

VI-079 - FITOEXTRAÇÃO DE SAIS COM *Atriplex nummularia* SOB IRRIGAÇÃO: UMA ALTERNATIVA PARA RECUPERAÇÃO DE SOLOS SALINO-SÓDICOS

Edivan Rodrigues de Souza ⁽¹⁾

Agrônomo pela Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA). Mestre em Agronomia (Ciência do Solo) pela Universidade Federal Rural de Pernambuco. Doutor em Agronomia (Ciência do Solo) pela Universidade Federal Rural de Pernambuco. Professor Adjunto do Departamento de Agronomia da Universidade Federal Rural de Pernambuco.

Maria Betânia Galvão dos Santos Freire

Agrônoma pela Universidade Federal Rural de Pernambuco. Mestre em Agronomia (Ciência do Solo) pela Universidade Federal Rural de Pernambuco. Doutor em Agronomia (Solos e Nutrição de Plantas) pela Universidade Federal de Viçosa – MG. Professora Adjunta do Departamento de Agronomia da Universidade Federal Rural de Pernambuco.

Karina Patrícia Vieira da Cunha

Bióloga pela Universidade Federal Rural de Pernambuco. Doutora em Agronomia (Ciência do Solo) pela Universidade Federal Rural de Pernambuco. Professora Adjunta do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal Rural de Pernambuco.

Clístenes Williams Araújo do Nascimento

Agrônomo pela Universidade Federal da Paraíba. Mestre em Agronomia (Solos e Nutrição de Plantas) pela Universidade Federal de Viçosa – MG. Doutor em Agronomia (Solos e Nutrição de Plantas) pela Universidade Federal de Viçosa – MG. Professor Associado I do Departamento de Agronomia da Universidade Federal Rural de Pernambuco.

Endereço⁽¹⁾: Rua Dom Manoel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos – Recife – PE, CEP: 52171-900 - Brasil - Tel: (81) 3220-6235 - e-mail: edivans@hotmail.com

RESUMO

Dentre os fatores de degradação do solo, na região semiárida brasileira, destaca-se a salinidade e sodicidade do solo. Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o potencial da *Atriplex nummularia* Lindl para a fitoextração de sais em um Neossolo Flúvico sódico salino. Para tanto, foram avaliados a produção de massa seca de folha, caule e raiz, a acumulação de Na⁺ na parte aérea e a relação destes com alterações morfológicas de tricomas vesiculares em epiderme de folhas adultas de *Atriplex nummularia* Lindl. cultivada em solo salino sódico sob condições de estresse hídrico. O potencial da *Atriplex nummularia* L. para ocupar e recuperar áreas degradadas por sais pôde ser demonstrado por sua capacidade de crescimento em solo salino-sódico. O resultado obtido nesse estudo reforça a hipótese de que a irrigação mesmo com água salina (750 $\mu\text{S cm}^{-1}$) pode ser usada como prática potencializadora da fitoextração de sais com *Atriplex nummularia*, uma vez que, maiores teores de umidade no solo promoveram aumento da capacidade extrativa de Na⁺ do solo e maior produção de biomassa, características que podem ser usadas para acelerar o processo de recuperação de solos salinos e sódicos. As correlações entre diâmetros e volumes médios das vesículas em tricomas vesiculares presentes na superfície foliar de *Atriplex nummularia* e produção de biomassa e a redução nos teores de Na⁺, K⁺ e Cl⁻ solúveis no solo, corroboram a hipótese de que a tolerância e acumulação de sais nessa espécie são atribuídas à presença de tricomas vesiculares recobrimdo a superfície foliar.

PALAVRAS-CHAVE: Fitorremediação, salinidade, sodicidade, halófitas.

