EFEITO DE UMA SOLUÇÃO SALINA NO CRESCIMENTO E NA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA *ATRIPLEX NUMMULARIA*

EFFECT OF A SALINE SOLUTION ON GROWTH AND CHEMICAL COMPOSITION OF *ATRIPLEX NUMMULARIA*

ARAÚJO, Eliane Gonçalves^{1*}; SILVA, Márcia Lima ¹; NETO, Francisco Nobre de Abrantes¹; CABRAL, Sheila Priscila Marques^{1*}; MARTINEZ-HUITLE, Carlos Alberto¹; FERNANDES, Nedja Suely^{1*}

¹Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Instituto de Química,
Av. Senador Salgado Filho 3.000, cep 59078-970, Natal - RN, Brasil
(fone: + 55 84 3211 9224)

* Autor correspondente
e-mail: elianequimicaufn@hotmail.com

Received 5 July 2012; received in revised form 26 July 2012; 01; 03; 24; 26 August 2012; accepted 28 August 2012

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo analisar o efeito da aplicação de uma solução salina no crescimento e na composição química da *Atriplex nummularia*. Mudanças desta espécie foram plantadas no Horto da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. A caracterização química foi realizada utilizando Cromatografia de Íons (IC) e Espectroscopia de Emissão Óptica (ICP-OES). Os resultados dessas análises destacaram a diversidade de ânions e cátions absorvidos pela planta durante seu processo evolutivo. Com base nesse estudo foi concluído que a *Atriplex* poderá ser utilizada como uma fonte absorvedora de sais dos solos contaminados por efluentes resultantes de processos industriais nos quais tem a água salina como produto final de seus processos.

Palavras-chave: *Atriplex nummularia*, salinidade, crescimento

ABSTRACT

This study aimed to analyze the effect of a saline solution on growth and chemical composition of *Atriplex nummularia*. These species seedlings were planted in the Garden of the Federal University of Rio Grande do Norte. Chemical characterization was performed using the Ion Chromatography (IC) and Optical Emission Spectroscopy (ICP-OES). The results of this analysis highlighted the diversity of anions and cations absorbed by the plant during its evolutionary process. Based on this study it was concluded that the *Atriplex* could be used as a source of absorbing salts from soils contaminated by effluents from industrial processes in which the saline water has as an end product of their processes.

Keywords: *Atriplex nummularia*, salinity, growth

INTRODUÇÃO

A *Atriplex nummularia* conhecida como erva-sal é uma espécie forrageira originária da Austrália, possuindo alta capacidade absorvedora de sais. Foi introduzida no Brasil pelo pesquisador Guimarães Duque (OBRAS, 1938). Possui elevado teor proteico (16% nas folhas, 14% em ramos finos e 12% em ramos grossos). Na Austrália, esta espécie é usada como alimento humano e tida como principal ingrediente de pratos culinários bastante apreciados (Porto; Araújo *et al.*, 2003). Ultimamente ela têm sido utilizada como um recurso forrageiro importante na complementação de dietas para ruminantes e não-ruminantes (Salem; Nefzaqui; Salem, 2003; Menezes, 2007). A tolerância desta espécie a ambientes salinos é originado a partir do desenvolvimento de mecanismos especializados de acumulação de sais no interior da planta, ou de eliminação destes por meio de vesículas especiais existentes na superfície das folhas (Silva, 2000; Soares, 2006; Souto, 2005). Uma peculiaridade desta planta é que ela requer sódio como elemento essencial em sua nutrição (Wilson, 1966; Viêgas *et al.*, 2001).

Por apresentar alta aceitabilidade de sais em seus tecidos ela vem sendo utilizada como uma forte alternativa no manejo de águas provenientes dos dessalinizadores. A dessalinização de água é uma alternativa inovadora de conversão de água salgada em água de boa qualidade, já consolidada em diversos países do mundo. A água salinizada é tratada, no entanto o rejeito é um problema ainda a ser resolvido e umas das alternativas que vem sendo utilizada é a irrigação dessas halófitas (Viêgas *et al.*, 2004; Porto; Amorim; Silva Junior, 2001; Araújo *et al.*, 2006; Malavolta, 2006).

A *Atriplex nummularia* tem atributos desejáveis de uma cultura cicladora de rejeito: alto uso consuntivo de água para maximizar a absorção, alta tolerância aos sais para minimizar a fração de lixiviação requerida e elevada produtividade de biomassa, a qual tem utilidade forrageira (Wilson, 1966; Soares, 2006; Leal; Accioly, 2008).

No futuro, pretendem-se novos projetos com o aproveitamento da “água produzida” após tratamento para eliminação de substâncias orgânicas e diminuição da salinidade, há uma possibilidade de utilização na cultura da *Atriplex*

nummularia (Araújo, 2006; Barroso, 2006; Brilhante 2006, Campbell; Watthewson, 1992), espécie bastante resistente à presença de sais dissolvidos na água, principalmente em regiões carentes, que suscita o desenvolvimento de um planejamento estratégico de segurança alimentar e a adoção de políticas públicas, que possibilitem o rápido desenvolvimento de tecnologias apropriadas para o resgate destes recursos, gerando renda sustentável e melhoria da qualidade de vida de comunidades carentes nestas regiões (Albinati, 2003, Porto *et al.*, 2001, Cunha *et al.*, 2005, Esteves; Suzuki 2008, Glenn; Brown 1998, Santos *et al.*, 2011).

