

Germinação e estabelecimento de plântulas de cajueiro-anão precoce (*Anacardium occidentale* L.) em função da salinidade

Francisco A. L. Alves¹, Luiz F. A. Ponte², Sérgio L. Ferreira-Silva³, Josemir M. Maia⁴ & Joaquim A. G. da Silveira³

¹ Instituto Agronômico de Pernambuco-IPA, Escritório Municipal de Pedra-PE, Rua Major Lourenço Diniz, 111, Centro, CEP 55.280-000, Pedra-PE, Brasil. E-mail: abel_agro@yahoo.com.br

² Universidade Estadual Vale do Acaraú, Centro de Ciências Agrárias e Biológicas, Av. da Universidade, 850, Betânia, CEP 62.040-370, Sobral-CE, Brasil. E-mail: luizponte2000@yahoo.com.br

³ Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular, Laboratório de Metabolismo do Estresse em Plantas, Campus do Pici, Bloco 907, 1080, Pici, CEP 60.451-970, Fortaleza-CE, Brasil. Caixa Postal 6020. E-mail: agrosergol@yahoo.com.br; silveira@ufc.br

⁴ Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Biociências, Departamento de Genética e Biologia Celular, Campus Universitário Lagoa Nova, Av. Salgado Filho, 3000, CEP 59.078-970, Caixa Postal: 1648, Natal-RN, Brasil. E-mail: jmouran@yahoo.com.br

RESUMO

A germinação das sementes e o estabelecimento das plântulas são cruciais para a manutenção das espécies em ambientes inóspitos, uma vez que a salinidade dos solos afeta a germinação e o desenvolvimento de várias espécies de plantas. Assim, o objetivo no presente trabalho foi avaliar os efeitos da salinidade na germinação, emergência e estabelecimento de plântulas de cajueiro-anão precoce. Para isso, unidades de dispersão (fruto + semente) do clone CCP 76 de cajueiro-anão precoce foram semeadas em vasos plásticos contendo vermiculita umedecida com soluções de NaCl (0 e 50 mM), mantidas em condições controladas (40-80% U.R., 25 ± 2 °C, fotoperíodo de 12 horas e intensidade luminosa de $300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) por 24 dias. As determinações realizadas foram a curva de embebição, porcentagem de germinação e de emergência, crescimento das plântulas, mobilização de reservas cotiledonares e conteúdo de Na^+ e K^+ nas plântulas. A salinidade retardou a embebição e germinação das unidades de dispersão, emergência e crescimento das plântulas enquanto o excesso de NaCl no meio de crescimento reduziu a mobilização de reservas cotiledonares, aumentou o acúmulo de Na^+ nos órgãos da plântula e reduziu o conteúdo de K^+ radicular; assim, o componente iônico e osmótico do estresse salino são os responsáveis pela inibição da depleção das reservas cotiledonares e retarda o crescimento e o desenvolvimento das plântulas de cajueiro-anão precoce.

Palavras-chave: efeito osmótico e tóxico, estresse salino, mobilização de reserva

*Germination and seedling establishment of dwarf-cashew (*Anacardium occidentale* L.) influence of salinity*

ABSTRACT

Seed germination and seedling establishment are crucial for maintaining the species in harsh conditions. Soil salinity affects germination and development of various plant species. The objective of this study was to evaluate the effects of salinity on germination, emergence and establishment of seedlings of dwarf-cashew. For this dispersion unit (fruit + seed) of clone CCP 76 dwarf-cashew were planted in plastic recipients containing vermiculite moistened with solutions of NaCl (0 and 50 mM), maintained under controlled conditions (40-80% relative humidity, 25 ± 2 °C, photoperiod 12 hours and light intensity of $300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) for 24 days. The determinations carried out were: the curve of imbibitions, percentage of germination and emergence, seedling growth, mobilization of cotyledon reserves, and content of Na^+ and K^+ in the seedlings. Salinity delayed imbibitions, germination, emergence and seedling growth of dispersal units. While the excess of NaCl in the growth medium reduced the mobilization of cotyledon reserves and increased the accumulation of Na^+ in the seedling parts and reduced the K^+ content of roots. The osmotic and ionic component of salt stress seem to be responsible for inhibiting the depletion of cotyledonary reserves, and delayed growth and development of seedlings of dwarf-cashew.

Key words: osmotic effect and toxic, salt stress, reserve mobilization

Introdução

A salinidade dos solos é um dos principais fatores ambientais que limitam a produtividade agrícola devido aos seus efeitos no crescimento e desenvolvimento vegetal, os quais podem ser de natureza iônica e/ou osmótica, uma vez que a condutividade elétrica dos solos salinos é igual ou superior a $4,0 \text{ dS m}^{-1}$, que corresponde a uma concentração aproximada de 40 mM de NaCl e uma pressão osmótica de $0,2 \text{ MPa}$ (Munns & Tester, 2008).

O efeito iônico resulta da elevada absorção de íons, especialmente Na^+ e Cl^- , que alteram a homeostase das células causando desequilíbrio na concentração de íons, não apenas de Na^+ e Cl^- , mas também de K^+ e Ca^{2+} enquanto o efeito osmótico, decorrente da redução do potencial hídrico do meio de crescimento, acarreta diminuição da disponibilidade de água para a semente ou planta (Zhu, 2003).

Em muitas espécies a germinação das sementes e o estabelecimento da plântula são inibidos pela salinidade visto que o gradiente de potencial hídrico entre a semente e o solo é reduzido e também o metabolismo é alterado de forma significativa, levando à inibição na mobilização das reservas e a distúrbios no sistema de membranas do eixo embrionário (Marques et al., 2011). Os distúrbios na organização das membranas, produção de espécies reativas de oxigênio (EROs) e de metabólitos tóxicos, inibição da fotossíntese e diminuição na absorção de nutrientes são as alterações iniciais mais drásticas causadas pelo estresse salino em plântulas estabelecidas (Ye et al., 2005).

O cajueiro é uma cultura com grande perspectiva econômica pela aceitação de sua amêndoa (obtida do fruto) no mercado internacional, participando de forma expressiva na atividade econômica e social do Nordeste brasileiro, principalmente nos Estados do Ceará, Rio Grande do Norte e Piauí; assim, as pesquisas com o cajueiro se intensificam nas variedades anão-precoce pois os mesmos têm índices de produtividade bem superiores aos genótipos tradicionais (pés-francos) utilizados pela maioria dos agricultores (Bezerra et al., 2002).

