CV_{CNPAPM-X}=22,05\%$; $CV_{CNPAPM-III}=25,26\%$.

partir da dose de 50 mM. Estes resultados revelam tolerância de *J. curcas* a salinidade uma vez que outras Euforbiáceas, como por exemplo *Ricinus communis*, podem ter o seu processo germinativo comprometido por níveis de salinidade muito menores ($0,3 \text{ dS m}^{-1}$), como foi observado por Lima *et al.* (2014). Todavia, observou-se uma maior tolerância do acesso CNPAPM-X à alta salinidade (200 mM), germinando mais eficientemente em uma dose de sal que corresponde a $19,98 \text{ dS m}^{-1}$.

De acordo com Silva *et al.* (2012) a capacidade das sementes absorverem água suficiente para a germinação e posterior emergência mesmo sob altas concentrações salinas representa um processo alternativo para perpetuação da espécie. É possível que a alta concentração salina do tratamento com 200 mM de NaCl tenha proporcionado uma elevação do potencial osmótico da solução de irrigação, suficiente para retardar a taxa de embebição da semente aumentando, por conseguinte, a eficiência na germinação. Esse processo é tecnicamente conhecido como condicionamento osmótico de sementes e é utilizado para induzir o processo germinativo, pois permite uma embebição lenta e mais homogênea em meio com baixo potencial hídrico (Masetto *et al.*, 2014). A embebição lenta permite a ativação de mecanismos de reparação do sistema de membranas e evita os danos causados pela embebição rápida. O uso de soluções com diferentes potenciais osmóticos, como é o caso das soluções de NaCl, regula a velocidade de hidratação das sementes e, desta forma, permite a ativação dos processos metabólicos das fases iniciais da germinação, evitando a protrusão precoce da raiz primária. Dessa maneira, quando as sementes são retiradas do condicionamento osmótico e semeadas, apresentam uma redução do tempo de germinação e aumento na velocidade de emergência (Masetto *et al.*, 2014).

O efeito da salinidade também foi visível mesmo após a germinação, principalmente após a inflexão das curvas de germinação (5 a 8 DAS). Conforme Figura 2, apesar do acesso CNPAPM-X apresentar um maior número de sementes germinadas, a concentração de 200 mM inibiu o crescimento das plântulas quando comparada com os outros tratamentos. Esta inibição no crescimento pode ter ocorrido ou por mudanças na mobilização de biomassa ou pela toxicidade causada pela alta concentração

de sal. Resultados semelhantes foram observados por Souza *et al.* (2010) para esta mesma espécie na mesma fase fenológica quando os autores utilizaram soluções de NaCl com condutividade elétrica acima de 6 dS m^{-1} . No experimento apresentado a dose de 200 mM de NaCl corresponde a $19,98 \text{ dS m}^{-1}$.

Os prejuízos decorrentes da salinidade também foram observados na altura das plântulas de ambos os acessos (Figura 3). Particularmente em plântulas do acesso CNPAPM-X houve um decréscimo na altura que foi proporcional ao aumento da dose de sal. O aumento dos dias também aumentou os efeitos da salinidade na altura das plântulas. Além disso, o acesso CNPAPM-X desenvolveu-se mais do que CNPAPM-III na condição controle e na dose de 50 mM de NaCl (Figura 3).

No diâmetro caulinar das plântulas do acesso CNPAPM-X ocorreu decréscimo à medida que se aumentou as doses de NaCl. No entanto, com o aumento dos dias houve tendência de manutenção do ganho em diâmetro (Figura 3B). Nas plântulas do acesso CNPAPM-III houve acréscimo na altura da plântula até a dose de 50 mM de NaCl onde a partir da mesma houve diminuição, embora o desenvolvimento das plântulas ao longo dos dias não tenha sido afetado (Figura 3). Nas plântulas do acesso CNPAPM-III também evidenciou-se um acréscimo no diâmetro caulinar da dose controle até 50 mM de NaCl, onde a partir dessa dose houve redução no diâmetro, acompanhado de parada no crescimento relativo ao número de dias. Em ambos os acessos esse comportamento indica que, o crescimento secundário (representado pelo diâmetro caulinar) foi mais afetado pelo stresse salino ao longo dos dias de tratamento do que a altura das plântulas. Isso é possivelmente devido ao déficit hídrico induzido pelo stresse salino prejudicar o desenvolvimento. A suculência do caule aliado ao metabolismo C3-CAM existente nessa espécie confere elevada tolerância ao déficit hídrico e salinidade, por manter as folhas hidratadas em condição de baixa disponibilidade de água no solo, o que foi observado em plantas submetidas até a dosagem de 50 mM de NaCl (Matos *et al.*, 2013). Matos *et al.* (2013) corroboraram com os resultados encontrados, onde as variáveis de crescimento (altura da plântula, diâmetro caulinar, número de folhas e área foliar), avaliadas em plantas de *J. curcas* foram fortemente afetadas pelo stresse salino. O processo de



Figure 2 - Plântulas de dois genótipos (CNPAPM-X e CNPAPM-III) de *Jatropha curcas* aos 8 dias após sementeira (DAS), submetidas aos tratamentos 0, 50, 100, 150 e 200 mM de NaCl a partir do quarto DAS.