DESENVOLVIMENTO

O experimento foi desenvolvido em campo aberto, no Horto do Campus da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, em Natal, local de cultivo de plantas utilizadas para o reflorestamento da instituição.

A planta selecionada para este estudo foi a erva-sal (*Atriplex nummularia*). As mudas plantadas no experimento foram originadas por propagação vegetativa, através do processo de estaquia. As plantas matrizes, das quais foram tiradas estacas para produção de mudas foram obtidas a partir do campo da Embrapa de Petrolina – PE. O solo utilizado para o plantio da *Atriplex* foi adquirido do próprio Horto da UFRN. Ele foi revolvido manualmente com a ajuda de um instrumento de capinar (enxada) desfazendo todos os blocos de areia empacotados para possibilitar a homogeneização, não sendo realizado nenhum tratamento específico e sendo o mesmo composto por uma mistura de areia, latossolo vermelho amarelo e folhas secas provenientes do próprio Horto. Após esse procedimento foi transferido para 26 recipientes com capacidade de 8 Kg cada, previamente lavados e etiquetados. As estacas tinham comprimento de 20,0 cm e foram plantadas em 10/08/2007. Toda a plantação foi realizada em vasos, não sendo avaliado dessa forma, a capacidade de campo do experimento. Esse procedimento foi mostrado na Figura 1.

O plantio foi separado em dois blocos como mostra a Figura 2. No primeiro bloco

(Amostras de 1 a 12)¹ utilizou-se uma solução salina. O segundo (Amostras 13 a 25) foi cultivado com água potável. A solução de cloreto foi preparada a partir do NaCl (sal de cozinha) adquirido em supermercados do município de Natal. A salinidade média desta solução utilizada na irrigação foi de 2.840 mgL⁻¹ de cloreto. Essa solução foi preparada uma vez por mês totalizando seis preparações e a mesma permaneceu durante todo o plantio acondicionada em recipiente coberto, sem presença direta de luz solar, como forma de conservá-la sempre na mesma concentração.

O monitoramento da salinidade da água de irrigação foi feita mediante a colheita de um litro de amostra da solução após cada preparo e a concentração de cloreto foi determinada através do Método de Mohr. Durante o período do plantio até a data da colheita, todos os dias fez-se duas irrigações em cada bloco. O sistema de irrigação usado foi manual, não se deteve ao controle da quantidade de água utilizada em cada planta. As medidas mensais das plantas foram feitas tendo como referência a superfície do solo no qual as mesmas se encontravam. Amostras deste solo foram retiradas antes do plantio das mudas. A colheita da erva-sal foi realizada em 12/02/2008, onde retirou-se todo o material da parte aérea da planta, utilizando como ferramenta de corte um facão de aço inoxidável. Todas as plantas foram colhidas separadamente em um único dia.

A parte aérea da planta foi dividida em folha, caule fino e caule grosso. O caule fino foi considerado todo o material lenhoso com diâmetro máximo medindo cerca de 8,0 mm, e como caule grosso todo material lenhoso superior a este. As amostras foram separadas e transferidas para cápsulas de porcelanas e em seguida colocadas na estufa com circulação forçada de ar a 70 °C durante uma semana, até secagem completa. Após esse procedimento as plantas foram trituradas e armazenadas em frascos de plásticos. Em virtude da grande quantidade de plantas que seriam analisadas, houve a necessidade de se fazer uma redução na quantidade de amostras, de modo que se procedeu à obtenção de forma aleatória. Para isso foi utilizado o *software* Excel, a partir do uso da função aleatório simples (Ribeiro, 2004).

Nesse procedimento a seleção foi feita utilizando a forma de sorteio.

A função fornece um número aleatório inteiro entre os valores mínimo e máximo definidos, resultando em cinco amostras aleatórias para cada bloco. Foram feitas estimativas dos quantitativos de íons acumulados nos tecidos da planta, através da Cromatografia iônica (IC) e Espectroscopia de Emissão óptica por plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES). E para a determinação da composição química do solo utilizou-se um Equipamento de Fluorescência de Raios-X com Energia Dispersiva modelo EDX-720 da Shimadzu.

Caracterização do Solo

Antes da plantação uma porção do solo foi coletada para análise, sendo realizada em todos os vasos. A preparação do solo para análise consistiu na secagem em estufa com circulação forçada de ar a 110 °C durante uma semana. Em seguida o mesmo foi processado em peneira de 20 mesh, armazenado em recipientes de polipropileno e encaminhado para análise. Para a caracterização química do solo utilizou-se a Fluorescência de Raios-X com energia Dispersiva Modelo EDX-720 da Shimadzu (método semi-quantitativo). Essa análise foi realizada com o objetivo de verificar a constituição principal do solo no qual a planta seria cultivada, verificando em especial a ausência de metais pesados que pudessem prejudicar o crescimento das plantas, não sendo realizado dessa forma o cálculo do balanço de massa.

