

# Cinética de absorção de $K^+$ na ausência e presença de $Na^+$ em raízes de cajueiro<sup>1</sup>

Kinetics of  $K^+$  absorption in the absence and presence of  $Na^+$  in roots cashew tree

Francisco Abel Lemos Alves<sup>2</sup>, Sérgio Luiz Ferreira-Silva<sup>3</sup>, Antônia Tathiana Batista Dutra Araújo<sup>3</sup>, Vanda Lúcia Arcanjo Pereira<sup>4</sup> e Joaquim Albenísio Gomes da Silveira<sup>3\*</sup>

**RESUMO** - Um dos efeitos da salinidade causado por excesso de  $Na^+$  nos solos é a redução dos níveis de  $K^+$  nos tecidos vegetais. O trabalho objetivou caracterizar as vias de absorção de  $K^+$  de alta e baixa afinidade em raízes de cajueiro na ausência e presença de concentrações de  $Na^+$ . Os estudos de cinética de absorção de  $K^+$  na ausência e presença de NaCl foram realizados com raízes destacadas de plântulas de cajueiro cultivadas sob privação de  $K^+$ . O excesso de  $Na^+$  no meio externo causou redução da absorção de  $K^+$  pelos sistemas de alta e de baixa afinidade. A redução da absorção de  $K^+$ , causada pelo excesso de  $Na^+$  no meio, nas raízes de cajueiro ocorre por mecanismo competitivo. Esse tipo de competição foi evidenciado pelo aumento dos valores de  $K_m$  para a absorção de  $K^+$  induzido pelo  $Na^+$  externo, sem alterar os valores de  $V_{max}$ . Os resultados mostram que a salinidade pode comprometer a aquisição e a utilização de  $K^+$  em plantas de cajueiro.

**Palavras-chave:** Cajú. Plantas-efeito do sal. Plantas-efeito do potássio.

**ABSTRACT** - One effect of the salinity caused by an excess of  $Na^+$  in soils, is the reduction in levels of  $K^+$  in plant tissue. The study aimed to characterize the process of high and low-affinity absorption of  $K^+$  in cashew roots, in both the absence and presence of concentrations of  $Na^+$ . Studies of the kinetics of  $K^+$  absorption in the absence and presence of NaCl were carried out using detached roots from cashew seedlings grown under  $K^+$  deprivation. The excess of  $Na^+$  in the external environment caused a reduction in  $K^+$  absorption by both the high and low-affinity systems. The reduction in the absorption of  $K^+$  in the roots of the cashew tree, caused by the excess  $Na^+$  in the environment, happens through competitive means. This type of competition was evidenced by the increase in  $K_m$  values for the  $K^+$  absorption induced by the external  $Na^+$ , without changing the values of  $V_{max}$ . The results show that salinity may affect the acquisition and use of  $K^+$  in cashew plants.

**Key words:** Cashew. Plants-effect of salt. Plants-effect of potassium.

\* Autor para correspondência

<sup>1</sup>Recebido para publicação em 02/10/2010; aprovado em 13/01/2012

Parte da Dissertação de Mestrado do primeiro autor, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Bioquímica, CC/UFC

<sup>2</sup>Instituto Agronômico de Pernambuco-IPA, Escritório Municipal de Pedra, Rua Major Lourenço Diniz, 111, Centro, Pedra-PE, Brasil, 55.280-000, abel.alves@ipa.br

<sup>3</sup>Laboratório de Metabolismo do Estresse em Plantas, Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular, Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE, Brasil, agrosergol@yahoo.com.br; tathianadutra@yahoo.com.br; silveira@ufc.br

<sup>4</sup>Instituto Agronômico de Pernambuco-IPA, Estação Experimental de Arcoverde, Arcoverde-PE, Brasil, vanda.arcanjo@ipa.br

## INTRODUÇÃO

A salinidade dos solos é um dos principais fatores ambientais que limita a produtividade agrícola. O aumento do conteúdo de  $\text{Na}^+$  no tecido foliar pode afetar processos fisiológicos e bioquímicos dependentes de  $\text{K}^+$ , como a abertura estomática, a fotossíntese, a respiração e a síntese de proteínas, devido à similaridade físico-química entre esses dois íons (APSE; BLUMWALD, 2007). Esses distúrbios são reflexos da toxicidade iônica e estão associados com alterações nas proporções de nutrientes no tecido, principalmente na razão  $\text{K}^+/\text{Na}^+$ , que afetam a homeostase iônica celular (ZHU, 2003).

Além de causar toxicidade iônica, concentrações elevadas de  $\text{Na}^+$  no meio de crescimento podem restringir a absorção de  $\text{K}^+$  pelo sistema radicular (FERREIRA-SILVA *et al.*, 2008), comprometendo as funções metabólicas desse nutriente (AMORIM *et al.*, 2010). A restrição da absorção de  $\text{K}^+$  em raízes sob salinidade está relacionada aos sistemas de transporte de  $\text{K}^+$  na plasmalema (MARTINEZ-CORDERO; MARTINEZ; RUBIO, 2005). O influxo de  $\text{K}^+$  nas células ocorre por dois sistemas específicos, denominados de alta e de baixa afinidade (MAATHUIS; SANDERS, 1994). O sistema de baixa afinidade é responsável pela absorção de  $\text{K}^+$  em meios em que a concentração de  $\text{K}^+$  é relativamente elevada (faixas de mM), enquanto que o de alta afinidade é responsável pela absorção em baixas concentrações (faixa de  $\mu\text{M}$ ) de potássio (EPSTEIN; RAINS; ELZAM, 1963).