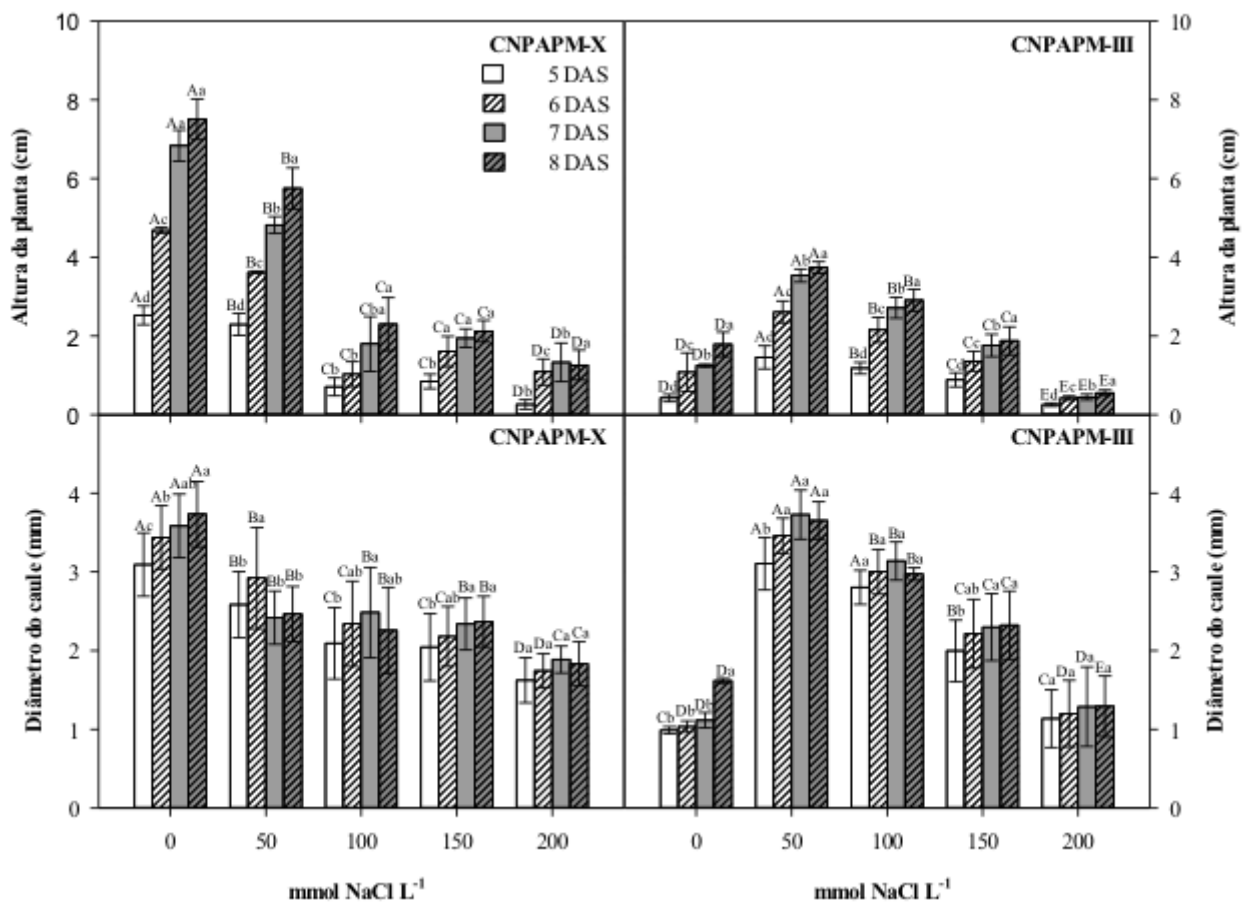


Figure 3 - Altura e diâmetro do caule de plântulas *Jatropha curcas*, dos genótipos CNPAPM-X e CNPAPM-III aos 5, 6, 7 e 8 dias após sementeira (DAS), submetidas a cinco concentrações de NaCl (0; 50; 100; 150 e 200 mM) após o quarto DAS. As letras maiúsculas nas barras indicam as diferenças entre as doses de NaCl e as minúsculas indicam diferenças entre os dias de observação pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). $CV_{\text{CNPAPM-X/altura}}=13,76\%$; $CV_{\text{CNPAPM-III/altura}}=14,78\%$; $CV_{\text{CNPAPM-X/diâmetro}}=16,63\%$; $CV_{\text{CNPAPM-III/diâmetro}}=14,10\%$.

crescimento, tanto primário como secundário é particularmente sensível ao efeito do stresse salino, de forma que a taxa de crescimento pode servir de critério para avaliar o grau de stresse e a capacidade da planta de superá-lo (Larcher, 2004).