Caracterização morfológica

Duas amostras foram escolhidas aleatoriamente, uma salina e outra potável, elas foram desidratadas e divididas em folha, caule fino e caule grosso. As análises foram realizadas usando um Microscópio Eletrônico de Varredura Modelo Philips XL-30, e as imagens processadas no software do equipamento Philips XL-30.

Análise de Íons utilizando Cromatografia Iônica

Para essa análise foram pesados 500 mg de cada uma das amostras (previamente seca)

¹ Uma amostra do bloco 1 desapareceu do local após o plantio.

colocadas em contato com 50 mL de água deionizada, em seguida submetidas à agitação com um agitador magnético Modelo TE - 0851, da TECNAL, por três horas. Em seguida as amostras passaram por uma filtragem com filtro de papel quantitativo 0,45µm, da Sartorius Stedim, com auxílio de uma bomba à vácuo Modelo TE-058, da TECNAL, o filtrado foi armazenado em sistema de refrigeração para em seguida ser analisado. O material retido no papel de filtro também foi guardado para análise posterior de seus cátions.

A identificação e quantificação desses íons foram realizadas em um cromatógrafo de íons com supressão e detecção por condutividade. O equipamento utilizado foi o sistema de cromatografia de íons para análises de ânions Modelo ICS-2000, Dionex, acoplado a um detector de UV-Visível, Modelo ICS VWD. O sistema opera simultaneamente com um cromatógrafo de íons, Modelo ICS-3000 DUAL, Dionex, para análise de cátions. As colunas utilizadas foram: coluna de guarda AG19 e coluna analítica AS19, cátions: coluna de guarda CG12A e coluna analítica CS12A. Eluentes utilizados, ânions: sistema com geração de eluentes (RFIC™) com cartucho de KOH. As análises foram realizadas em regime de gradiente 10mM de 0 a 10 min, 10 a 45mM de 10 a 27 min, 45mM de 27 a 30 min para os cátions: H₂SO₄ 20 mM em regime isocrático. O tempo de varredura para os ânions foi 32 minutos e para os cátions de 21 minutos. Foram feitas análises por UV simultâneas para detecção dos ânions com leitura em 214 nm até 21 min passando para 225 nm até o final da varredura. A curva de calibração (curva analítica) foram preparadas utilizando-se de padrões adquiridos junto à DIONEX com exceção do acetato e formiato que são padrões da Specsol fabricados pela QUIMLAB. Todos os padrões são rastreáveis ao National Institute of Standards and Technology (NIST). A Tabela 1 mostra os dados relacionados aos limites de detecção e quantificação de cada composto.

Análise de Cátions utilizando Espectroscopia de Emissão Óptica por Plasma Indutivamente Acoplado

Nesse procedimento utilizou-se o método proposto pela (Empresa Brasileira de Pesquisa

Agropecuária 1999 e o Instituto Adolfo Lutz 1985). Após a filtração das amostras com filtro de papel quantitativo de 0,45µm da Sartorius Stedim, o tecido vegetal retido no papel de filtro foi transferido para uma cápsula de porcelana de 100 mL, colocados em uma mufla elétrica, Modelo EDG-3PS, a 500 °C por 3 horas, numa razão de aquecimento de 30 °C por minuto, e resfriados em dessecadores. O resíduo final obtido após aquecimento foi dissolvido numa solução de 50 mL de ácido nítrico (1 molL⁻¹) e em seguida armazenadas e encaminhadas para análise. A quantificação dos cátions presentes no tecido da planta foi realizada utilizando um Espectrômetro de Emissão Óptica com Plasma Indutivamente Acoplado Modelo ICAP 6300 da Shimadzu.

Análise da área superficial da *Atriplex nummularia*

Nesse procedimento foram utilizadas duas amostras (Salina/Potável). O equipamento utilizado para esta análise foi o BET, Modelo Nova 2000, séries da Quanta Chrome. As amostras foram submetidas a uma temperatura de 200 °C por duas horas à vácuo para limpeza, e em seguida analisadas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em virtude do grande número de amostras e, conseqüentemente, de resultados obtidos, os dados desses experimentos foram analisados empregando-se médias aritméticas [26] tanto para os resultados obtidos na análise química das amostras do solo quanto para as plantas.