Nos últimos anos foram desenvolvidos diversos estudos sobre os efeitos do estresse salino no desenvolvimento do cajueiro-anão precoce; em geral, observa-se que o crescimento da planta jovem foi severamente afetado (Ferreira-Silva et al., 2008). Tais efeitos também foram observados quando o cajueiro ainda se encontrava na fase de plântula (Abreu et al., 2008) na planta adulta, porém, não foi observado qualquer efeito decorrente da exposição aos sais (Amorim et al., 2010).

Os estudos existentes sobre salinidade em cajueiro abrangem exclusivamente a fase de formação de plantas jovens e de porta-enxerto (Alves et al., 2008; Alves et al., 2009) havendo, entretanto, poucos trabalhos relacionados à germinação e ao estabelecimento de plântulas (Carneiro et al., 2002; Bezerra et al., 2002; Araujo et al., 2009; Sousa et al., 2011; Marques et al., 2011).

Desta forma, o objetivo no presente trabalho foi avaliar os efeitos da salinidade na germinação de unidades de dispersão, emergência e estabelecimento de plântulas de cajueiro-anão precoce.

Material e Métodos

Material vegetal e condução experimental

As unidades de dispersão (fruto + semente) utilizadas, foram de cajueiro-anão precoce, genótipo CCP 76 fornecidas pela Embrapa - CNPAT - CE, as quais foram selecionadas pelo tamanho e peso e desinfestadas por imersão em NaClO 0,2% (v/v) durante 10 minutos; em seguida, para remoção do agente desinfetante prosseguiu-se com três lavagens com água destilada. Posteriormente, as unidades de dispersão foram imersas em água destilada por um período de 24 horas para acelerar o processo de germinação (Alves et al., 2009).

A semeadura foi realizada em vasos plásticos ($\Phi_1 = 9 \text{ cm}$, $\Phi_2 = 5,8 \text{ cm}$, $h = 11,1 \text{ cm}$) com capacidade de 400 mL contendo vermiculita umedecida com água destilada (tratamento controle) ou solução com NaCl 50 mM (tratamento salino), na proporção 5:1 (v/v) (70% da capacidade de campo); em cada vaso semeou-se uma unidade de dispersão na profundidade de 2,0 cm, com seu ponto de inserção/pedúnculo voltado para cima.

A semeadura e o experimento foram conduzidos em sala de crescimento no Laboratório de Metabolismo e Estresses Abióticos em Plantas do Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular da Universidade Federal do Ceará, em condições controladas de umidade, temperatura e luminosidade. A umidade relativa do ar variou entre 40 a 80%, a temperatura atingiu $25 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$, cujo fotoperíodo foi de 12 horas. A radiação fotossinteticamente ativa (PAR) máxima nas proximidades das folhas foi de aproximadamente $300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ mensurada com um sensor quântico acoplado ao porômetro (LI-1600 steady state porometer, Li-Cor, USA).

A pesquisa foi instalada em duas partes concomitantes visando determinar os efeitos da salinidade em cada um dos estádios de desenvolvimento (ED) selecionados, sendo que no primeiro ensaio se estudou o efeito do NaCl (50 mM e a dose controle) na germinação, emergência e estabelecimento da plântula. Os estádios de desenvolvimento foram: sementes em processo de embebição - 4 e 8 dias após a semeadura (DAS); emissão da raiz - 12 DAS; emissão das folhas primárias (FP) - 16 DAS; expansão das FP - 20 DAS e FP totalmente expandidas - 24 DAS.

No segundo ensaio se avaliaram o efeito do NaCl (50 mM e a dose controle) na mobilização de massa e o teor de íons nos cotilédones e órgãos e, em plântulas em desenvolvimento, cujos estádios estudados foram: E_1 - emissão da raiz - 12 dias após a semeadura (DAS); E_2 - emissão das folhas primárias (FP) - 16 DAS; E_3 - expansão das FP - 20 DAS; E_4 - FP totalmente expandidas - 24 DAS e E_5 - expansão das folhas secundárias (FS) - 28 DAS.

As análises foram efetuadas no decorrer do trabalho, período em que o material foi coletado aleatoriamente em cada tratamento e estádio de desenvolvimento, separando-os em raiz, parte aérea e cotilédones; em seguida, os mesmos foram pesados para determinação da fitomassa fresca e posteriormente colocados para secar em estufa de circulação forçada de ar a $60 \text{ }^\circ\text{C}$, por 48 horas, visando determinar o peso da fitomassa seca e os conteúdos de Na^+ e K^+ nas amostras.

Curva de embebição das unidades de dispersão

A determinação foi realizada pelo método descrito por Rocha et al. (1984), cujas unidades de dispersão foram expostas ao NaCl (50 mM e a dose controle) durante 10 dias, em câmara tipo *Biochemical Oxygen Demand* (B.O.D.) ajustada à temperatura de 25 °C e fotoperíodo de 12 horas. As unidades de dispersão foram dispostas uniformemente em placas de petri entre folhas esterilizadas de papel de germinação (“mata-borrão”) e umedecidas com água destilada ou solução de NaCl na quantidade de 60 mL. As avaliações foram realizadas todos os dias a partir da introdução das unidades de dispersão na câmara utilizando-se a equação: $\%E = [PF - PI]/PI \times 100$, em que %E = porcentagem de embebição em relação ao peso inicial da unidades de dispersão; PI = peso inicial e PF = peso final.

Porcentagem de germinação

A porcentagem de germinação foi definida através da contagem de unidades de dispersão que haviam emitido a raiz ao longo do tempo, de acordo com as condições de semente descritas no material vegetal e condução experimental. As mesmas foram computadas a partir do 8° até 18° dia após a semeadura inicial e este valor representado através de uma curva de porcentagem acumulada, de acordo com metodologia descrita por Labouriau & Valadares (1976).

Emergência de plântulas

Para a emergência das plântulas realizou-se contagem do número acumulado de unidades de dispersão com epicótilo emergido ao longo do tempo, que foi representado por meio de curvas de porcentagem acumulada, segundo metodologia descrita por Labouriau (1983).

A emergência das plântulas foi computada a partir do 14° até 24° dia após a semeadura inicial, que foi realizada em vasos plásticos ($\Phi_1 = 9$ cm, $\Phi_2 = 5,8$ cm, $h = 11,1$ cm) com capacidade de 400 mL contendo vermiculita umedecida com água destilada (tratamento controle) ou solução com NaCl 50 mM (tratamento salino), na proporção de 5:1 (v/v) (70% da capacidade de campo); em cada vaso semeou-se uma unidade de dispersão na profundidade de 2,0 cm, com o ponto de inserção das mesmas/pedúnculo voltado para cima.