Os efeitos decorrentes da salinidade também foram observados na massa seca (MS) das folhas, caules e raízes de *J. curcas* (Figura 4). Para todas as partes vegetativas observaram-se ajustes de regressão quadráticos das equações para os dois acessos. A maior diferença na percentagem de massa seca entre os acessos foi observada nas folhas, onde o acesso CNPAPM-X teve uma redução de 66,6% e o acesso CNPAPM-III, mesmo com o aumento até a dose de 100 mM, teve um valor de MS na dose de 200 mM similar ao controle (0 mM). Os efeitos

do NaCl sobre a massa seca dos demais órgãos das plântulas foram semelhantes, atingindo o ponto máximo da curva na concentração de 100 mM e ponto mínimo na concentração de 200 mM para todos os órgãos. Essa redução na produção de biomassa seca em concentrações mais elevadas de NaCl para *J. curcas* seguiu a resposta da altura e diâmetro caulinar, sendo também observada por Matsumoto *et al.* (2014). A diminuição na percentagem de massa seca pode ocorrer devido à redução do ganho de carbono e ao gasto energético para adaptação à salinidade, envolvendo processos de regulação do transporte e distribuição de íons em vários órgãos e dentro das células; a síntese de solutos orgânicos para osmorregulação e a manutenção da integridade das membranas celulares (Larré *et al.*, 2011).

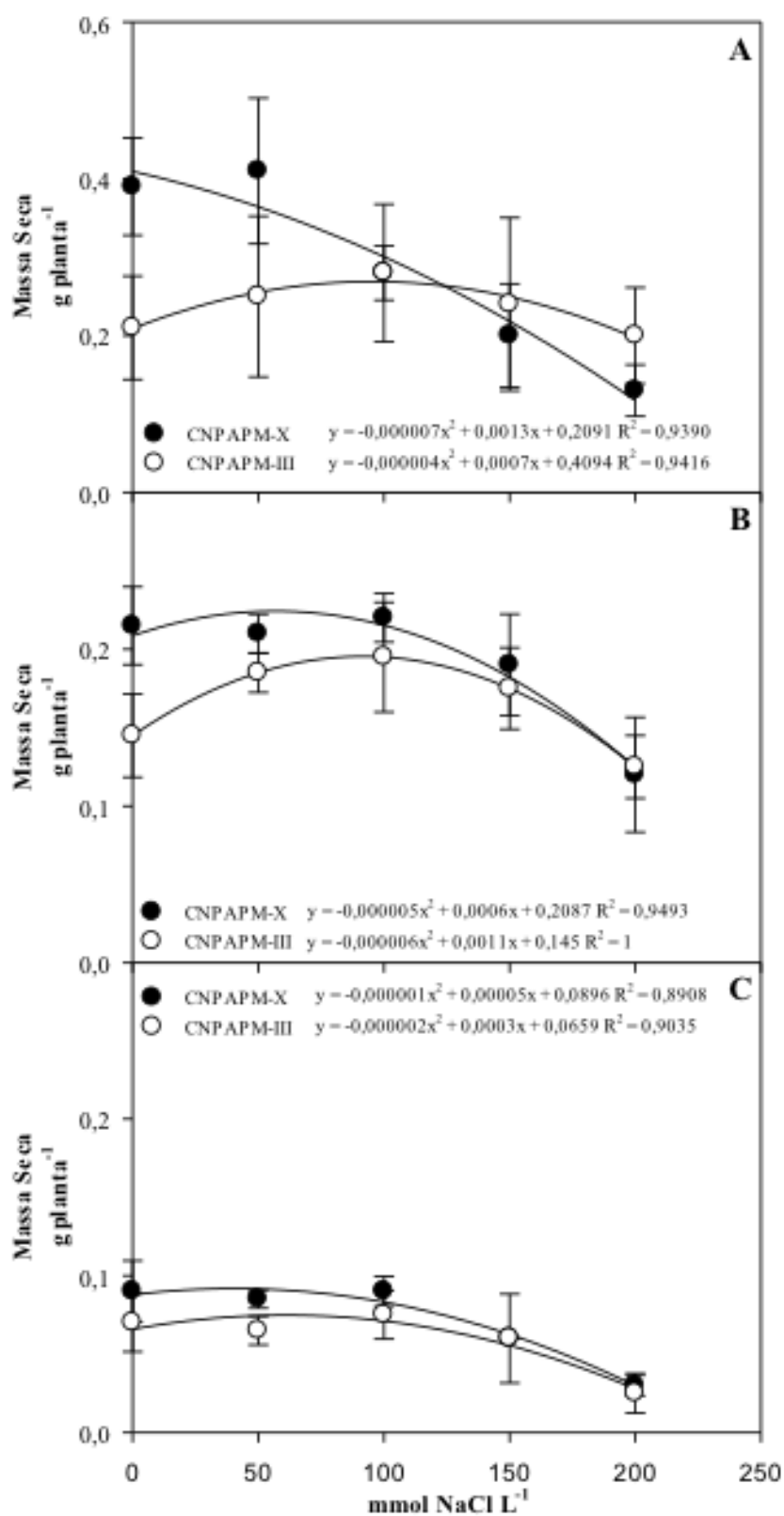


Figure 4 - Massa seca de folhas (A), caule (B) e raiz (C) de plântulas de *Jatropha curcas*, dos genótipos CNPAPM-X e CNPAPM-III, aos oito dias após semeadura (DAS), submetidas a cinco concentrações de NaCl (0; 50; 100; 150 e 200 mM) após o quarto DAS. $CV_A=29,30\%$; $CV_B=24,09\%$; $CV_C=22,0\%$.