A Figura 3 mostra o percentual dos elementos presentes no solo analisados por Fluorescência de Raios-X. O silício apresentou percentual de (58,69%), a literatura já demonstrou o envolvimento do silício em vários aspectos estruturais, fisiológicos e bioquímicos da vida das plantas, com papéis bastante diversos. Ele tem um papel importante nas relações planta-ambiente, pois pode dar à cultura melhores condições para suportar adversidades climáticas, edáficas e biológicas, tendo como resultado final um aumento e maior qualidade na produção. Estresses causados por temperaturas

extremas, veranicos, metais pesados ou tóxicos, por exemplo, podem ter seus efeitos reduzidos com o uso do silício (EMBRAPA, 2012). Em seguida foi observado a presença do cálcio (12,05%), sendo importante observar que ele é utilizado para o equilíbrio do pH do solo e participa do crescimento da parte aérea e das pontas das raízes (Malavolta, 2008). O alumínio apresentou um percentual de 9,17% e segundo Malavolta 2008 esse elemento apresenta efeito fungistático, sendo este comumente encontrado em solos tropicais devido a sua reação ácida com liberação do íon Al^{3+} , que em altas concentrações é tóxico, embora alguns estudos o considerem benéfico em baixas concentrações ($0,2\text{ mgL}^{-1}$) (Malavolta, 2008, Queiroz, 2007).

Para o ferro verificou-se uma concentração de 8,83% no solo, ele é um micronutriente essencial a vida normal da planta, participando de diversas reações bioquímicas importantes para a manutenção da saúde destas (Queiroz, 2007). O enxofre apresentou um percentual de 4,27% e essa concentração deve-se principalmente a presença de sais presentes no solo na forma de sulfatos, (Malavolta, 2006)

Para o potássio foi obtido um percentual de 3,52%, esse nutriente é importante, pois participa do equilíbrio hídrico, influencia na funcionalidade da célula guarda e abertura e fechamento dos estômatos (Malavolta, 2008). Em seguida aparece o titânio (1,97%) que faz parte da constituição natural do solo e não é absorvido pelas plantas. O fósforo apresentou uma concentração de 1,45% sendo considerado muito importante do ponto de vista fisiológico, por ser responsável pelo armazenamento de energia (ATP) para as reações bioquímicas, e um dos principais constituintes dos ácidos nucleicos (Malavolta, 2008) Em seguida verificou-se a presença do zircônio (0,31%) que faz parte da constituição natural do solo e não é absorvido pelas plantas. Finalmente, observou-se a presença dos elementos, manganês, zinco, cobre e estrôncio que são micronutrientes essenciais para a nutrição das plantas (Queiroz, 2007).

A concentração de cloreto durante a irrigação da *Atriplex* com solução salina apresentou uma concentração média final de 2.840 mgL^{-1} .

O teor de cloreto na água potável utilizada durante o cultivo da *Atriplex* foi de 250 mgL^{-1} ,

sendo considerado a concentração máxima de cloreto para uma água potável, em acordo com a resolução Nº 518 de 25 de março de 2004 do Ministério da Saúde.

De acordo com a Figura 4, no primeiro mês de crescimento as plantas irrigadas com solução salina apresentaram maior crescimento (4,84%) em relação as irrigadas com água para consumo humano. Diante desse resultado foi possível verificar que as plantas sujeitas a estresse salino por vezes toleraram mudanças nessas condições em seu ambiente.

No segundo mês as amostras irrigadas com água potável desenvolveram-se cerca de (2,43%) a mais em relação as salinas. No terceiro mês as plantas irrigadas com água potável cresceram (28,62%) a mais quando comparada as salinas, isso ocorreu devido ao acúmulo de sais nas partes aéreas das plantas irrigadas com solução salina. No entanto no quarto mês as plantas irrigadas com solução salina cresceram (3,38%) a mais quando comparado as potáveis, esses resultados mostram a capacidade que essas plantas tem de se desenvolverem e completarem seu ciclo de vida sobre um substrato que contém elevada concentração de sais solúveis (Esteves; Suzuki, 2008).

No quinto mês a amostra irrigada com água para consumo cresceu (5,25%) quando comparado com as irrigadas com solução salina. Segundo dados da literatura isso acontece devido a capacidade que esses organismos apresentam em tolerar ambientes salinos, desenvolvendo mecanismos especializados de acumulação de sais no interior de seus tecidos, ou de eliminação dos mesmos por meio de vesículas especiais existentes na superfície das folhas (Curbelo, 2002, Esteves; Suzuki, 2008, Gabardo, 2007).

De acordo com a Figura 5a conclui-se que o íon sódio apresentou maior valor ($357,26\text{ mgL}^{-1}$) em relação aos demais e isso ocorre devido a afinidade que essa planta apresenta em relação a este íon. Um outro fator é a perda de água da planta na forma de vapor, esse processo conhecido como transpiração possibilita o acúmulo de sais na superfície da folha (Soares, 2006). No caule fino a concentração desse íon diminui para ($67,75\text{ mgL}^{-1}$), e no caule grosso $18,28\text{ mgL}^{-1}$, o que assegura que esse íon é retirado pelas raízes e retido em maior