Por sua vez, o influxo do  $\text{Na}^+$  na célula ocorre principalmente por canais de cátions não seletivos (TESTER; DAVENPORT, 2003), mas pode competir pelos sistemas de absorção de  $\text{K}^+$ , principalmente com aquele de alta afinidade (MÁSER *et al.*, 2002; ZHU, 2003). O influxo de  $\text{Na}^+$  pelo sistema de alta afinidade para a absorção de  $\text{K}^+$  ocorre devido à similaridade do raio iônico desses dois cátions (ZHU, 2003), e representa uma das bases da toxicidade iônica da salinidade para as plantas (MAATHUIS; AMTMANN, 1999). Embora o sistema de alta afinidade possua uma maior seletividade  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  durante a absorção, em meios com concentração elevada de  $\text{Na}^+$  essa via pode permitir significativo influxo de  $\text{Na}^+$  (ZHU, 2003).

Sob condições fisiológicas normais, a concentração citosólica de  $\text{K}^+$  na célula vegetal é de cerca de 150 mM (HIGINBOTHAM, 1973), enquanto a concentração de  $\text{Na}^+$  é relativamente baixa (1–10 mM) (CARDEN *et al.*, 2003). No entanto, a acumulação excessiva de  $\text{Na}^+$  no citosol (ZHU, 2000) pode levar à redução significativa da relação  $\text{K}^+/\text{Na}^+$ , o que está diretamente associada com a sensibilidade ao estresse

(DASGAN *et al.*, 2002). A perda de  $\text{K}^+$  celular induzida pela salinidade é resultado de uma despolarização da membrana e ativação de canais associados com o efluxo de  $\text{K}^+$  da célula (SHABALA *et al.*, 2003).

O conteúdo de  $\text{K}^+$  em raízes de plântulas de cajueiro é severamente reduzido sob condições de salinidade, o que ocorre associado a uma forte restrição do crescimento desse órgão (PONTE *et al.*, 2011). Essa restrição de crescimento da raiz imposta pelo estresse salino também está associado com aumento da relação  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ , indicando desbalanço nutricional (PONTE *et al.*, 2011). Nesse sentido, o presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito da salinidade, induzida por NaCl, nas vias de absorção de baixa e de alta afinidade de potássio em raízes de cajueiro.

## MATERIAL E MÉTODOS

As plântulas de cajueiro foram obtidas em casa de vegetação do Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE. No interior da casa de vegetação, a temperatura variou de 28 a 36 °C durante o dia, e de 24 a 27 °C durante a noite, e a umidade relativa do ar variou de 40 a 80%. A radiação fotossintética ativa máxima foi de aproximadamente 1.200  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , mensurada com um “*quantum sensor*” acoplado a um porômetro (LI-1600 steady state porometer, Li-Cor, USA).

Sementes de cajueiro anão-precoce (*Anacardium occidentale* L.), clone CCP 06, foram desinfetadas em solução de hipoclorito de sódio comercial a 10% (v/v) durante 10 minutos, seguido de lavagem com água destilada para remover os resíduos do esterilizante. Após a lavagem, as sementes foram embebidas em água destilada por 24 horas e em seguida foram semeadas em vermiculita, em vasos de 800 mL, e irrigadas diariamente com água destilada por 30 dias. Para os ensaios de cinética de absorção de  $\text{K}^+$  as plântulas foram pré-expostas por 15 dias à solução nutritiva com restrição de  $\text{K}^+$ . Essa estratégia foi utilizada visando aumentar a capacidade de absorção de  $\text{K}^+$  pelas raízes durante os ensaios de curto tempo (100 minutos).

Aos 30 dias após o plantio, plântulas homogêneas (com oito folhas expandidas) foram transferidas para sistema de crescimento hidropônico, em vasos de 900 mL, contendo solução nutritiva sem potássio, com a seguinte composição:  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  750  $\mu\text{M}$ ;  $\text{NH}_4\text{Cl}$  250  $\mu\text{M}$ ;  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  62,5  $\mu\text{M}$ ;  $\text{MgSO}_4$  125  $\mu\text{M}$ ;  $\text{H}_3\text{BO}_3$  10  $\mu\text{M}$ ;  $\text{MnCl}_2$  2,25  $\mu\text{M}$ ;  $\text{CuSO}_4$  0,75  $\mu\text{M}$ ;  $\text{ZnMoO}_4$  1,75  $\mu\text{M}$ ;  $\text{Na}_2\text{MoO}_4$  0,025  $\mu\text{M}$  e Fe-EDTA 25  $\mu\text{M}$ , com pH 6,0. O volume da solução foi completado diariamente com água destilada ao final

da tarde, e a solução foi trocada a cada cinco dias. As plântulas permaneceram por 15 dias sob essas condições de cultivo e não apresentaram nenhum sintoma visível de deficiência de K<sup>+</sup> durante esse período.