INTRODUÇÃO

A degradação do solo pode ser definida como um processo que reduz a capacidade ou potencialidade do solo produzir bens e serviços. Dentre os fatores de degradação do solo, na região semiárida brasileira, destaca-se a salinidade e sodicidade do solo. A salinização do solo pode ter causas naturais ou antropogênicas, quando resultam do manejo inadequado da irrigação. De acordo com Ribeiro et al (2003), solos halomórficos caracterizam-se por apresentar elevadas concentrações de sais solúveis, sódio trocável ou ambos, que se desenvolvem sob condições imperfeitas de drenagem, em regiões áridas e semiáridas, onde a baixa precipitação

pluvial, a presença de horizontes ou camadas impermeáveis e a elevada evapotranspiração proporcionam o aumento da concentração de sais solúveis na solução do solo e, posteriormente, aumento da percentagem de Na trocável, interferindo no desenvolvimento normal das plantas.

O desenvolvimento de técnicas de recuperação de solos salinos, além de reduzir um grave problema ambiental e social, provocado pela ocorrência de áreas com excesso de sais, também constituem alternativa para a sustentabilidade econômico-social das áreas irrigadas comprometidas por sais solúveis e sódio trocável. Dentre as técnicas de recuperação de solos salino-sódico, destaca-se o uso de corretivos químicos, associado à lavagem do solo. Os corretivos químicos podem ser neutros, como o gesso, ou de reação ácida como ácido sulfúrico. Entretanto, a eficiência depende da ação conjunta com as práticas de naturezas físicas e biológicas, como aração, gradagem, lixiviação e utilização de plantas tolerantes aos efeitos dos sais.

Recentemente, a fitoextração tem sido apontada como alternativa na recuperação de solo salino e sódico. A fitoextração de sais tem revelado efeitos de recuperação de solos salino-sódicos comparáveis aos da aplicação de corretivos químicos, com a vantagem adicional de ser uma alternativa de baixo custo e não agressiva ao ambiente (Qadir et al., 2007; Leal et al., 2008; Souza, 2010). Dada a quantidade incipiente de trabalhos na literatura, existe ainda grande demanda por estudos nessa área.

Sabe-se que para o sucesso da fitoextração de sais em solos salino-sódicos, as plantas devem apresentar tolerância ao excesso de sais e alta produção de biomassa (massa seca da parte aérea) nessa condição. Além disso, devem acumular elevados teores de sais na parte aérea, visando possibilitar a remoção dos sais com a colheita das plantas. A espécie halófito, *Atriplex nummularia* Lindl, conhecida como erva-sal, tem apresentado potencial para uso em programas de fitoextração, devido a sua tolerância a salinidade e sodicidade do solo. A tolerância da *Atriplex nummularia* a salinidade é, muitas vezes, atribuída à presença de tricomas vesiculares que recobrem a superfície foliar e apresentam grande capacidade de acumulação de sais. Diferentes funções foram atribuídas a estes tricomas, tais como a absorção de água da atmosfera, armazenamento da água, e secreção de sal. Após o rompimento, estas células depositam o sal na superfície das folhas, conferindo-lhes um aspecto brilhante (Mozafar et al., 1970; Boughalleb et al., 2009).

De acordo com Boughalleb et al. (2009), a tolerância vegetal a salinidade é uma característica complexa que envolve a interação de várias propriedades. Como objetivo de se identificar e compreender mecanismos de tolerância vegetal aos sais tem crescido o interesse em estudar o comportamento morfológico e anatômico das plantas tolerantes. A caracterização dos padrões de crescimento e consumo de água em halófitas sob condição de irrigação, especialmente em condições de salinidade, é uma pesquisa básica que deve ser explorada (Jordan et al., 2009; Souza, 2010). Pensando no aprimoramento da fitoextração para recuperação de solos salino-sódicos em ambientes de clima árido e semi-árido se faz necessário avaliar, também, o desempenho da *Atriplex nummularia* L. na extração de sais quando submetidas a diferentes níveis de umidade no solo, sob irrigação com águas salinas, que são abundantes nessas regiões.

O presente trabalho tem como objetivo avaliar o potencial da *Atriplex nummularia* Lindl para a fitoextração de sais em um Neossolo Flúvico sódico salino. Para tanto, foram avaliados a produção de massa seca (biomassa) de folha, a acumulação de Na^+ na parte aérea e a relação destes com alterações morfológicas de tricomas vesiculares em epiderme de folhas adultas de *Atriplex nummularia* Lindl. cultivadas em solo salino sódico sob condições de estresse hídrico.