quantidade nas folhas. O segundo elemento encontrado na folha foi o cloreto ($616,50 \text{ mgL}^{-1}$), decrescendo esse teor do caule fino para o caule grosso, conforme observado para o sódio. O terceiro elemento identificado na folha foi o potássio ($357,26 \text{ mgL}^{-1}$), o qual apresentou uma concentração maior do que o sódio no caule fino e no caule grosso. A predominância do potássio se deve a sua forma livre, e sua redistribuição no xilema, apresentando grande mobilidade em toda parte da planta (Esteves; Suzuki, 2008). O nitrato ($34,97 \text{ mgL}^{-1}$) foi o quarto íon em maior concentração na folha. Ele prende-se fracamente à micela da argila alcançando concentrações relativamente altas (Araújo, 2006a). O sulfato apresentou ($30,81 \text{ mgL}^{-1}$) e na folha, esse ânion também se prende fracamente a micela da argila e atinge teores mais elevados nas plantas. Essa concentração decresce do caule fino ($13,28 \text{ mgL}^{-1}$) para o caule grosso ($6,88 \text{ mgL}^{-1}$) e é a principal forma do enxofre absorvido pelas plantas através das raízes. O íon amônio ($13,32 \text{ mgL}^{-1}$) foi o sexto em quantidade determinada na folha e essa concentração diminui do caule fino para o caule grosso e foi determinado em todas as partes da planta estudada. Esse íon é o resultado da redução de NO_3^- realizada mediante duas reações consecutivas catalisadas pelas enzimas redutase de nitrato e redutase de nitrito com formação de NH_4^+ (Viêga *et al.*, 2001). O acetato ($4,73 \text{ mgL}^{-1}$) foi o sétimo íon em quantidade encontrada na folha, essa concentração aumentou no caule fino e permaneceu menor no caule grosso. O formiato apresentou quantidade maiores na folha ($2,96 \text{ mgL}^{-1}$) esse teor diminuiu do caule fino para o caule grosso.

De acordo com os resultados mostrados na Figura 5b foi concluído que o sódio ($630,63 \text{ mgL}^{-1}$) apresentou maior concentração na folha, seguido do caule fino ($64,67 \text{ mgL}^{-1}$) e caule grosso ($24,33 \text{ mgL}^{-1}$). Já o cloreto ($595,50 \text{ mgL}^{-1}$) na folha. Esse íon pode ser encontrado nessa parte da planta na forma de NaCl . O potássio ($216,48 \text{ mgL}^{-1}$) na folha. Ele apresenta-se em maiores quantidades no caule fino e no caule grosso quando comparado com a quantidade de sódio e cloreto nessa espécie. O estresse causado pelo aumento de Na^+ e Cl^- em determinadas plantas, faz com que esses elementos sejam acumulados em maiores quantidades nas folhas, seguidos pelas raízes (Khan *et al.*, 2000). O nitrato apresentou $24,58$

mgL^{-1} na folha, sua concentração diminuiu quando comparado com as amostras irrigadas com água potável. De acordo com trabalhos publicados por Viêgas e Co-autores, (2004), a redução assimilatória do NO_3^- tem assumido importância central em plantas expostas a salinidade. Os decréscimos observados na absorção de nitrato, têm sido associados a uma reduzida absorção deste íon ou, ainda, à competição existente entre ele e o íon cloreto. O íon amônio apresentou ($13,29 \text{ mgL}^{-1}$) sendo esse resultado próximo do obtido para as amostras irrigadas com água potável ($13,32 \text{ mgL}^{-1}$). Esse íon é o resultado da redução de NO_3^- realizada mediante duas reações consecutivas catalisadas pelas enzimas redutase de nitrato e redutase de nitrito com formação de NH_4^+ (Viêgas *et al.*, 2001). O íon acetato apresentou ($5,27 \text{ mgL}^{-1}$), essa concentração aumenta novamente no caule fino e decresce no caule grosso. O íon formiato ($2,69 \text{ mgL}^{-1}$) teve o mesmo comportamento do acetato.

De acordo com os dados apresentados na Figura 6a é possível verificar que o cálcio ao contrário do que foi visto pela cromatografia de íons, apresentou maior concentração quando comparado ao potássio e ao magnésio, isso significa que o cálcio não se desprende das partes aéreas da planta quando submetidas a agitação com água deionizada, confirmando sua presença apenas após calcinação. Isso foi possível porque o elemento no floema forma complexos "sais insolúveis", formando oxalatos ou fosfato que restringe sua redistribuição (Queiroz, 2007, Katherine, 1974).

De acordo com as análises foi possível verificar que ao contrário do que ocorreu na folha, o ferro foi o elemento encontrado com maior concentração no caule fino e em seguida no caule grosso, a diminuição de sua quantidade na folha estaria relacionada com a concentração elevada de íons na solução. As concentrações desses cátions diminuem nesta parte do tecido vegetal quando comparado ao quantificado nas folhas. Conforme observado na Figura 6b foi verificado na pesquisa uma maior absorção do alumínio pela folha em relação aos outros cátions, esse alumínio foi proveniente do solo, uma vez que de acordo com análise de fluorescência de raios -X este se encontrou em maior proporção quando comparado aos outros elementos. Além do alumínio a planta retirou do solo o zinco, o cobre e o manganês. O boro e o

cromo não foram identificados na análise do solo embora encontrados nas plantas, isso se deve ao limite de detecção do equipamento utilizado durante a caracterização do solo. A função do boro é similar a do cálcio, ele é responsável pela regulação de síntese e na estabilização de determinados componentes da parede celular e também da membrana plasmática (Malavolta, 2006).