Os experimentos de cinética para a absorção de K<sup>+</sup>, na ausência e presença de NaCl, foram realizados utilizando raízes isoladas (destacas) das plântulas. Para esses ensaios, as raízes foram destacadas das plântulas e imediatamente imersas em solução de CaCl<sub>2</sub> 1,5 mM, em temperatura ambiente durante 20 minutos. Em seguida, as raízes foram transferidas para Balão de Erlenmeyer de 250 mL contendo 100 mL de solução de CaCl<sub>2</sub> 1,5 mM, contendo diferentes concentrações de NaCl e KCl, conforme ensaios descritos abaixo. Todos os ensaios foram realizados em banho-maria à temperatura de 30 °C, e os meios líquidos utilizados nos ensaios foram tamponados com tampão MES 1,0 mM e TRIS 0,5 mM em pH 6,0. As concentrações de K<sup>+</sup> foram determinadas em fotômetro de chama e estimadas utilizando curva padrão de KCl. Os dados de absorção foram utilizados para estimar as constantes cinéticas V<sub>máx</sub> e K<sub>m</sub> pelo modelo de Michaelis-Menten, seguido da transformação linear pelo método de Lineweaver-Burk (gráfico duplo recíproco, pela relação entre 1/[K<sup>+</sup>] do meio *versus* 1/absorção de K<sup>+</sup>).

Foram realizados cinco ensaios para caracterizar a absorção de K<sup>+</sup> na ausência e presença de Na<sup>+</sup>, usando KCl (fonte de K<sup>+</sup>) e NaCl (fonte de Na<sup>+</sup>). A redução da concentração de K<sup>+</sup> nos meios de incubação foi monitorada em cada ensaio pela medida da concentração de K<sup>+</sup> em alíquotas retiradas dos meios de incubação. Os dados foram utilizados para caracterizar o padrão cinético de absorção de K<sup>+</sup> pelas raízes nos diferentes ensaios. No primeiro ensaio foi avaliada a capacidade de absorção de K<sup>+</sup> pelas raízes, pela incubação da raiz ( $\pm$  3,0 g de massa fresca) em meio contendo K<sup>+</sup> 100  $\mu$ M por 100 minutos. No segundo ensaio foi avaliada a cinética de absorção de K<sup>+</sup> em concentrações na faixa de absorção do sistema de alta afinidade. As raízes foram incubadas em concentrações crescente de K<sup>+</sup> (0; 10; 20; 30; 40; 50  $\mu$ M de KCl), faixa de alta afinidade, por 60 minutos.

No terceiro ensaio as raízes foram expostas a concentrações crescentes de K<sup>+</sup> (0; 100; 200; 400; 600; 800; 1000  $\mu$ M de KCl) na ausência e presença de NaCl, dentro da faixa de absorção de alta afinidade, por 60 minutos. No quarto ensaio foi avaliado o efeito do K<sup>+</sup> do meio na redução de absorção de Na<sup>+</sup>, pela incubação das raízes em concentrações crescentes de NaCl (0; 25; 50; 75; 100 mM) na presença de KCl 100  $\mu$ M, por 100 minutos. No quinto ensaio foi avaliada a restrição induzida pelo Na<sup>+</sup> na absorção de K<sup>+</sup> nas raízes na faixa de absorção de baixa afinidade por K<sup>+</sup>. As raízes foram submetidas a níveis crescentes de K<sup>+</sup> (0; 2; 4; 6; 8 e 10

mM de KCl), faixa de baixa afinidade, na ausência e presença de NaCl 100 mM por 60 minutos.

Os cinco ensaios foram realizados em delineamento inteiramente casualizado com três repetições por tratamento, com cada repetição representada pelo meio de incubação contendo uma raiz ( $\pm$  3,0 g de massa fresca planta<sup>-1</sup>). Os resultados foram analisados estatisticamente com base na análise de tendência das médias, através de curvas ajustadas por regressão polinomial, e a análise de variância pelo teste de Durbin-Watson em 1% de significância. O desenho experimental de cada ensaio foi realizado conforme descrição a seguir.