MATERIAIS E MÉTODOS

Plantas de *Atriplex nummularia* L. foram cultivadas por 134 dias em um experimento de casa-de-vegetação utilizando-se amostras de um Neossolo Flúvico sódico salino oriundas do município de Pesqueira (PE) e coletada na profundidade de 0-30 cm. Tomando-se como referência a umidade do solo na capacidade de campo ($0,152 \text{ g g}^{-1}$), foram estabelecidos quatro níveis desta (35, 55, 75 e 95%). A irrigação, com água suficiente para manter os níveis de umidade estabelecidos, foi procedida diariamente. A água utilizada para irrigação foi preparada em laboratório com sais de NaCl , CaCl_2 e MgCl_2 a uma condutividade elétrica (CE) de $750 \mu\text{S cm}^{-1}$, tomando-se como referência o valor médio da CE encontrado nos cursos de água, especialmente poços, próximos ao local de coleta do solo. O solo foi seco ao ar, destorroado, homogeneizado e passado em peneira de 4 mm para preenchimento dos vasos. A textura do solo foi classificada como franco arenoso (592, 327 e 81 g kg^{-1} de areia, silte e argila, respectivamente). Os valores de pH do solo, capacidade de troca de cátions,

percentagem de sódio trocável e condutividade elétrica do extrato de saturação foram, respectivamente, 8,66; 4,69 cmolc kg⁻¹, 71,20 % e 42,56 dS m⁻¹.

Aos 134 dias após o transplântio (DAT), a parte aérea das plantas foi coletada a 1 cm da superfície do solo e fracionada em folha e caule, pesando-se para obtenção da massa fresca de cada fração da planta. As raízes também foram coletadas, com o auxílio de água corrente sobre peneira. Todas as frações (folha, caule e raiz) foram colocadas em estufa de circulação forçada a 65° C até estabilização do peso para a obtenção da massa seca. Amostras de folhas adultas de *Atriplex nummularia* foram coletadas aos 134 dias após o transplântio e imediatamente fixadas em solução de FAA 50 por um período mínimo de 24-48 horas e só então foram submetidas às análises anatômicas. O experimento foi conduzido em blocos ao acaso com quatro repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância, teste de Tukey e correlação de Pearson a partir do procedimento GLM do SAS.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Plantas cultivadas com maior teor de umidade no solo salino-sódico apresentaram maior produção de matéria seca (Figura 1).