De acordo com os resultados obtidos na Figura 6b nas amostras irrigadas com solução salina foi possível verificar que a ordem de absorção e os elementos absorvidos pelas plantas são os mesmos determinados para a planta irrigada com água potável Figura 6a.

O ferro foi encontrado em menor concentração em relação ao alumínio, esse resultado é o mesmo para as amostras irrigadas com água potável. Nesta análise a ordem de absorção dos cátions pela erva-sal irrigada com solução salina foi a mesma para a água potável.

Durante a análise morfológica foi verificado a estrutura das partes aéreas da *Atriplex nummularia* como mostrado na Figura 7. Através dela foi verificada a presença de cristais cúbicos na superfície das folhas. Bem como, sua identificação nos dois blocos da planta. Esses cristais foram determinados de maneira semiquantitativa e cuja composição é de cloreto de sódio. Sua identificação nas folhas se deve a eliminação destes nessa parte do tecido vegetal, garantindo dessa forma um equilíbrio osmótico. Em plantas de *habitat* salino as glândulas secretam sais, como é o caso da *Atriplex* (Katherine, 1974). Como já foi mencionado esses cristais foram observados apenas nas folhas de *Atriplex*, no caule fino e no grosso não foram observados a presença destes pela caracterização morfológica. A ausência de estômatos nas folhas submetidas ao estudo, isso pode ser explicado devido ao estresse salino ao qual a planta foi submetida (Araújo et al., 2006). Ou por outro lado, os estômatos podem estar localizados na parte inferior das folhas, provocando assim o fechamento destes, uma vez que neste estudo foi analisada apenas a parte superior destas.

De acordo com as análises de BET, as amostras da *Atriplex* irrigadas com solução salina tiveram um aumento na sua área superficial da folha ($4,6551 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$), caule fino ($6,8892 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$) e caule grosso ($5,1528 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$) quando comparadas

com as espécies irrigadas com água potável, folha ($3,6586 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$) caule fino ($3,3951 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$) e caule grosso ($3,8863 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$) esse aumento na área superficial foi proporcionado pelo acúmulo maior de sais em suas estruturas vegetais uma vez que essas plantas foram irrigadas com solução salina com concentração média de 2.840 mgL^{-1} de cloreto. Trabalhos realizados mostraram a potencialidade da *Atriplex* na adsorção de íons nitrato, sendo observado que as folhas da *Atriplex nummularia* apresentaram um maior potencial de adsorção em relação aos caules fino e grosso, mostrando um percentual de 70,3% no tempo de 4 horas de contato (Santos et al., 2011).

Análises microscópicas da superfície das partes aéreas das plantas identificaram de forma semiquantitativa a presença de cristais cúbicos de cloreto de sódio na folha da erva-sal. Análises da área superficial mostrou que as plantas irrigadas com solução salina apresentam área superficial maior em relação as plantas irrigadas com água potável.

Com base em todos os resultados obtidos foi concluído que a *Atriplex* é uma planta que apresenta potencialidade em sobreviver e adaptar-se a ambientes salinos, podendo ser utilizada como uma fonte absorvedora de sais dos solos contaminados por efluentes resultantes de processos industriais nos quais tem a água salina como produto final de seus processos.

CONCLUSÕES

Os resultados da presente investigação mostraram que as plantas pertencentes ao gênero *Atriplex nummularia* desenvolveram-se e mantiveram o seu crescimento em ambientes de teor salino médio de 2840 mgL^{-1} de cloreto. As amostras irrigadas com água potável cresceram 5% a mais em relação às irrigadas com solução salina.

As análises cromatográficas mostraram que a *Atriplex* apresenta composição química diversificada, sendo identificada a presença dos íons: amônio, cloreto, fosfato, magnésio, nitrato, potássio, sódio e sulfato. No entanto, o sódio e o cloreto predominaram sobre os demais. Por outro lado, os íons cálcio, acetato e formiato apresentaram-se em menor proporção. Nas

análises obtidas pela Espectroscopia de Emissão Óptica foram identificadas as seguintes espécies e ordem de absorção: sódio, cálcio e potássio, ferro, alumínio, zinco, manganês e magnésio. O cálcio e o potássio foram hegemônicos sobre o sódio no caule fino e caule grosso das plantas.