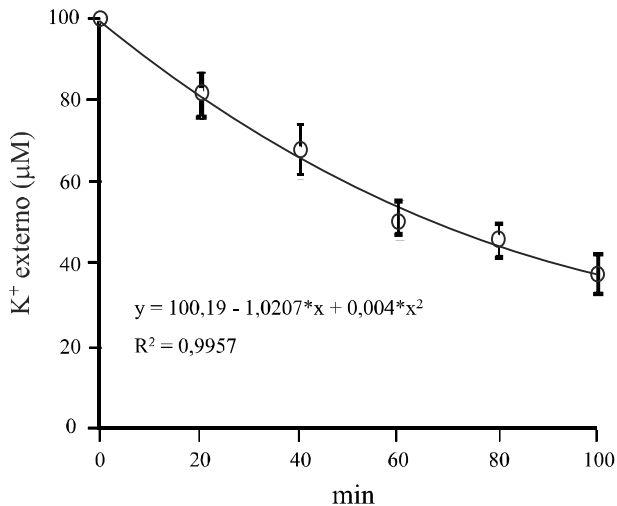
No primeiro ensaio os tratamentos consistiram de seis tempos de incubação em KCl 100  $\mu$ M (seis tratamentos). No segundo ensaio as raízes foram incubadas em 0; 10; 20; 30; 40; 50  $\mu$ M de KCl (seis tratamentos). O terceiro ensaio foi realizado em fatorial 2 x 7, dois níveis de NaCl (0 e 100 mM) e sete níveis de KCl (0; 100; 200; 400; 600; 800 e 1.000  $\mu$ M), com quatorze tratamentos. No quarto ensaio, os tratamentos consistiram de um nível de KCl (100  $\mu$ M) e cinco de NaCl (0, 25; 50; 75; 100 mM), com cinco tratamentos, e o quinto ensaio foi em fatorial 2 x 6, dois níveis de NaCl (0 e 100 mM) e seis níveis de KCl (0; 2; 4; 6; 8 e 10 mM), com doze tratamentos.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As raízes destacadas de plântulas de cajueiro, cultivadas sob privação de potássio, apresentaram significativa absorção de K<sup>+</sup> do meio de incubação, promovendo uma redução de 60% da concentração inicial (100  $\mu$ M) em apenas 100 minutos (Figura 1). A quantidade de K<sup>+</sup> absorvida pelo tecido radicular nesse intervalo de tempo aumentou progressivamente e atingiu valores máximos de 19  $\mu$ mol g<sup>-1</sup> MS a partir dos 80 minutos (Figura 5). Resultados similares foram obtidos com raízes de plantas de cevada (SANTA-MARÍA; DANNA, CZIBENER, 2000), de trigo (SANTA-MARÍA; EPSTEIN, 2001), de arroz (BAÑUELOS *et al.*, 2002), de pimenta (MARTÍNEZ-CORDERO; MARTINEZ; RUBIO, 2005), de tomate (NIEVES-CORDONES *et al.*, 2007), de eucalipto (LIMA *et al.*, 2005), de milho (HORN *et al.*, 2006) e feijão Caupi (VOIGT, 2008), onde as mesmas foram capazes de absorver significativas quantidades de K<sup>+</sup> do meio externo.

Esse ensaio de absorção utilizando uma concentração de K<sup>+</sup> na faixa de absorção de alta afinidade (100  $\mu$ M) demonstra a atividade desse sistema

**Figura 1** - Redução da concentração de  $K^+$  no meio de incubação devido à absorção pelas raízes isoladas em diferentes tempos de incubação durante 100 minutos. A concentração inicial de  $K^+$  no meio de incubação foi de  $100 \mu M$  e a redução de concentração durante o ensaio foi obtida por medidas da concentração  $K^+$  em alíquotas coletadas a cada 20 minutos. Os dados representam médias de três repetições. \* Coeficientes significativos a 1



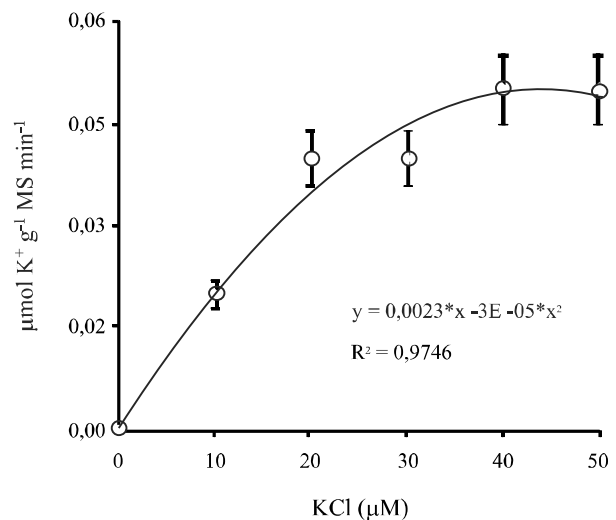
para o influxo de  $K^+$ , e mostra que as raízes destacadas representam um bom modelo para o estudo de absorção de  $K^+$ . Os dois ensaios de absorção utilizando duas faixas de concentração externa de  $K^+$  correspondentes a absorção de alta afinidade, uma com concentrações entre 0 e  $50 \mu M$  e outra variando de 0 a  $1.000 \mu M$  na ausência e presença de NaCl, foram utilizados para estimar as constantes cinéticas  $V_{m\acute{a}x}$  e  $K_m$  (Figura 2 e 3). Os valores de  $V_{m\acute{a}x}$  e  $K_m$  calculados na ausência do NaCl pelo modelo Michaelis-Menten foram de  $0,093 \mu mol g^{-1} MS min^{-1}$  e  $35 \mu M$ , faixa de 0 a  $50 \mu M$ , e de  $0,87 \mu mol g^{-1} MS min^{-1}$  e  $583 \mu M$ , faixa de 0 a  $1.000 \mu M$ , respectivamente (Tabela 1).