O ensaio de emergência foi conduzido em sala de crescimento, no Laboratório de Metabolismo e Estresses Abióticos em Plantas do Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular da Universidade Federal do Ceará, com condições controladas de umidade, temperatura e luminosidade. A umidade relativa do ar variou entre 40 a 80%, a temperatura atingiu 25 ± 2 °C, cujo fotoperíodo foi de 12 horas. A radiação fotossinteticamente ativa (PAR) máxima nas proximidades dos vasos foi de aproximadamente $300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ mensurada com um sensor quântico acoplado ao porômetro (LI-1600 steady state porometer, Li-Cor, USA).

Teor de água

A massa fresca e seca de raízes, parte aérea e cotilédones, foram obtidas pela pesagem em balança digital após a coleta e secagem, respectivamente; obteve-se a determinação da porcentagem de água dos tecidos pelas fórmulas: $MS (\%) =$

$(MS/MF) \times 100$ e $U (\%) = 100 - [MS (\%)]$, sendo MS = massa seca; MF = massa fresca; U = umidade.

Concentração de sódio e potássio

Após secagem em estufa a 60 °C por 48 horas, 50 mg de amostras de raízes, parte aérea e cotilédones maceradas até obtenção de pó com auxílio de pistilo e almofariz foram incubados em banho-maria a 100 °C, durante uma hora, em tubos hermeticamente fechados contendo 20 mL de água deionizada; em seguida, o extrato foi filtrado e as concentrações de sódio e potássio determinadas em fotômetro de chama do tipo Micronal B426a calibrado com soluções padrões de sódio e potássio; as concentrações foram expressas em $\mu\text{mol g}^{-1}$ MS com bases em fatores obtidos através de equações das curvas, a partir de soluções padrões de NaCl e KCl, segundo metodologia descrita por Alves et al. (2009).

Delineamento estatístico e análise estatística

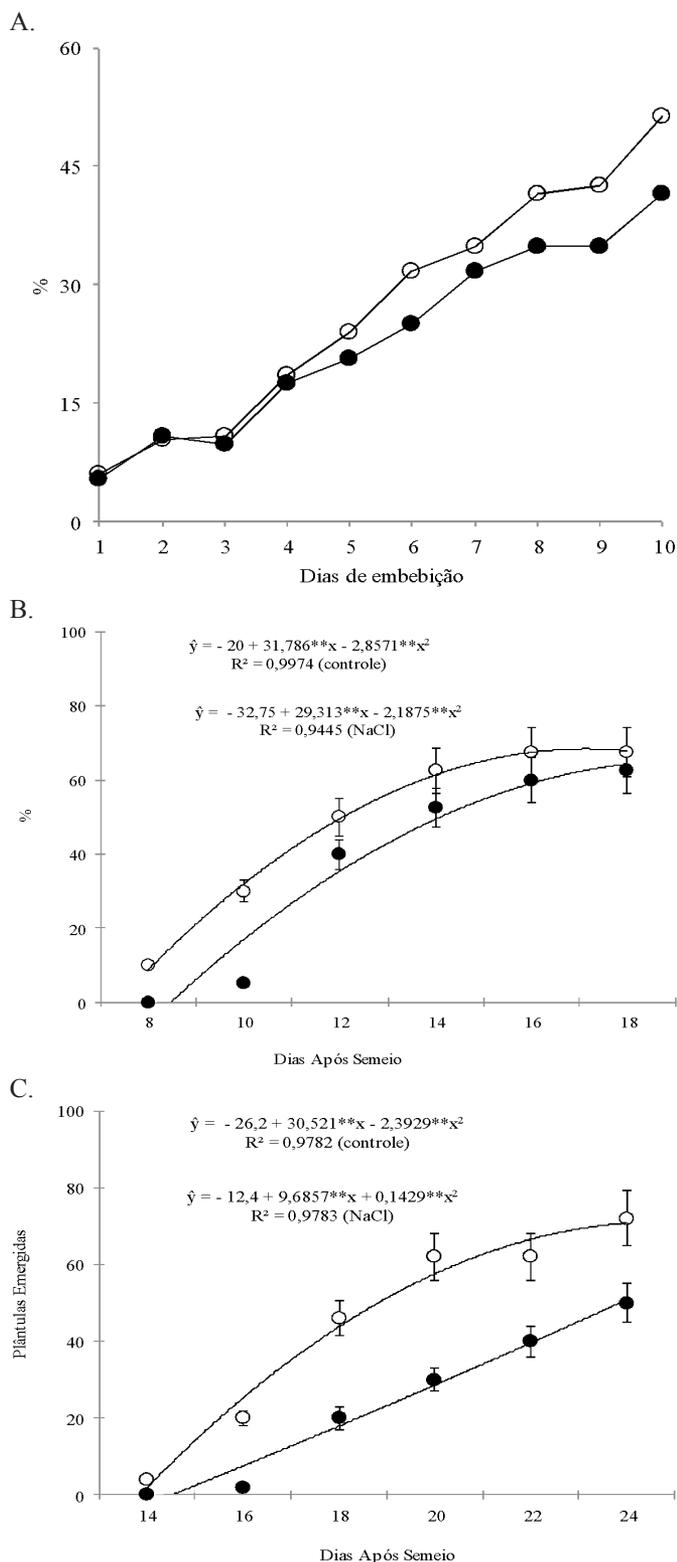
O delineamento experimental foi o inteiramente ao acaso, com os tratamentos distribuídos em arranjo fatorial 2 x 5 (doses e estádios de desenvolvimento). Os ensaios foram realizados com três repetições cada um, cada qual representada por uma plântula; os resultados obtidos foram analisados estatisticamente com base na análise de tendência das médias e seus respectivos desvios padrões e as curvas ajustadas por regressão polinomial; a análise de variância foi realizada pelo coeficiente de determinação (R^2) e pelo teste F de Snedecor, até 1% de significância.

Resultados e Discussão

O estresse salino afetou a embebição, a germinação das unidades de dispersão e a emergência de plântulas (Figura 1); a embebição de água pelas unidades de dispersão foi reduzida pela salinidade apenas a partir do quinto dia pois, apesar do NaCl reduzir a embebição, o comportamento foi o mesmo em comparação com o controle (ausência de NaCl); as fases de germinação ficaram bem definidas, como relatado por Bewley & Black (1994) em que o aumento no grau de umidade foi mais rápido nos primeiros dias do teste (fase I) até os oito dias, tendendo à estabilidade com o passar do tempo (fase II), de aproximadamente 24 horas e posterior aumento na velocidade de absorção de água quando da emissão da raiz (fase III) a partir do nono dia (Figura 1A).