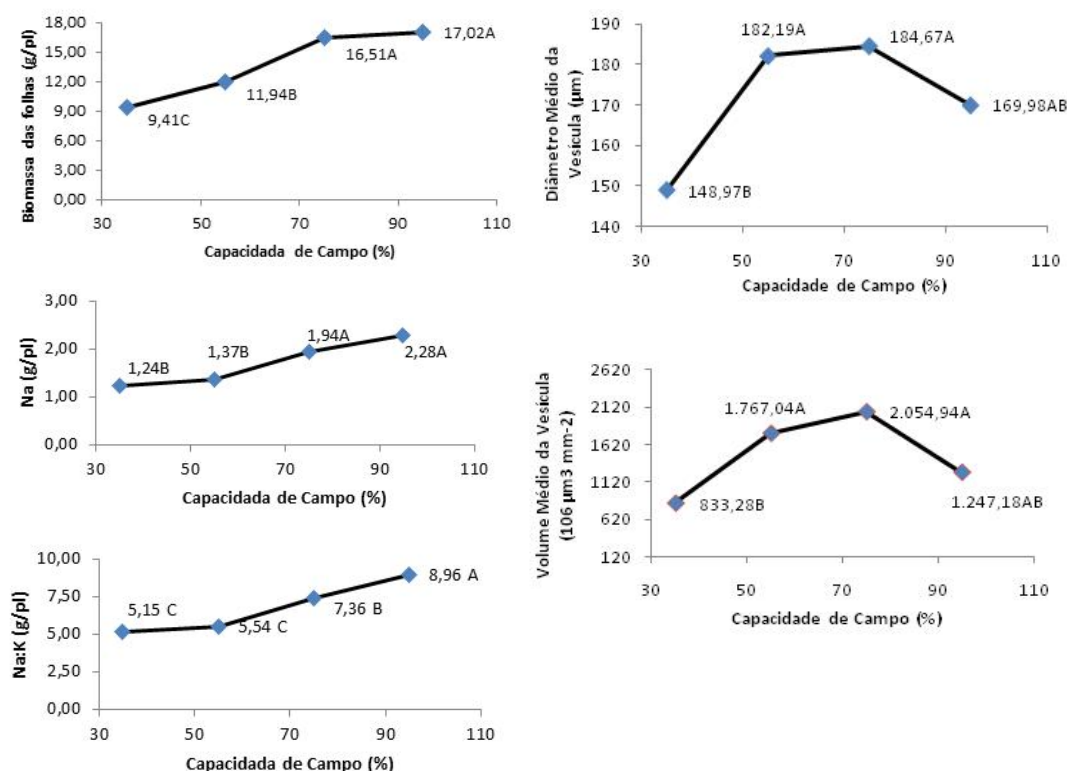


Figura 1: Biomassa das folhas, teor de Na nas folhas, relação Na:K, diâmetro médio vesicular e volume médio vesicular de folhas de *Atriplex nummularia* Lindl. em função do nível de umidade.

Foram observados incrementos de 21; 75 e 81% na matéria seca das folhas após o tratamento com 55, 75 e 95% da CC, respectivamente, quando comparado ao nível mais baixo de umidade do solo (35% da CC). Maior produção de matéria seca da parte aérea de plantas cultivadas em solos afetados por sais é uma característica indispensável ao sucesso de programas de fitoextração de sais. Segundo Leal et al. (2008), para o sucesso da fitoextração de sais em solos salino-sódicos, as plantas devem apresentar tolerância ao excesso de sais e alta produção de biomassa (matéria seca da parte aérea) nessa condição.

Além de alta produção de biomassa em condições de salinidade e sodicidade, as plantas fitoextratoras devem apresentar acumulação de elevados teores de sais na parte aérea, visando possibilitar a remoção dos sais com a colheita da parte aérea das plantas na área a ser recuperada/remediada. Nesse tocante, a *Atriplex nummularia* L. apresenta grande potencial de utilização na recuperação de solos salinos e sódicos, uma vez que além da alta

produção de biomassa, houve elevada acumulação de Na^+ na parte aérea das plantas (Figura 1) com o aumento do teor de umidade do solo. Esse resultado indica que manter um bom nível de umidade no solo é uma forma de otimizar a fitoextração de Na^+ com *Atriplex nummularia* L. O aumento da relação Na:K nas folhas com o aumento da umidade do solo (Figura 1) também demonstra esse potencial de uso de *Atriplex nummularia* L. para recuperação de solos salinos e sódicos sob irrigação. Maiores relações Na:K nas folhas indica que a *Atriplex nummularia* L. extrai proporcionalmente mais sódio que potássio do solo, reduzindo o desequilíbrio iônico em solos sódicos, tão prejudicial ao crescimento da maioria das espécies.

Com o objetivo de identificar relações entre a tolerância, que permite a alta acumulação de sais e produção de biomassa, e a presença de tricomas vesiculares na superfície foliar dessa espécie foram avaliados caracteres anatômicos da epiderme foliar. Na *Atriplex nummularia* L., a tolerância a salinidade/sodicidade parece estar intimamente ligada à presença de tricomas vesiculares, constituído de duas células facilmente distinguíveis a peduncular e vesicular, na epiderme foliar (Figura 2), concorrendo para a sobrevivência e crescimento dessa espécie em ambientes áridos e semiáridos com problemas de salinidade.