Para corroborar o efeito direto da salinidade na compartimentalização de íons foram realizadas análises de Na^+ , K^+ e da relação K^+/Na^+ em folhas, caules e raízes de plântulas de *J. curcas*. A diminuição no teor de K^+ de folhas e caules pode estar relacionada com o aumento na concentração de Na^+ no meio externo, pois o aumento da salinidade compromete a absorção de K^+ , gerando uma deficiência deste íon o que causa distúrbios metabólicos resultantes da competição entre o Na^+ e o K^+ pelos sítios ativos das enzimas (Rodrigues *et al.*, 2012). Conforme o observado, em folhas e raízes houve acréscimo de 50% nos níveis de Na^+ até a dose de 200 mM de NaCl para o CNPAPM-III (Figuras 5A e C). Já no CNPAPM-X houve aumento do teor de Na^+ de 37,63% até a concentração de 50 mM, sendo que, a partir da mesma percebeu-se uma tendência de declínio do teor de Na^+ , embora não significativo. Em relação ao K^+ observou-se declínio significativo na acumulação desse íon (43,21% para CNPAPM-X; 64,82% para CNPAPM-III) em folhas do tratamento mais severo quando comparado com o controle. A redução na concentração de K^+ com o aumento das concentrações salinas também foi observada em *J. curcas* por Silva *et al.* (2009) e Cunha *et al.* (2013), em maracujazeiro amarelo (Cruz *et al.*, 2006), em jatobá (Nascimento *et al.*, 2015) e em faveleira (Oliveira *et al.*, 2012).

Em relação aos níveis de Na^+ e K^+ no caule (Figura 5B e E) observou-se que houve acréscimo nos níveis de Na^+ (31,0% para CNPAPM-X; 20,6% para CNPAPM-III) e declínio do conteúdo de K^+ no acesso CNPAPM-III (55,3%). Contudo, o acesso CNPAPM-X apresentou acréscimo de K^+ (14,0%) no tratamento 200 mM de NaCl em relação ao controle. Além disso, observou-se que CNPAPM-III teve 48,7% mais K^+ que CNPAPM-X na condição controle, sendo possível relacionar a maior capacidade de CNPAPM-III em acumular K^+ em condição controle, com a manutenção da MS ao longo do aumento da dose de sal.

Essas diversas diferenças de comportamento entre os acessos estudados evidenciam a diversidade da tolerância dentro da espécie. Também reforçam a hipótese de Silva *et al.* (2009) de que *J. curcas* é uma planta incluída fato que pode estar relacionado com a competição de Na^+ por K^+ , ao nível de membrana celular, durante o processo de absorção

e que podem ser também distintas entre diferentes outros tipos de acessos de *J. curcas*. Porém, é importante salientar que também ocorre um aumento da síntese de uma ampla variedade de proteínas em resposta ao stresse salino, as quais podem também atuar, principalmente na estabilização das membranas celulares e na sinalização de respostas a esse stresse (Tester e Davenport, 2003).

Nas raízes, os conteúdos de Na^+ e K^+ foram superiores aos demais órgãos (Figura 5C e F) observando um incremento de 22,7% no Na^+ para o CNPAPM-X e de 44,3% para o CNPAPM-III até a dose de 150 mM de NaCl. O K^+ no acesso CNPAPM-X apresentou decréscimo de 10,9%, enquanto que no acesso CNPAPM-III houve incremento de 5,9% relacionando a maior dosagem (em relação ao controle), demonstrando assim que o acesso CNPAPM-III, apesar da elevada absorção de Na^+ não sofreu prejuízos no acúmulo de K^+ nas raízes. Na maioria das espécies, a redução no conteúdo de K^+ causado pelo NaCl é muito mais intensa nas raízes do que nas folhas (Ferreira-Silva *et al.*, 2008), ao contrário do que se observou no presente estudo.

A relação K^+/Na^+ em todos os órgãos das plântulas tratadas com NaCl apresentou um decréscimo relativamente proporcional ao aumento da dose de sal, em relação ao controle (Figura 5G; H e I), principalmente nas folhas. De acordo com Taiz e Zeiger (2004), uma relação K^+/Na^+ menor que 1 e concentrações altas de sais totais aumentam a probabilidade de inativação enzimática e inibição da síntese proteica causadas pela toxicidade. Segundo esses autores, em termos de desordem nutricional um dos principais efeitos deletérios do íon sódio é o de deslocar o íon cálcio da membrana protoplasmática das células radiculares, com a consequente perda da seletividade iônica das raízes. A membrana protoplasmática, em condições normais, tem uma alta especificidade por K^+ , a qual é reduzida ou perdida devido ao deslocamento do íon Ca^{2+} , ocasionado pelo íon Na^+ .