A germinação das unidades de dispersão foi reduzida pela salinidade até o 12° dia em 20% em relação ao controle, entretanto a partir do 14° dia não houve diferença na germinação entre a dose de NaCl (50 mM) e a condição controle de vez que a germinação das mesmas atingiu 65% a partir do 16° dia; a germinação total das unidades de dispersão de ambos os tratamentos ocorreu no 18° dia, com 70% dos stands iniciais germinados (Figura 1B).

Apesar da emergência da raiz ser afetada pelo estresse salino em algumas espécies, não foi observada, neste experimento, qualquer mudança, demonstrando que o cajueiro-anão precoce, nessa etapa do estabelecimento da plântula, é considerado resistente à salinidade. Entretanto, mesmo que a germinação não seja afetada pela salinidade pode haver retardamento no



** Coeficientes significativos a 1% de probabilidade

Figura 1. Curva de embebição (A), porcentagem de germinação (B) de unidades de dispersão e emergência de plântulas (C) de cajueiro, semeadas na presença (•) e na ausência (o) de NaCl 50 mM

processo germinativo das unidades de dispersão desta espécie (Bezerra et al., 2002; Carneiro et al., 2002; Marques et al., 2011).

O retardamento da germinação pode ser resultado do potencial osmótico da solução, causada pelo aumento da

concentração dos sais solúveis, interferindo negativamente na disponibilidade de água e, por conseguinte, na absorção de água pelas sementes (Carneiro et al., 2002) e/ou pelo efeito tóxico de altas concentrações de sal no embrião e células da membrana do endosperma (Marques et al., 2011); por outro lado, altas concentrações de NaCl restringem a divisão e o alongamento celular, tal como a mobilização de reservas para locais onde ocorre o processo de germinação (Voigt et al., 2009); ainda afetam o rearranjo das membranas celulares permitindo o efluxo de nutrientes, açúcares, proteínas e outros componentes (Silva et al., 2007).

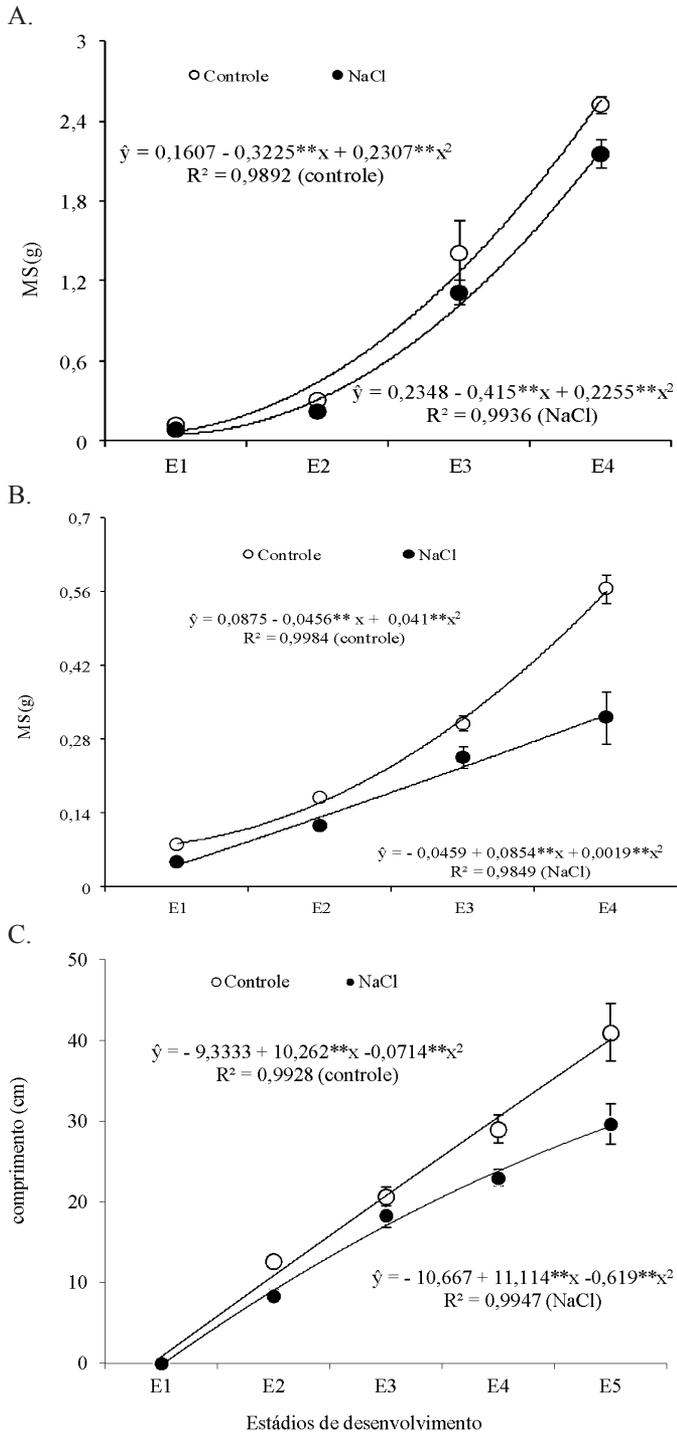
A emergência das plântulas foi reduzida pela salinidade com o passar do tempo chegando a 50% em comparação com o controle aos 20 dias após o semeio, período em que 65% das plântulas oriundas de unidades de dispersão da dose controle (ausência de NaCl) haviam emergido; aos 24 dias após a semeadura 70% das plântulas oriundas das unidades de dispersão semeadas na ausência de NaCl haviam emergido enquanto na dose de NaCl (50 mM) houve uma redução na emergência de 30% em comparação com o controle (Figura 1C). Resultados obtidos por Bezerra et al. (2002), Carneiro et al. (2002) e Sousa et al. (2011) confirmam esta redução da emergência de plântulas de cajueiro expostas à salinidade.

A baixa porcentagem de emergência do epicótilo ao longo do tempo em condições salinas, pareceu relacionar-se com a sensibilidade das plântulas à salinidade nos estágios iniciais de desenvolvimento, após a germinação. Essa espécie não foi afetada pela salinidade na fase de germinação; entretanto, a emergência e o desenvolvimento das plântulas foram afetados nas condições salinas (Marques et al., 2011).

A massa seca da parte aérea foi prejudicada pelo estresse salino com NaCl (50 mM) a partir dos 16 dias após o semeio cuja redução chegou a 20 e 15% em comparação com o controle, respectivamente para os 20 e 24 dias da semeadura (Figura 2A). O estresse salino também afetou negativamente a massa seca das raízes a partir dos 12 dias, com reduções chegando a 30, 20 e 40% em comparação com o controle aos 16, 20 e 24 dias após o semeio, respectivamente (Figura 2B). De forma semelhante, reduções foram constatadas no comprimento das plântulas com o estresse salino chegando a 28% ao final dos 28 dias após a semeadura em comparação com o controle (Figura 2C).