REFERÊNCIAS

1. Albinati, R. C. B.; Albinati, A. C. L.; Medeiros, Y. D. **XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**: Curitiba, Brasil, p. 1-17, 2003.
2. Araújo, S. A. M.; Silveira, J. A. G.; Almeida, T. D.; Rocha, I. M. A.; Morais, D. L.; Viégas, R. A. Salinity tolerance of halophyte *Atriplex nummularia* L. grown under increasing NaCl levels. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, vol.10, n. 4, p. 848-854, 2006a.
3. Araújo, S. A. M.; Silveira, J. A. G.; Almeida, T. D.; Rocha, I. M. A.; Morais, D. L.; Viégas, R. A. Salinity tolerance of halophyte *Atriplex nummularia* L. grown under increasing NaCl levels. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.10, n.4, p.848-845, 2006b.
4. Barroso, D. D.; Araújo, G. G. L.; Porto, E. R.; Porto, F. R. Produtividade e valor nutritivo das frações forrageiras da erva-sal (*Atriplex nummularia*) irrigada com quatro diferentes volumes de efluentes da criação de tilápia em água salobra. **Agropecuária Técnica**, v. 27, n.1, 2006.
5. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução número 357, Publicada no DOU nº 053, 2005, p. 58-63. Disponível em: http://www.mma.gov.br/port/conam/legislacao/CONAMA_RES_CONS_2005_357.pdf. acesso em: 20 jan. 2008.
6. Brilhante, J. C. A. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Ceará, Brasil, 2006.
7. Cunha, G.M.A.; Chiovone-Filho, O.; Silva, D. N.; Nascimento, C.A.O. Tratamento de Águas Produzidas em Campos de Petróleo: Estudo da Estação de Guamaré/RN. Congresso Brasileiro de Engenharia em Iniciação Científica. **Anais eletrônicos**. Campinas/SP: UNICAMP, v.6, 2005.
8. Curbelo, F. D. S. Dissertação de Mestrado, UFRN, Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Natal – RN, Brasil. 2002.
9. Campbell, E.G.; Matthewson, W.J. Optimizing Germination in *Atriplex nummularia* for Commercial Cultivation. **South African Journal Botany**. v.58, n.6, p.478-481, 1992.
10. Curbelo, F. D. S. Dissertação de Mestrado, UFRN, Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Natal – RN, Brasil. 2002.
11. ESTEVES, B. S.; Suzuki, M. S. Efeito da Salinidade Sobre as Plantas. **Oecologia Brasiliensis**, v.12, n. 4, p. 662-679, 2008.
12. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 1999).
13. Embrapa Agropecuária Oeste. Oscar Fontão de Lima Filho. Artigo. Dourados, Mato Grosso do Sul. 2012.
14. Gabardo, I. T. Dissertação (Mestrado em Química) - Programa de Pós-Graduação em Química. Natal, Brasil. 2007.
15. Glenn, E. P.; Brown, J. J. Effects of soil salt levels on the growth and water use efficiency of *Atriplex canescens* (Chenopodiaceae) varieties in drying soil. **American Journal of Botany**, v.85, p.10–16, 1998.
16. Katherine, E. Anatomia das Plantas com Sementes. São Paulo: Edgard Blucher, 1974.
17. Leal, I. G.; Accioly, A. M. A.; Nascimento, C. W. A.; Freire, M. B. G. S.; Montenegro, A. A. A.; Ferreira, F. L. Fitorremediação de solo sódico por *Atriplex Nummularia* e gesso de jazida. **Revista brasileira de Ciência do Solo**. v.32, n.3, p. 1065-1072, 2008.
18. Khan, M. A.; Ungar, I. A.; Showalters, A. M. Effects of Salinity on Grown, Water Perennial Halophyte, *Atriplex Griffithii* var.