A espécie *J. curcas* é uma planta caducifolia, pelo que os caules e raízes são tipicamente estruturas de reserva de nutrientes (Pacheco *et al.*, 2009). É, portanto, presumível que, no ambiente de crescimento das raízes, oferta de nutrientes acima daquela considerada fisiologicamente equilibrada sinalize menor necessidade de acumulação de

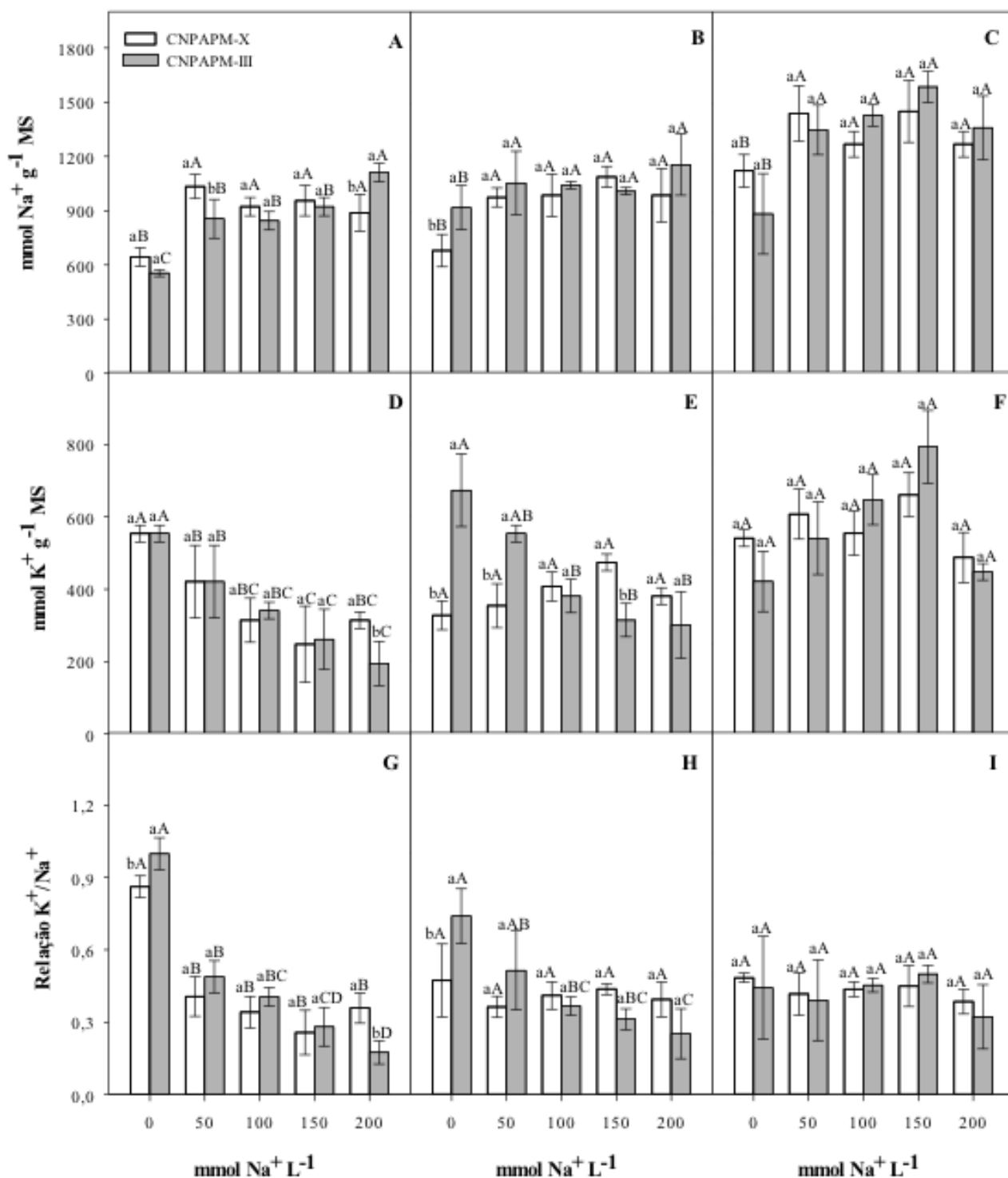


Figure 5 - Conteúdo de Na⁺ e K⁺ em folhas (A, D), caule (B; E) e raiz (C; F), e relação K⁺/Na⁺ em folhas (G), caule (H) e raiz (I) de mudas de *Jatropha curcas*, dos genótipos CNPAM-X e CNPAM-III, aos oito dias após semeadura (DAS) submetidas a cinco concentrações de NaCl (0; 50; 100; 150 e 200 mM) após o quarto DAS. As letras maiúsculas nas barras indicam as diferenças entre as doses de NaCl e as minúsculas indicam diferenças entre os genótipos testados pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). $CV_A=7,82\%$; $CV_B=8,76\%$; $CV_C=10,24\%$; $CV_D=19,07\%$; $CV_E=13,42\%$; $CV_F=12,45\%$; $CV_G=14,61\%$; $CV_H=21,97\%$; $CV_I=24,77\%$.

compostos de reservas para armazenamento nas estruturas caulinares e radiculares com reflexos no peso global de ambos os órgãos. Nesse âmbito, verificou-se que *J. curcas*, sob as condições experimentais impostas, pode ser classificada como espécie incluidora de iões. Além disso, ressalta-se que os teores de Na⁺ e K⁺, além da razão K⁺/Na⁺, corroboram as demais análises, considerando que na maioria dessas observações plantas tratadas

com 200 mM de NaCl eram estatisticamente semelhantes às plantas tratadas com 150 mM de NaCl.