Os resultados obtidos no presente estudo corroboram com as observações de Bezerra et al. (2002), Carneiro et al. (2002), Bezerra et al. (2007), Marques et al. (2011) e Sousa et al. (2011) ao relatarem que o cajueiro-anão precoce é susceptível à salinidade na fase de crescimento e desenvolvimento mas que sua germinação não é afetada nessas condições.

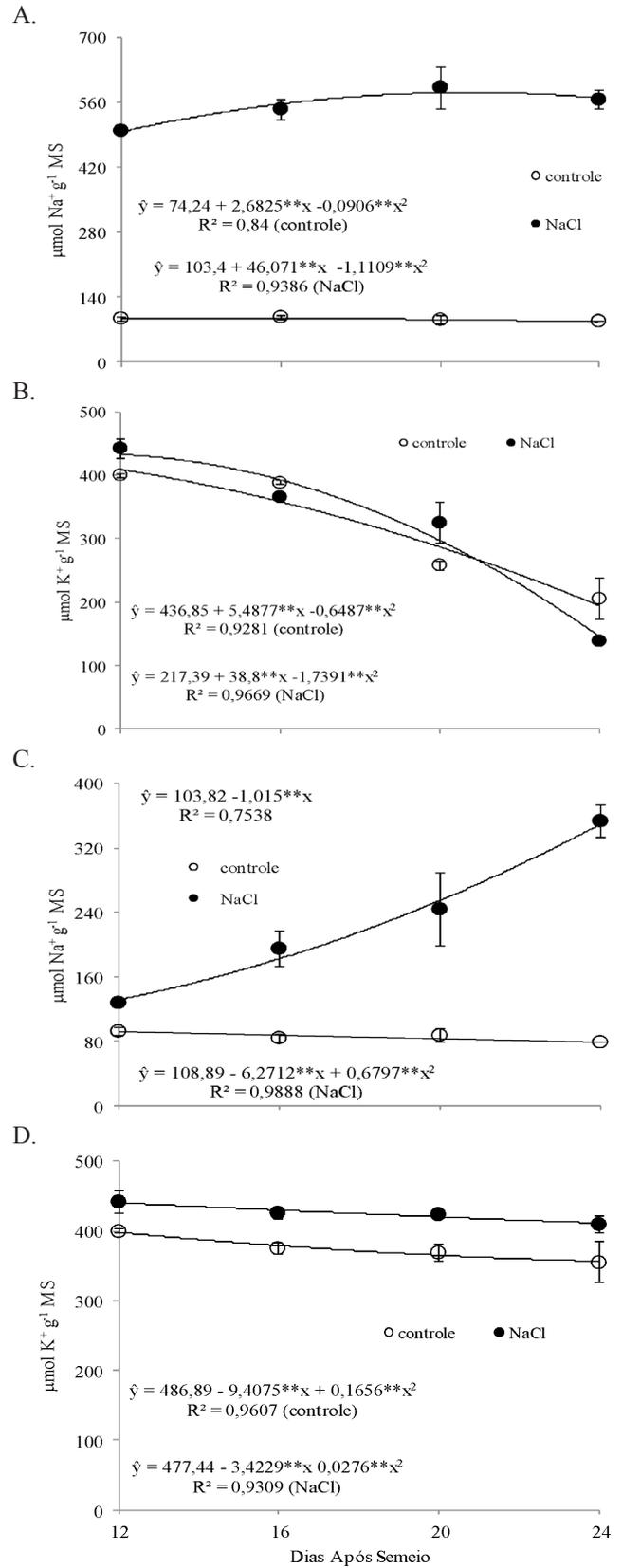
A salinidade afeta negativamente o crescimento das plântulas de cajueiro sendo a massa seca da parte aérea e raízes fortemente reduzida (Carneiro et al., 2002; Bezerra et al., 2002; 2007; Marques et al., 2011 e Sousa et al., 2011). Embora as raízes tenham maior capacidade de ajustamento osmótico e melhor proteção do estresse oxidativo causadas por condições salinas (Abreu et al., 2008), a redução de seu crescimento foi maior que da parte aérea, provavelmente por ser este órgão o primeiro a responder ao contato com o ambiente danoso.



** Coeficientes significativos a 1% de probabilidade

Figura 2. Massa seca da parte aérea (A), raízes (B) e comprimento total (C) de plântulas de cajueiro em diferentes estádios de desenvolvimento fisiológico, na presença (*) e na ausência (o) de 50 mM de NaCl

Analisando a concentração de Na^+ e K^+ nas plântulas de cajueiro observa-se que o teor de Na^+ aumentou linearmente com o desenvolvimento daquelas expostas ao NaCl, tanto na parte aérea quanto nas raízes. No final dos 24 dias após a sementeira este acréscimo chegou a 550 e 350%, em comparação ao controle, respectivamente para raízes e parte aérea (Figuras 3A; C). Nas plântulas do controle a concentração de Na^+ nas raízes e na parte aérea dos 12 aos 24 dias ficou a nível de 90 $\mu\text{mol g}^{-1}$ MS e o teor de K^+ nas raízes e parte aérea foi reduzido



** Coeficientes significativos a 1% de probabilidade

Figura 3. Conteúdo de sódio e potássio nas raízes (A, B) e parte aérea (C, D) de plântulas de cajueiro cultivadas durante 24 dias após a sementeira, na presença (*) e na ausência (o) de 50 mM de NaCl

linearmente no decorrer do tempo, tanto no tratamento salino quanto no controle (Figura 3B; D). Nas raízes este decréscimo

foi mais acentuado no tratamento salino com redução de 68% enquanto no tratamento controle esta redução foi de 50% ao final dos 24 dias; na parte aérea a redução foi de 7 e 10%, respectivamente, para o tratamento salino e controle, ao final dos 24 dias.

O aumento significativo do teor de Na^+ em folhas e raízes, bem como a redução do teor de K^+ nas raízes em plântulas de cajueiro expostas ao NaCl, foram relatados por Alves et al. (2009) e Ferreira-Silva et al. (2009).

A massa fresca e a seca dos cotilédones decresceram sempre que as plântulas se desenvolveram e os menores valores ocorreram nas plântulas estabelecidas sendo que nas condições de salinidade houve redução e atraso nos mesmos em comparação com as plântulas do controle (Figura 4).