Na presença do NaCl  $100 mM$  no meio de incubação, a cinética de absorção de  $K^+$  pelas raízes na faixa de concentração de  $K^+$  entre 0 e  $1.000 \mu M$  revelou uma interferência do  $Na^+$  na absorção do  $K^+$  (Figura 3). A adição do  $Na^+$  no meio não causou mudanças na  $V_{m\acute{a}x}$  para a absorção de  $K^+$ , porém provocou um aumento de  $K_m$  de  $583 \mu M$  para  $774 \mu M$ , acréscimo de 32% (Tabela 1). Em seguida, a análise cinética da absorção de  $K^+$  na faixa de concentrações de  $K^+$  correspondente à baixa afinidade revelou que o excesso de  $Na^+$  no meio também afetou esse sistema de transporte. O aumento do conteúdo de  $K^+$  no tecido da raiz foi proporcional ao aumento da concentração de  $K^+$  no meio externo, na ausência e presença do NaCl (Figura 4). No entanto, na ausência do NaCl foi observado um acúmulo máximo

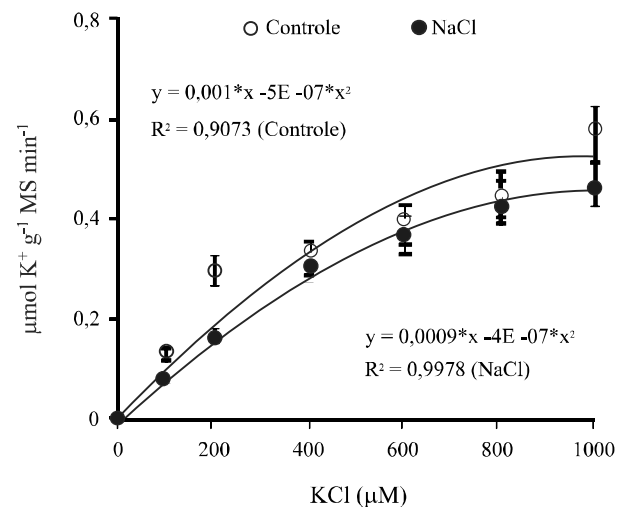
de  $1,7 \mu mol K^+ g^{-1} MS$  após 60 minutos de incubação na presença de KCl  $10 mM$ , enquanto na presença do NaCl  $100 mM$  esse conteúdo foi de apenas  $1,0 \mu mol K^+ g^{-1} MS$ , redução de 41% (Figura 4).

Os resultados obtidos demonstram claramente que a presença de NaCl no meio de crescimento pode

**Figura 2** - Absorção de  $K^+$  (influxo líquido) por raízes isoladas de cajueiro em resposta ao aumento da concentração de  $K^+$  no meio externo dentro de uma faixa correspondente ao sistema de absorção de alta afinidade para  $K^+$  (0- $50 \mu M$ ). Os dados representam médias de três repetições. \* Coeficientes significativos a 1%



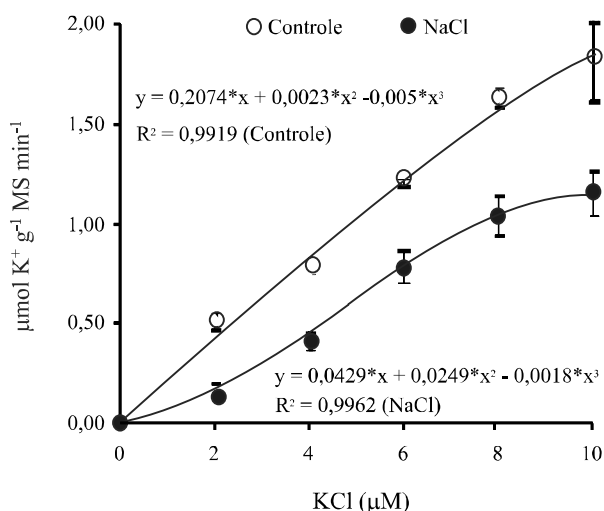
**Figura 3** - Efeito da concentração externa de  $K^+$  sobre o influxo líquido de  $K^+$ , na faixa de alta afinidade de absorção, na ausência e presença de NaCl, em raízes de plântulas de cajueiro, cultivadas sob privação de  $K^+$ . \* Coeficientes significativos a 1%



**Tabela 1** - Valores médios de K<sub>m</sub> e V<sub>máx</sub> estimados para a absorção de K<sup>+</sup> via sistemas de alta e de baixa afinidade para raízes isoladas de plântulas cajueiro, na ausência e presença de NaCl. As raízes utilizadas nos ensaios foram destacadas de plântulas pré-cultivadas sob privação de potássio durante 15 dias