Tomando os dados em conjunto é possível definir a dose severa e moderada a partir da média dos pontos de resposta máxima de todos os resultados (dose severa) e da média da dose severa (dose moderada) (Quadro 1).

Quadro 1 - Pontos de resposta máxima e média dos parâmetros avaliados. O ponto de máxima corresponde à dose severa e o ponto médio à dose moderada, recomendadas

Parâmetros	CNPAPM-X		CNPAPM-III	
	Severa (mM)	Moderada (mM)	Severa (mM)	Moderada (mM)
Taxa de germinação	100	50	200	100
Altura	200	100	200	100
Diâmetro do caule	200	100	200	100
MS Folhas	92,86	46,43	87,5	43,75
MS Caule	60	30	91,67	45,835
MS Raiz	25	12,5	75	37,5
Na ⁺ acúmulo em folha	50	25	200	100
Na ⁺ acúmulo em caule	50	25	50	25
Na ⁺ acúmulo em raiz	50	25	50	25
K ⁺ perda em folha	150	75	150	75
K ⁺ perda em caule	.*	-	100	50
K ⁺ perda em raiz	-	-	-	-
K ⁺ /Na ⁺ em folhas	50	25	200	100
K ⁺ /Na ⁺ em caule	-	-	200	100
K ⁺ /Na ⁺ em raiz	-	-	-	-
MÉDIA	93,44	46,72	138,78	69,39

*para esses valores não houve alterações significativas

Conforme observado no Quadro 1, as doses que incitam as respostas máximas variam drasticamente com o tipo de variável analisada e com o acesso. Além disso, é possível definir níveis distintos de tolerância à salinidade entre os dois acessos. Para o acesso CNPAPM-X a média de resposta máxima foi de 93,44 mM, enquanto que para o acesso CNPAPM-III foi de 138,78 mM. Observou-se também que o tempo de exposição ao tratamento influenciou no resultado, sugerindo que a resposta aos tratamentos pode também ser dependente da duração da aplicação do tratamento.

Todavia, é possível sugerir, com base na análise dos dois acessos distintos, que para *J. curcas* a dose severa de NaCl é 116,11 mM, com base na média dos valores de resposta máxima dos dois acessos (CNPAPM-X e CNPAPM-III). Por conseguinte, a dose moderada é 58,06 mM. No entanto, com foco na simplificação e tendo uma alta variabilidade de resultado dependente do parâmetro avaliado e do acesso de *J. curcas* adotado, sugere-se as doses de 100 e 50 mM de NaCl como doses severa e moderada para experimentos utilizando *J. curcas* até oito DAS como modelo.

CONCLUSÕES

Nas condições experimentais testadas os acessos apresentaram distintos mecanismos de resposta aos stresses salinos impostos. O acesso CNPAPM-X foi evidenciado como o mais tolerante à condição de alta salinidade, enquanto o CNPAPM-III foi mais tolerante a condições de salinidade moderada. É possível que as diferenças entre as estratégias de absorção mobilização de K⁺ sob stress salino sejam cruciais para a distinção entre esses dois acessos. Obtiveram-se como dose severa e moderada, padronizadas para ensaios de stress salino em *J. curcas* com até oito dias após a sementeira, as doses de 100 e 50 mM, respectivamente.

Evidências do envolvimento do K⁺ na distinção fisiológica da resposta ao stress salino nesses dois acessos ainda devem ser estudadas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade Estadual da Paraíba pelo apoio infra-estrutural para a realização deste trabalho, à Embrapa Algodão por ceder o material vegetal e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de Lira, E.H.A. e pelo financiamento da pesquisa (Edital 18/2011, proj. no. 141/11).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Araújo, J.L.O. (2013) – *Mobilização de reservas durante o crescimento pós-germinativo em girassol sob estresse salino e osmótico aplicados de forma isolada e combinada*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró, 73 p.
- Arruda, F.P. Beltrão, N.E.M.; Andrade, A.P.; Pereira, W.E. & Severino, L.S. (2004) – Cultivo de pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) como alternativa para o semiárido nordestino. *Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas*, vol. 8, n. 1, p. 789-799.
- Ashley, M.K.; Grant, M. & Grabov, A. (2006) – Plant responses to potassium deficiencies: A role for potassium transport proteins. *Journal of Experimental Botany*, vol. 57, n. 2, p. 425-436. <http://dx.doi.org/10.1093/jxb/erj034>
- Barros, A.C. & Arthur, V. (2005) – Determinação experimental da dose de redução do crescimento (GR₅₀) e da dose letal (LD₅₀) de soja irradiada por raios gama. *Revista Arquivos do Instituto Biológico*, vol. 72, n. 2, p. 249-253.
- Bernardes, R.S.A. (2010) – *Aspectos fisiológicos e bioquímicos da germinação de sementes de açaí (Euterpe oleracea Mart. e Euterpe precatoria Mart.) submetidas ao aumento de temperatura*. Dissertação de Mestrado. Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia, Manaus, 54 p.
- Borges, E.E.L. (2003) – *Comportamento bioquímico e fisiológico de sementes florestais nativas durante a embebição*. Tese de Doutorado. São Carlos, Universidade Federal de São Carlos, 100 p.
- Buckeridge, M.S.; Aidar, M.P.M.; Santos, H.P. & Tiné, M.A.S. (2004) – Mobilização de reservas. In Ferreira, A.G. & Borghetti, F. (Org.) – *Germinação do básico ao aplicado*. Porto Alegre, Artmed, p. 163-188.
- Calvet, A.S.F.; Pinto, C.M.; Lima, R.E.M.; Maia-Joca, R.P.M. & Bezerra, M. A. (2013) – Crescimento e acúmulo de solutos em feijão-caupi Irrigado com águas de salinidade crescente em diferentes fases de desenvolvimento. *Revista Irriga*, vol. 18, n. 1, p. 148-159.
- Cruz, J.L.; Pelacani, C.R.; Coelho, E.F.; Caldas, R.C.; Almeida, A.Q. & Queiroz, J.R. (2006) – Influência da salinidade sobre o crescimento, absorção e distribuição de sódio, cloro e macronutrientes em plântulas de maracujazeiro-amarelo. *Revista Bragantia*, vol. 65, n. 2, p. 275-284. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052006000200009>
- Cunha, P.C.; Mendes, B.S.S.; Oliveira Filho, R.A.; Camara, T. R. & Willadino, L. G. (2013) – Crescimento, síntese de solutos orgânicos e equilíbrio iônico de plântulas de pinhão-manso sob estresse salino. *Revista Caatinga*, vol. 26, n. 3, p. 46-52.
- Drumond, M.A.; Santos, C.A.F.; Oliveira, V.R.; Martins, J.C.; Anjos, J.B. & Evangelista, M. R. V. (2010) – Desempenho agrônomico de acessos de pinhão manso no semiárido pernambucano. *Ciência Rural*, vol. 40, n. 1, p. 44-47. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782009005000229>