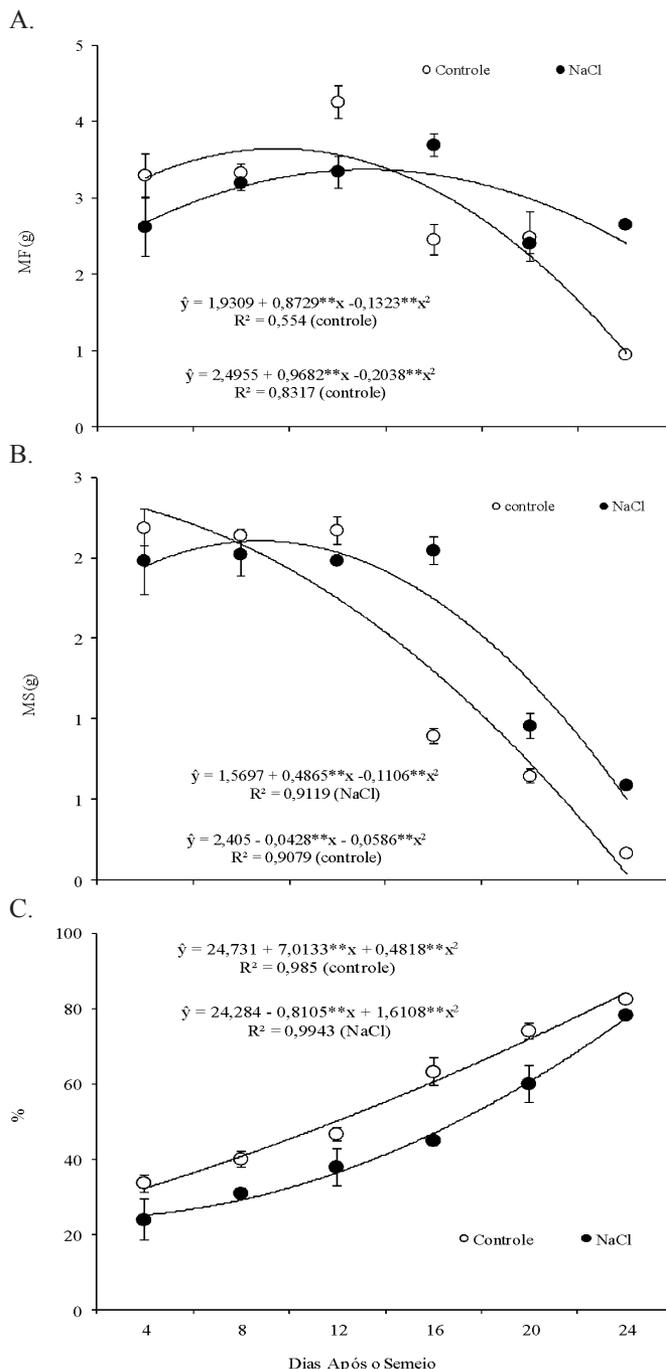
A massa fresca e a seca dos cotilédones das plântulas controle até o 12º dia após a semeadura não foram reduzidas porque, neste período, as plântulas não tinham emergido e a demanda por reservas proveniente do cotilédone não estava em seu ápice (Figura 4A). O seu teor de água neste período foi superior ao do tratamento com NaCl (50 mM) (Figura 4C), possivelmente por essas absorverem mais água que no tratamento salino, conforme dados da curva de embebição. A massa fresca e a seca dos cotilédones das plântulas expostas ao tratamento salino começaram a reduzir a partir do 16º dia após o semeio, período em que começa a emergência das plântulas e, conseqüentemente, maior demanda por reservas nutricionais (Figura 4B).

A diminuição na massa seca cotiledonar, concomitante ao aumento na massa seca do eixo embrionário, é um comportamento típico de espécies que possuem cotilédones carnosos, com grandes quantidades de reservas, cuja função principal é suprir o crescimento do eixo embrionário, uma vez que não adquirem capacidade fotossintética nem senescem quando a plântula se torna estabelecida (Fenner & Thompson, 2005).

A salinidade inibiu a depleção das reservas cotiledonares e reduziu a massa seca do eixo embrionário do cajueiro (Voigt et al., 2009; Marques et al., 2011), girassol (Ashraf et al., 2003) e feijão-de-corda (Dantas et al., 2007). Esses autores sugeriram que a redução no crescimento da plântula imposta pelo estresse salino, é ocasionada pela inibição na mobilização das reservas cotiledonares.

As reservas de Na^+ e K^+ cotiledonares foram reduzidas à medida que as plântulas se foram desenvolvendo, cujos menores valores ocorreram nas plântulas estabelecidas (Figura 5). A redução desses íons nos cotilédones de plantas controle ao final dos 24 dias após o semeio, foi de aproximadamente 90%, respectivamente para os conteúdos de Na^+ e K^+ . Da mesma forma como ocorreu na massa fresca e seca, o conteúdo de Na^+ e K^+ não foi reduzido até os 12 dias após o semeio pois a redução ocorreu a partir do 16º dia, período no qual a emergência das plântulas se inicia.

O conteúdo de Na^+ e K^+ dos cotilédones das plântulas tratadas com NaCl (50 mM) até o 12º dia após a semeadura permaneceu o mesmo das plântulas controle; no entanto, após este período houve um acréscimo no acúmulo de Na^+ neste órgão com o passar do tempo, 70% em relação ao tratamento controle, aos 24 dias após a semeadura (Figura