KCl (Faixa)	NaCl (mM)	V <sub>máx</sub>	K <sub>m</sub>
0-50 μM	0	0,093 μmol g <sup>-1</sup> MS min <sup>-1</sup>	35 μM
0-1000 μM	0	0,87 μmol g <sup>-1</sup> MS min <sup>-1</sup>	583 μM
0-1000 μM	100	0,84 μmol g <sup>-1</sup> MS min <sup>-1</sup>	774 μM
0-10 mM	0	3,19 μmol g <sup>-1</sup> MS min <sup>-1</sup>	11 mM
0-10 mM	100	2,80 μmol g <sup>-1</sup> MS min <sup>-1</sup>	12 mM

**Figura 4** - Efeito da concentração externa de K<sup>+</sup> sobre o influxo líquido de K<sup>+</sup>, na faixa de baixa afinidade de absorção, em raízes de cajueiro, cultivados sob privação de K<sup>+</sup>. \* Coeficientes significativos a 1%



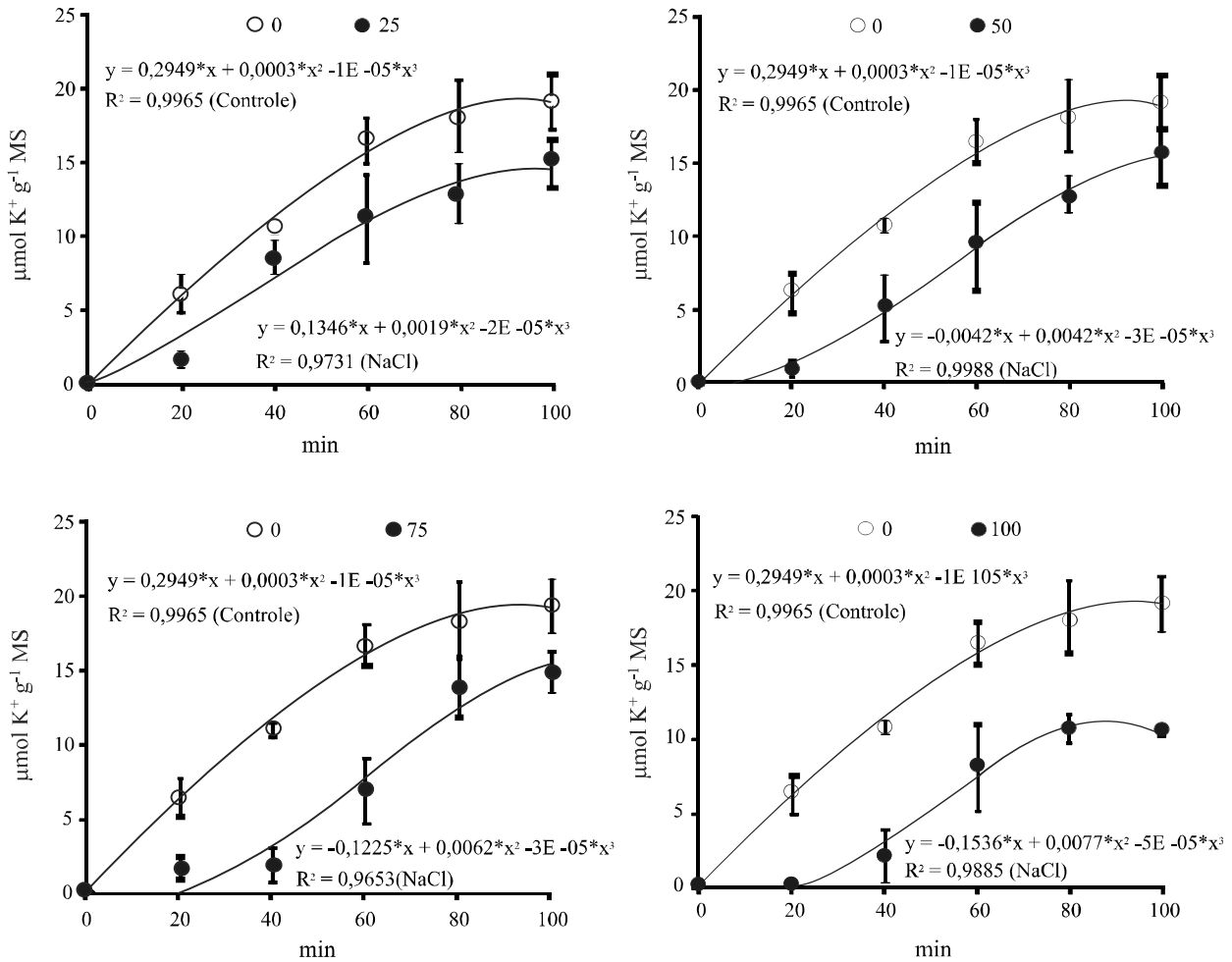
comprometer os sistemas de absorção de K<sup>+</sup> nas faixas de concentração de K<sup>+</sup> correspondentes aos sistemas de alta e de baixa afinidade. Esses resultados podem ainda explicar em parte a forte redução do conteúdo de K<sup>+</sup> em raízes de plantas de cajueiro quando cultivadas sob condições de salinidade (FERREIRA-SILVA *et al.*, 2008). Com relação à cinética de absorção de K<sup>+</sup> em concentrações correspondentes a faixa de absorção de baixa afinidade, os resultados mostram que a presença do Na<sup>+</sup> no meio não afetou a V<sub>máx</sub> de absorção, porém levou a um aumento do valor de K<sub>m</sub>, de 11 mM na ausência do NaCl para 12 mM na presença (Tabela 1). A restrição à absorção de K<sup>+</sup> pelas raízes em concentração de K<sup>+</sup> equivalentes ao sistema de alta afinidade foi proporcional ao aumento do NaCl no meio externo. A redução do influxo de K<sup>+</sup> foi mais