- EMBRAPA. (2010) – *Pinhão Manso: Matéria-prima potencial para produção de biodiesel no Brasil*. [cit. 2016-04-10]. <http://www.grupocultivar.com.br/artigos/pinhao-manso-materia-prima-potencial-para-producao-de-biodiesel-no-brasil>
- Ferreira-Silva, S.L.; Silveira, J.A.G.; Voigt, E.L.; Soares, L.S.P. & Viégas, R.A. (2008) – Changes in physiological indicators associated with salt tolerance in two contrasting cashew rootstocks. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, vol. 20, n. 1, p. 51-59. <http://dx.doi.org/10.1590/S1677-04202008000100006>
- Flowers, T.J. (2004) – Improving crop salt tolerance. *Journal of Experimental Botany*, vol. 55, n. 396, p. 307-319. <http://dx.doi.org/10.1093/jxb/erh003>
- Larcher, W. (2004) – *Ecofisiologia Vegetal*. Rima, São Carlos, 531 p.
- Larré, C.F.; Moraes, D.M. & Lopes, N.F. (2011) – Qualidade fisiológica de sementes de arroz tratadas com solução salina e 24-epibrassinolídeo. *Revista Brasileira de Sementes*, vol. 33, n. 1, p. 86-94. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-31222011000100010>
- Lima, G.S.; Nobre, R.G.; Gheyi, H.R.; Soares, L.A.A. & Silva, S.S. (2014) – Respostas morfofisiológicas da mamoneira, em função da salinidade da água de irrigação e adubação nitrogenada. *Revista Irriga*, vol. 19, n. 1, p. 130-136.
- Maia, J.T.L.S.; Bonfim, F.P.G.; Guanabens, R.E.M.; Trentin, R.; Martinez, H.E.P.; Pereira, P.R.G. & Fontes, P.C.R. (2014) – Omissão de nutrientes em plantas de pinhão-manso cultivadas em solução nutritiva. *Revista Ceres*, vol. 61, n. 5, p. 723-731. <http://dx.doi.org/10.1590/0034-737X201461050016>
- Malavolta, E.; Vitti, G.C. & Oliveira, A. S. (1989) – *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, Piracicaba, 201 p.
- Martins, C.C.; Machado, C.G. & Cavasini, R. (2008) – Temperatura e substrato para o teste de germinação de sementes de pinhão manso. *Ciência e Agrotecnologia*, vol. 32, n. 3, p. 863-868. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542008000300024>
- Marques, E.C.; Freitas, V.S.; Bezerra, M. A.; Prisco, J.T. & Gomes-Filho, E. (2011) – Efeitos do estresse salino na germinação, emergência e estabelecimento da plântula de cajueiro anão precoce. *Revista Ciência Agronômica*, vol. 42, n. 4, p. 993-999. <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-66902011000400023>
- Masetto, T.E.; Scalon, S.P.Q.; Rezende, R.K.S.; Oba, G.C.; Gambatti, M.G. & Patrício, V. S. (2014) – Germinação de sementes de *Dimorphandra mollis* Benth.: efeito de salinidade e condicionamento osmótico. *Revista Brasileira de Biociências*, vol. 12, n. 3, p. 127-131.
- Matos, F.S.; Rocha, E.C.; Cruvinel, C.K.L.; Ribeiro, R.A.; Ribeiro, R.P. & Tinoco, C.F. (2013) – Desenvolvimento de mudas de pinhão-manso irrigadas com água salina. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, vol. 37, n. 4, p. 947-954. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832013000400012>
- Matsumoto, H.; Yeasmin, R.; Kalemelawa, F.; Watanabe, T.; Aranami, M. & Nishihara, E. (2014) – Evaluation of NaCl tolerance in the physical reduction of *Jatropha Curcus* L. seedlings. *Agricultural Science*, vol. 2, n. 3, p. 23-35. <http://dx.doi.org/10.12735/as.v2i3p23>
- Miragaya, J.C.G. (2005) – Biodiesel: tendências no mundo e no Brasil. *Informe Agropecuário*, vol. 26, n. 229, p. 7-13.
- Munns, R. & Tester, M. (2008) – Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, vol. 59, p. 651-681. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911>
- Nascimento, H.H.C.; Santos, C.A.; Freire, C.S.; Silva, M.A. & Nogueira, R.J.M.C. (2015) – Ajustamento osmótico em mudas de jatobá submetidas à salinidade em meio hidropônico. *Revista Árvore*, vol. 39, n. 4, p. 641-653. <http://dx.doi.org/10.1590/0100-67622015000400006>
- Oliveira, E.L.; Faria, M.A.; Evangelista, A.W.P. & Melo, P. C. (2012) – Resposta do pinhão-manso à aplicação de níveis de irrigação e doses de adubação potássica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 16, n. 3, p. 593-598. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662012000600001>
- Oliveira, I.R.S.; Oliveira, F.N.; Medeiros, M.A.; Torres, S.B. & Teixeira, F. J. V. (2010) – Crescimento inicial do pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) em função da salinidade da água de irrigação. *Revista Caatinga*, vol. 23, n. 4, p. 40-45.
- Pacheco, D.D.; Saturnino, H.M.; Mendes, L.D.; Prates, F.B.S.; Soares, F. R.; Paula, T.O.M. & Souza, L.C.A. (2009) – Produção de massa vegetal e composição mineral de plantas de pinhão-manso. In *I Congresso Brasileiro de Pesquisa em Pinhão-manso*, Brasília.