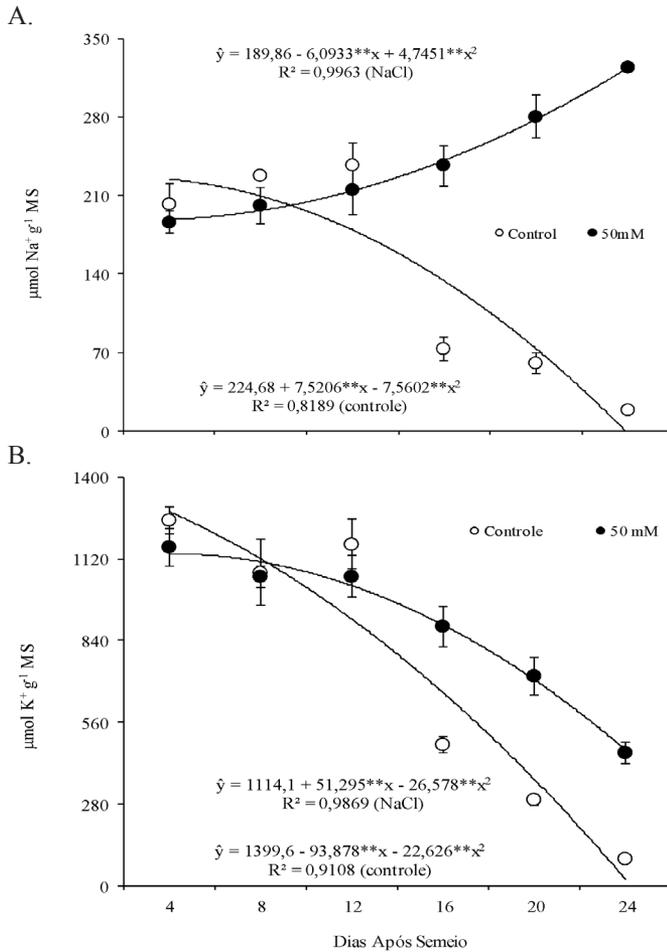


** Coeficientes significativos a 1% de probabilidade

Figura 4. Massa fresca (A), seca (B) e umidade (C) dos cotilédones de plântulas de cajueiro cultivadas durante 24 dias após a semeadura, na presença (•) e na ausência (o) de NaCl 50 mM

5A). O conteúdo de K^+ , por sua vez, sofreu um atraso na sua assimilação pela plântula em comparação com o tratamento controle de aproximadamente 390% ao final dos 24 dias após a semeadura (Figura 5B).

O componente iônico do estresse salino parece ser o responsável pela inibição da depleção das reservas cotiledonares e do crescimento do eixo embrionário em cajueiro. Resultados semelhantes foram relatados em soja (Hosseini et al., 2002), girassol (Ashraf et al., 2003) e cajueiro (Marques et al., 2011) tendo em vista que houve acúmulo excessivo de íons Na^+ e Cl^- nessas espécies.



** Coeficientes significativos a 1% de probabilidade

Figura 5. Conteúdo de sódio (a) e potássio (b) em cotilédones de plântulas de cajueiro, cultivadas durante 24 dias após a semeadura, na presença (*) e na ausência (o) de NaCl 50 mM

A partição de fitomassa nos diferentes órgãos das plântulas de cajueiro foi fortemente influenciada pela salinidade (Figura 6) que reduziu a translocação de reservas cotiledonares para raízes e parte aérea em 21, 40 e 30%, respectivamente, aos 16, 20 e 24 dias após o semeio; assim pode-se, então, inferir que a redução do crescimento de plântulas de cajueiro expostas ao NaCl se caracteriza, em parte, pela redução de nutrientes essenciais ao seu desenvolvimento, como sais minerais, hormônios, precursores de hormônios, vitaminas e aminoácidos, entre outros.

Ante os resultados obtidos no presente estudo, observa-se que as plântulas de cajueiro expostas à salinidade com NaCl tenderam a reter o Na^+ nas raízes e nos cotilédones evitando que este íon chegue na parte aérea (folhas) haja vista que o mesmo interfere nos processos fisiológicos e bioquímicos da planta, como fotossíntese, síntese de proteínas e assimilação de CO_2 , entre outros; esta capacidade de retenção de Na^+ nas raízes foi relatada em porta-enxertos de cajueiro expostos à salinidade pois este mecanismo é importante para atenuar a necrose de tecidos fotossintetizantes favorecendo as trocas gasosas e o uso eficiente da água (Alves et al., 2008).

O atraso da germinação das unidades de dispersão, emergência e crescimento de plântulas de cajueiro-anão precoce

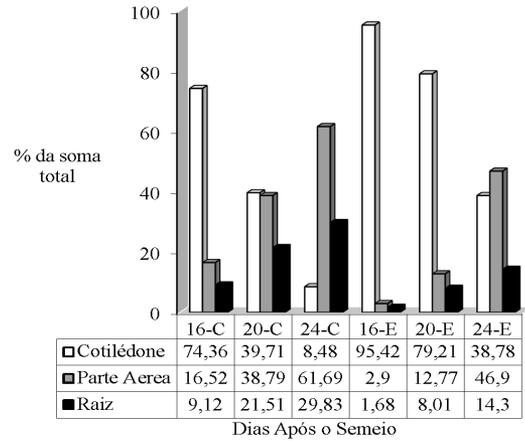


Figura 6. Partição da biomassa seca nos diferentes órgãos de plântulas de cajueiro cultivadas durante 24 dias na presença (*) e na ausência (o) de NaCl 50 mM

ocasionada pela salinidade, decorreu do efeito osmótico e iônico. O efeito osmótico interferiu na disponibilidade de água e o efeito iônico causou um forte acúmulo de íons tóxicos (Na^+ e Cl^-) nas células dos cotilédones e eixo embrionário.

Não se pode afirmar quais os íons (Na^+ e/ou Cl^-) foram os principais responsáveis pelo efeito de toxicidade uma vez que o teor de Cl^- não foi mensurado; as altas concentrações de NaCl no meio de crescimento e no desenvolvimento restringiu a divisão e o alongamento celular, tal como também a mobilização de fitomassa para os diferentes órgãos das plântulas em desenvolvimento.

Conclusões

O estresse salino atrasa a germinação das unidades de dispersão, emergência e crescimento das plântulas de cajueiro-anão precoce.

Altas concentrações de NaCl restringem a divisão e/ou alongamento celular e a mobilização de fitomassa para os diferentes órgãos das plântulas em desenvolvimento.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP) pelo apoio financeiro destinado ao desenvolvimento desta pesquisa, e à Embrapa Agroindústria Tropical, pelo fornecimento das sementes (castanhas) utilizadas no estudo.

Literatura Citada

Abreu, C. E. B.; Prisco, J. T.; Nogueira, A. R. C.; Bezerra, M. A.; Lacerda, C. F.; Gomes-Filho, E. Physiological and biochemical changes occurring in dwarf-cashew seedlings subjected to salt stress. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, v.20, n.2, p.105-118, 2008. <<http://dx.doi.org/10.1590/S1677-04202008000200003>>. 30 Sep. 2012.