significativa nos primeiros 20 minutos, com reduções de 83; 70; 78 e 97%, para os tratamentos com NaCl 25; 50; 75 e 100 mM, respectivamente (Figura 5).

Valores aproximados de K<sub>m</sub> aos obtidos aqui foram observados em milho, variando de 30 a 39 μM (HORN *et al.*, 2006), e Arabidopsis, cerca de 44 μM (FU; LUAN, 1998). Os valores ressaltados na literatura de K<sub>m</sub> para a absorção de K<sup>+</sup> de alta afinidade, em diversas culturas, variaram entre 10 e 130 μM (SZCZERBA, 2008). Em relação ao V<sub>máx</sub> os valores encontrados na literatura variam de 0,03 a 34 μmol g<sup>-1</sup> min<sup>-1</sup> (SZCZERBA, 2008). Os valores observados de 0,093 e 0,87 μmol g<sup>-1</sup> MS min<sup>-1</sup>, são inferiores aos encontrados para pimenta, de 1,72 μmol g<sup>-1</sup> MS min<sup>-1</sup> (MARTÍNEZ-CORDERO; MARTINEZ; RUBIO, 2005) e para arroz, de 3,2 μmol g<sup>-1</sup> MS min<sup>-1</sup> (BAÑUELOS *et al.*, 2002). O valor observado de 0,87 μmol g<sup>-1</sup> MS min<sup>-1</sup> também foi reportado para cultivares de trigo (SANTA-MARÍA; EPSTEIN, 2001) e milho (HORN *et al.*, 2006), valores próximos foram encontrados, de 1,0 μmol g<sup>-1</sup> MS min<sup>-1</sup> para clones de eucaliptos (LIMA *et al.*, 2005) e de 1,39 μmol g<sup>-1</sup> MS min<sup>-1</sup> para feijão caupi (VOIGT, 2008).

Os resultados do presente estudo indicam o tipo de inibição da absorção de K<sup>+</sup> desencadeada pelo Na<sup>+</sup>. Em ambos os casos, em baixa e alta afinidade, a presença do NaCl no meio de incubação não afetou a velocidade máxima de absorção (V<sub>máx</sub>), porém resultou em aumento dos valores de K<sub>m</sub>. Esse padrão de alteração nas constantes cinéticas, com aumento de K<sub>m</sub> sem alterar a V<sub>máx</sub>, demonstra que o tipo de interferência exercida pelo Na<sup>+</sup> sobre ambos os sistemas de absorção de K<sup>+</sup> em raízes de cajueiro corresponde a uma inibição do tipo competitiva (LEHNINGER; NELSON; COX., 2006). Nesse tipo de inibição os dois íons (Na<sup>+</sup> e K<sup>+</sup>) competem pelos sítios de ligação nas proteínas envolvidas com o transporte de K<sup>+</sup> na plasmalema de células da raiz.

**Figura 5** - Efeito das concentrações crescentes de NaCl externas sob o influxo líquido de K<sup>+</sup>, na faixa de alta afinidade de absorção, em raízes de cajueiro, cultivados sob privação de K<sup>+</sup>. \* Coeficientes significativos a 1%



## CONCLUSÕES

1. A salinidade reduz o conteúdo de K<sup>+</sup> no sistema radicular de plântulas de cajueiro devido à restrição da absorção pelas raízes;
2. O excesso de Na<sup>+</sup> no meio restringe a absorção de K<sup>+</sup> pelos sistemas de alta e de baixa afinidade responsáveis pela absorção de K<sup>+</sup> por mecanismo competitivo.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação Cearense de Amparo à Pesquisa (FUNCAP) pelo apoio financeiro destinado ao desenvolvimento dessa pesquisa, e à EMBRAPA Agroindústria Tropical,

pelo fornecimento de parte do material vegetal (sementes) utilizado nesse estudo.

## REFERÊNCIAS

- AMORIM, A. V. *et al.* Respostas fisiológicas de plantas adultas de cajueiro anão precoce à salinidade. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 41, n. 1, p. 113-121, 2010.
- APSE, M. P.; BLUMWALD, E. Na<sup>+</sup> transport in plants. **FEBS Letters**, v. 581, n. 1, p. 2247-2254, 2007.
- BAÑUELOS, M. A. *et al.* Inventory and Functional Characterization of the HAK Potassium Transporters of Rice. **Plant Physiology**, v. 130, n. 2, p. 784-795, 2002.
- CARDEN, D. E. *et al.* Single cell measurements of the contributions of cytosolic Na<sup>+</sup> and K<sup>+</sup> to salt tolerance. **Plant Physiology**, v. 131, n. 2, p. 676-683, 2003.