- stocksii. **Annals of Botany Company**. v.85, p.225-235, 2000.
19. Malavolta, E. O Futuro da Nutrição de Plantas tendo em vista aspectos agrônômicos, econômicos e ambientais. **International Plant Nutrition Institute – Brasil**. n. 121. p.1-10, 2008.
 20. Malavolta, E. Manual de nutrição mineral de plantas. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, p.638, 2006.
 21. Menezes, D. R. Degradabilidade Ruminal de Halofitas Irrigadas com Rejeito de dessalinização em Ovinos. Congresso Nordeste de Produção Animal, 4, 2007, Petrolina. **Anais eletrônicos**. Petrolina-PE. SNPA. 2007.
 22. Ministério da Saúde. Resolução nº 518, de 25 de março de 2004. Disponível em: <http://dtr2001.saude.gov.br/sas/PORTARIAS/Port2004/GM/GM-518.htm>. Acesso em: 20 jan 2008.
 23. Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz – Vol.: 1 – 1985.
 24. OBRAS contra as secas: objetivos, programas, ação da inspetoria, resultados. Boletim da Inspetoria Federal de Obras Contra as Secas, Rio de Janeiro, v. 10, n. 2, p. 157-197, 1938.
 25. Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação. Estudos de caso de espécies vegetales para zonas áridas y semiáridas. Santiago: Oficina Regional de la FAO para América Latina y El Caribe, 143 p, 1996.
 26. Porto, E. R.; Amorim, M. C. C.; Silva JUNIOR, L. G. A. Uso do rejeito da dessalinização de água salobra para irrigação da erva-sal (*Atriplex nummularia*). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.5, n.1, p. 111-114, 2001.
 27. Porto, E. R.; Araújo, G. G.; Uso da erva sal (*Atriplex nummularia*) como forrageira irrigada com água salobra. EMBRAPA semi-árido. Circular técnica n. 53. Petrolina, PE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.1, p.53-60, 2003.
 28. Ribeiro, J. R., José Ivo. Análises Estatísticas no Excel: Guia Prático. 2004.
 29. Salem, H. B.; Nefzaoui, A.; Salem, L. B. Spineless cactus (*Opuntia ficus indica* f. inermis) and oldman saltbush (*Atriplex nummularia* L.) as alternative supplements for growing Barbarine lambs given straw-based diets. **Small Ruminant Research**. v.51. n.1, p. 65-73, 2003.
 30. Santos, E. V; Araújo, E. G; Silva, M. L; Fernandes, N. S. Preliminary Assessment of the Potential of *Atriplex Nummularia* in the Adsorption of Nitrate ions. **Revista Analítica**. p. 2-4, 2011.
 31. Silva, C. R. R. Água Produzida na Extração de Petróleo. Trabalho de conclusão de curso (Especialização em gerenciamento e tecnologias ambientais na indústria). Escola Politécnica. Departamento de Hidráulica e Saneamento, 2000.
 32. Soares, T. M.; Silva, I. J. O.; Duarte, S. N. S.; Ênio, F.F.E. Destinação das águas residuárias provenientes do processo de dessalinização por Osmose reversa. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**. v.10, n.3, p.730-737, 2006.
 33. Souto, J. C. R. Desempenho produtivo de ovinos alimentados com dietas contendo níveis crescentes de feno de erva sal (*Atriplex nummularia* Lindl). **Revista Ciência Econômica**. v.36, n.3, p. 376-381, 2005.
 34. Queiroz, L. Efeito da localização de nutrientes em profundidade para o crescimento radicular USP. Escola superior de agricultura. 2007.
 35. Viégas, R. A.; Silveira, J. A. G.; Junior, A. R. L.; Queiroz, J. E.; Fausto, M. J. M. Effects of NaCl-salinity on growth and inorganic solute accumulation in Young cashew plants. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.5, n.2, p. 216-222, 2001.
 36. Viégas, R. A.; Silveira, J. A. G.; Silva, L. M. M.; Viégas, P. R. A.; Queiroz, J. E. Redução assimilatória de nitrato em plantas de cajueiro cultivados em meio salinizado. **Revista Brasileira de**

37. Wilson, A. D. The value of *Atriplex* (saltbush) and *Kochia* (bluebush) species

Figura 1. Preparação do solo (a) e plantio das estaquias da *Atriplex Nummularia* (b)

Figura 2. Acompanhamento do Crescimento da *Atriplex nummularia* durante o cultivo. (a) um mês, (b) dois meses (c) três meses (d) quatro meses (e) cinco meses e (f) seis meses.

Figura 3. Percentual dos elementos presentes no solo analisados por Fluorescência de Raios-X

Figura 4. Média do crescimento da *Atriplex nummularia* irrigada com solução salina e com água potável

Figura 5. Íons presentes na *Atriplex nummularia* irrigada com água potável (a) e água salina (b)

Figura 6. Cátions presentes na *Atriplex nummularia* irrigada com água potável (a) e água salina (b)

Figura 7 - Caracterização morfológica da folha de *Atriplex nummularia* irrigada com solução salina

Tabela 1. Dados referentes ao Limite de Detecção (LD) e Limite de Quantificação (LQ) dos compostos presentes na *Atriplex nummularia* analisados por Cromatografia de Íons.

Composto	Concentração em mgL ⁻¹												LD	LQ	R
Acetato	-	-	0,1	0,5	1	5	10	20	-	-	-	-	0,030	0,100	0,9997
Formiato	-	-	0,1	0,5	1	5	10	20	-	-	-	-	0,030	0,100	0,9997
Cloreto	0,05	0,1	0,5	1	2	4	10	20	50	100	200	500	0,152	0,500	0,9992
Nitrito	0,05	0,1	0,5	1	2	4	10	20					0,152	0,500	0,9995
Nitrato	0,05	0,1	0,5	1	2	4	10	20					0,152	0,500	0,9995
Brometo	0,05	0,1	0,5	1	2	4	10	20					0,152	0,500	0,9992
Sulfato	0,05	0,1	0,5	1	2	4	10	20					0,152	0,500	0,9991
Sódio	0,04	0,08	0,2	0,4	0,8	2	4	20	32,4	64,8	129,6	324	0,061	0,200	99,917
Amônio	0,05	0,1	0,25	0,5	1	2,5	5	25					0,076	0,250	0,9995
Potássio	0,1	0,2	0,5	1	2	5	10	50					0,152	0,500	0,9996
Magnésio	0,05	0,1	0,25	0,5	1	2,5	5	25					0,076	0,250	0,9999
Cálcio	0,1	0,2	0,5	1	2	5	10	50					0,152	0,500	0,9996