- Alves, F. A. L.; Ferreira-Silva, L.; Silva, E. N.; Silveira, J. A. G. Clones de cajueiro-anão precoce expostos ao estresse salino e ao acúmulo de potássio e sódio. *Revista Ciência Agronômica*, v.39, n.3, p.422-428, 2008. <<http://ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/81>>. 30 Set. 2012.
- Alves, F. A. L.; Ferreira-Silva, L.; Silveira, J. A. G.; Pereira, V. L. A. Mecanismos fisiológicos envolvidos com a diminuição de K⁺ em raízes de cajueiro causada por NaCl. *Revista Ciência Agronômica*, v.40, n.4, p.588-595, 2009. <<http://www.ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/315>>. 30 Set. 2012.
- Amorim, A. V.; Gomes-Filho, E.; Bezerra, M. A.; Prisco, J. T.; Lacerda, C. F. Resposta fisiológica de plantas adultas de cajueiro anão precoce à salinidade. *Revista Ciência Agronômica*, v.41, n.1, p.113-121, 2010. <<http://www.ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/371>>. 30 Set. 2012.
- Araujo, J. R. G.; Cerqueira, M. C. M.; Guissem, J. M.; Martins, M. R.; Santos, F. N.; Mendonça, M. C. S. Embebição e posição da semente na germinação de clones de porta-enxertos de cajueiro-anão-precoce. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v.31, n.2, p.552-558, 2009. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-29452009000200033>>. 30 Set. 2012.
- Ashraf, M.; Zafar, R.; Ashraf, M. Y. Time-course changes in the inorganic and organic components of germinating sunflower achenes under salt (NaCl) stress. *Flora*, v.198, n.1, p.26-36, 2003. <<http://dx.doi.org/10.1078/0367-2530-00073>>. 30 Set. 2012.
- Bewley, J. D.; Black, M. Seeds: physiology of development and germination. 2.ed. New York: Plenum Press, 1994. 421p.
- Bezerra, I. L.; Gheyi, H. R.; Fernandes, P. D.; Santos, F. J. S.; Gurgel, M. T.; Nobre, R. G. Germinação, formação de porta-enxerto e enxertia de cajueiro-anão precoce sob estresse salino. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.6, n.3, p.420-424, 2002. <<http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662002000300007>>. 30 Set. 2012.
- Bezerra, M. A.; Lacerda, C. F.; Gomes-Filho, E.; Abreu, C. E. B.; Prisco, J. T. Physiology of cashew plants grown under adverse conditions. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, v.19, n.4, p.449-461, 2007. <<http://dx.doi.org/10.1590/S1677-04202007000400012>>. 30 Set. 2012.
- Carneiro, P. T.; Fernandes, P. D.; Gheyi, H. R.; Soares, F. A. L. Germinação e crescimento inicial de genótipos de cajueiro anão-precoce em condições de salinidade. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.6, n.2, p.199-206, 2002. <<http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662002000200003>>. 30 Set. 2012.
- Dantas, B. F.; Ribeiro, L. S.; Aragão, C. A. Germination, initial growth and cotyledon protein content of bean cultivars under salinity stress. *Revista Brasileira de Sementes*, v.29, n.2, p.106-110, 2007. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0101-31222007000200014>>. 30 Set. 2012.
- Fenner, M.; Thompson, K. The ecology of seeds. New York: Cambridge University Press, 2005. 241p.
- Ferreira-Silva, S. L.; Silveira, J. A. G.; Voigt, E. L.; Soares, L. S. P.; Viégas, R. A. Changes in physiological indicators associated with salt tolerance in two contrasting cashew rootstock. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, v.20, n.1, p.51-59, 2008. <<http://dx.doi.org/10.1590/S1677-04202008000100006>>. 30 Set. 2012.
- Ferreira-Silva, S. L.; Voigt, E. L.; Viégas, R. A.; Paiva, J. R.; Silveira, J. A. G. Influência de porta-enxertos na resistência de mudas de cajueiro ao estresse salino. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.44, n.4, p.361-367, 2009. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2009000400005>>. 30 Set. 2012.
- Hosseini, M. K.; Powell, A. A.; Bingham, I. J. Comparison of the seed germination and early seedling growth of saline conditions. *Seed Science Research*, v.12, n.3, p.165-172, 2002. <<http://dx.doi.org/10.1079/SSR2002108>>. 30 Set. 2012.
- Labouriau, L. G. A germinação das sementes. Washington: Secretaria Geral da Organização dos Estados Americanos, 1983. 174p.
- Labouriau, L. G.; Valadares, M. E. B. On the germination of seeds of *Calotropis procera* (Ait.) Ait. f. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v.48, n.2, p.263-284, 1976.
- Marques, E. C.; Freitas, V. S.; Bezerra, M. A.; Prisco, J. T.; Gomes-Filho, E. Efeitos do estresse salino na germinação, emergência e estabelecimento da plântula de cajueiro anão precoce. *Revista Ciência Agronômica*, v.42, n.4, p.993-999, 2011. <<http://dx.doi.org/10.1590/S1806-66902011000400023>>. 30 Set. 2012.
- Munns, R.; Tester, M. Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review Plant Biology*, v.59, p.651-681, 2008. <<http://dx.doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911>>. 30 Set. 2012.
- Rocha, V. S.; Sedyama, T.; Silva, R. F.; Sedyama, J. T. L.; Thiébaud, J. T. L. Embebição de água e qualidade fisiológica de sementes de soja. *Revista Brasileira de Sementes*, v.6, n.2, p.51-66, 1984. <<http://www.abrates.org.br/revista/artigos/1984/v6n2/artigo06.pdf>>. 30 Set. 2012.
- Silva, R. N.; Lopes, N. F.; Moraes, D. M.; Pereira, A. L. A.; Duarte, G. L. Physiological quality of barley seeds submitted to saline stress. *Revista Brasileira de Sementes*, v.29, n.1, p.40-44, 2007. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0101-31222007000100006>>. 30 Set. 2012.
- Sousa, A. B. O.; Bezerra, M. A.; Farias, F. C. Germinação e desenvolvimento inicial de clones de cajueiro comum sob irrigação com água salina. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, n.4, p.390-394, 2011. <<http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662011000400010>>. 30 Set. 2012.
- Voigt, E. L.; Almeida, T. D.; Chagas, R. M.; Ponte, L. F.; Viégas, R. A.; Silveira, J. A. Source-sink regulation of cotyledonary reserve mobilization during cashew (*Anacardium occidentale*) seedling establishment under NaCl salinity. *Journal of Plant Physiology*, v.166, n.1, p.80-89, 2009. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jplph.2008.02.008>>. 30 Set. 2012.
- Ye, Y.; Tam, N. F. Y.; Lu, C. Y.; Wong, Y. S. Effects of salinity on germination, seedling growth and physiology of three salt-secreting mangrove species. *Aquatic Botany*, v.83, n.3, p.193-205, 2005. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.aquabot.2005.06.006>>. 30 Set. 2012.
- Zhu, J. K. Regulation of ion homeostasis under salt stress. *Current Opinion in Plant Biology*, v.6, n.5, p.441-445, 2003. <[http://dx.doi.org/10.1016/S1369-5266\(03\)00085-2](http://dx.doi.org/10.1016/S1369-5266(03)00085-2)>. 30 Set. 2012.