- DASGAN, H. Y. *et al.* Determination of screening techniques to salinity tolerance in tomatoes and investigation of genotype responses. **Plant Science**, v. 163, n. 4, p. 695-703, 2002.
- EPSTEIN, E.; RAINS, D. W.; ELZAM, O. E. Resolution of dual mechanisms of potassium absorption by barley roots. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 49, n. 5, p. 684-692, 1963.
- FERREIRA-SILVA, S. L. *et al.* Changes in physiological indicators associated with salt tolerance in two contrasting cashew rootstocks. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 20, n. 1, p. 51-59, 2008.
- FU, H.; LUAN, S. AtKUP1: dual-affinity K<sup>+</sup> transporter from Arabidopsis. **The plant Cell**, v. 10, n. 1, p. 63-73, 1998.
- HORN, D. *et al.* Parâmetros cinéticos e morfológicos da absorção de nutrientes em cultivares de milho com variabilidade genética contrastante. **Revista Brasileira de ciência dos Solos**, v. 30, n. 1, p. 77-85, 2006.
- HIGINBOTHAM, N. Electropotentials of plant cells. **Annual Reviews of Plant Physiology**, v. 24, n. 1, p. 25-46, 1973.
- LEHNINGER, A. L.; NELSON, D. L.; COX, M. M. **Princípios de Bioquímica**. 4. ed. São Paulo: Sarvier, 2006. 1232 p.
- LIMA, A. M. N. *et al.* Cinética de absorção e eficiência nutricional de K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> em plantas jovens de Quatro Clones de Eucalipto. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 29, n. 6, p. 903-909, 2005.
- MÁSER, P. *et al.* Altered shoot/root NaR distribution and bifurcating salt sensitivity in Arabidopsis by genetic disruption of the NaR transporter AtHKT1. **FEBS Letter**, v. 161, n. 1, p. 531-157, 2002.
- MAATHUIS, F. J. M.; SANDERS, D. Mechanisms of high potassium uptake in roots of *Arabidopsis thaliana*. **Proceeding of the National Academy of Sciences**, v. 91, n. 20, p. 9272-9276, 1994.
- MAATHUIS, F. J. M.; AMTMANN, A. K<sup>+</sup> Nutrition and Na<sup>+</sup> Toxicity: Bases of Cellular K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup> Ratios. **Annals of Botany**, v. 84, n. 2, p. 123-133, 1999.
- MARTINEZ-CORDERO, M.; MARTINEZ, V.; RUBIO, F. High-affinity K<sup>+</sup> uptake in pepper plants. **Journal of Experimental Botany**, v. 56, n. 416, p. 1553-1562, 2005.
- NIEVES-CORDONES, M. *et al.* An NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-sensitive component dominates high-affinity K<sup>+</sup> uptake in tomato plant. **Plant Science**, v. 172, n. 2, p. 273-280, 2007.
- PONTE, L. F. A. *et al.* Variabilidade de indicadores fisiológicos de resistência à salinidade entre genótipos de cajueiro-anão e gigante. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 1, p. 1-8, 2011.
- SANTA-MARÍA, G. E.; DANNA, C. H. CZIBENER, C. High-affinity potassium transport in barley roots. Ammonium-sensitive and - insensitive pathways. **Plant Physiology**, v. 123, n. 1, p. 297-306, 2000.
- SANTA-MARÍA, G. E.; EPSTEIN, E. Potassium/sodium selectivity in wheat and the amphiploid cross wheat X *Lophopyrum elongatum*. **Plant Science**, v. 160, n. 3, p. 523-534, 2001.
- SHABALA, S. Regulation of potassium transport in leaves: from molecular to tissue level. **Annals of Botany**, v. 92, n. 5, p. 627-634, 2003.
- SZCZERBA, M. W. **Physiology of potassium nutrition in cereals: Fluxes, Compartmentation, and Ionic interactions**. 2008. 224 f. Tese (Doutorado em Filosofia) - University of Toronto, Toronto, 2008.
- TESTER, M.; DAVENPORT, R. Na<sup>+</sup> tolerance and Na<sup>+</sup> transport in higher plants. **Annals Botany**, v. 91, n. 5, p. 503-527, 2003.
- VOIGT, E. L. **Transporte e homeostase Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup> sob condições de sodicidade em feijão caupi**. 2008. 124 f. Tese (Doutorado em Bioquímica) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008.
- ZHU, J. K. Genetic analysis of plant salt tolerance using Arabidopsis. **Plant Physiology**, v. 124, n. 3, p. 941-948, 2000.
- ZHU, J.K. Regulation of ion homeostasis under salt stress. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 6, n. 5, p. 441-445, 2003.