- Pascuali, L.C.; Silva, F.S.; Porto, A.G.; Silva Filho, A. & Meneghelo, G. E. (2012) – Germinação de sementes de pinhão manso em diferentes temperaturas, luz e substratos. *Semina: Ciências Agrárias*, vol. 33, n. 4, p. 1435-1440. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2012v33n4p1435>
- Pimenta, A.C.; Zuffellato-Ribas, K.C. & Laviola, B. G. (2014) – Morfologia de frutos, sementes e plântulas de *Jatropha curcas*. *Revista Floresta*, vol. 44, n. 1, p. 73-80. <http://dx.doi.org/10.5380/rev.v44i1.30878>
- Pimentel, C. (2004) – *A relação da planta com a água*. Seropédica, Edur, 191 p.
- Rodrigues, C.R.F.; Silveira, J.A.G.; Silva, E.N.; Dutra, A.T.B. & Viégas, R. A. (2012) – Transporte e distribuição de potássio atenuam os efeitos tóxicos do sódio em plantas jovens de Pinhão-Manso. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, vol. 36, n. 1, p. 223-232. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832012000100023>
- Rodrigues, C.R.F.; Souza, R.H.V.; Lima, C.S.; Silveira, J.A.G. & Viégas, R.A. (2009) – Particionamento de K⁺ em plantas jovens de *Jatropha curcas* L. sob estresses combinados de salinidade e temperatura elevada. In *I Congresso Brasileiro de Pesquisa em Pinhão-manso*, Brasília.
- Silva, E.M.; Soares, J.A.; Pereira Filho, R.R.; Sousa Junior, J.R. & Nobre, R. G. (2012) Emergência e crescimento inicial de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) cultivado sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação. *Revista Verde*, vol. 7, n. 4, p. 44-50.
- Silva, E.N.; Silveira, J.A.; Fernandes, C.R.R.; Dutra, A.T.B.; ARAGÃO, R.M. (2009) – Acúmulo de íons e crescimento de pinhão-manso sob diferentes níveis de salinidade. *Revista Ciência Agronômica*, vol. 40, n. 2, p. 240-246.
- Singh, R.A.; Kumar, M. & Haider, E. (2007) – Synergistic cropping of summer groundnut with *Jatropha curcas* – A new two-tier cropping system for Uttar Pradesh. *Journal of SAT Agricultural Research*, vol. 5, p. 1-2.
- Souza, Y.A.; Pereira, A.L.; Silva, F.F.S.; Reis, R.C.R.; Evangelista, M.R.V.; Castro, R.D. & Dantas, B.F. (2010) – Efeito da salinidade na germinação de sementes e no crescimento inicial de mudas de pinhão-manso. *Revista Brasileira de Sementes*, vol. 32 n. 2, p. 83-92. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-31222010000200010>
- Taiz, L. & Zeiger, E. (2004) – *Fisiologia vegetal*. 3.^a ed. Artmed, Porto Alegre, 613 p.
- Tester, M. & Davenport, R. (2003) – Na⁺ tolerance and Na⁺ transport in higher plants. *Annals of Botany*, vol. 91, n. 5, p. 503-527. <http://dx.doi.org/10.1093/aob/mcg058>