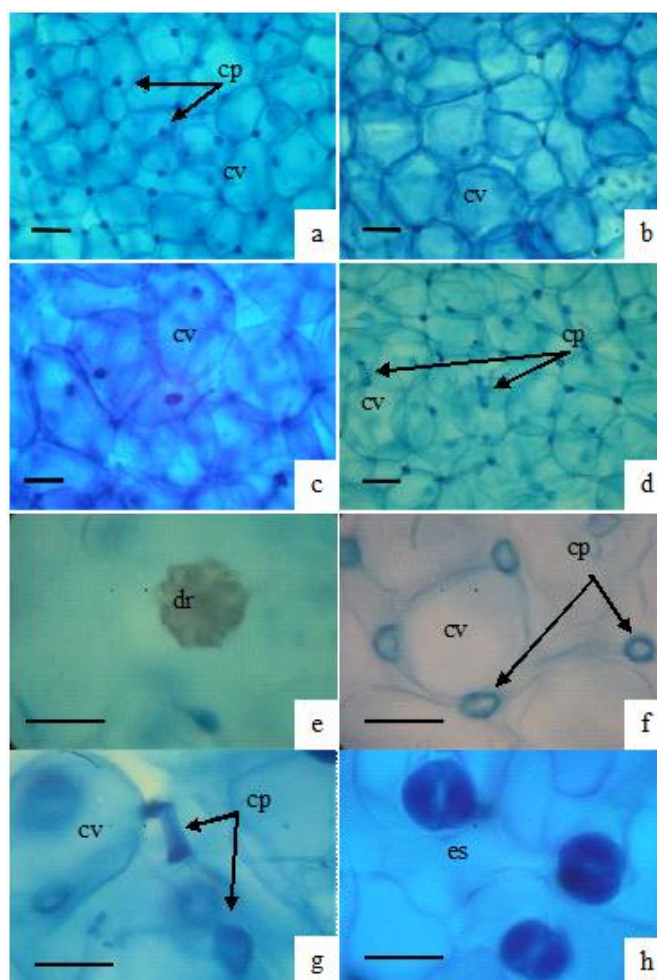


Figura 2. Vista frontal da epiderme de folhas adultas de *Atriplex nummularia* Lindl. cultivadas em solo salino sódico sob diferentes regimes hídricos: a – 35 ; b – 55; c – 75; d – 95% da capacidade de campo. Em detalhe, drusa (e) formada por deposição de cloreto de sódio no interior das células. Tricoma vesicular constituído de célula peduncular encimada por uma célula vesicular (f-g) e estômatos (h). cp: célula peduncular; cv: célula vesicular; dr: drusa; es: estômato. Barra: 50 μm (a-d); 25 μm (e-h).

Conhecer a dinâmica das alterações nos tricomas vesiculares de plantas submetidas a estresse salino e hídrico e sua relação com o crescimento e acumulação de sais pode auxiliar o aprimoramento das técnicas de fitoextração, seja a partir do melhoramento genético em busca de fitoextrator ideal como também do estabelecimento de manejos mais adequados para atingir melhores respostas das plantas cultivadas no solo a ser recuperado com a fitoextração. Nesse contexto, podem ser verificados aumentos significativos no diâmetro e no volume médio das vesículas com o aumento dos teores de umidade do solo (Figura 1 e 2).

Embora a *Atriplex nummularia* L. seja considerada uma planta tolerante à seca, o nível de 35% da CC proporcionou uma redução no diâmetro e volume médio da vesícula, o que pode significar redução na acumulação de sais nas vesículas, reduzindo, conseqüentemente, a eficiência da fitoextração. Esse resultado corrobora a importância de se manter um bom nível de umidade no solo em processos de fitoextração com *Atriplex nummularia* L. Correlações positivas significativas (*= $P < 0,05$) e altamente significativas (**= $P < 0,01$) entre diâmetro médio da vesícula e produção de biomassa da folha ($r=0,56^*$) e caule ($r=0,73^{**}$) indica que a tolerância e o potencial fitoextrator da *Atriplex nummularia* L. estão relacionados ao aumento dos tricomas vesiculares da epiderme dessa espécie, ou seja, à medida que o diâmetro médio da vesícula aumenta ocorrem incrementos significativos na produção de biomassa da parte aérea (folhas e caules), que deverão ser colhidos da região para remoção do sais do solo.

O isolamento dos sais nas vesículas é uma estratégia que impede a acumulação de sais no interior das células, onde esses altos teores de sais seriam danosos ao metabolismo celular. De modo semelhante, o volume médio das vesículas apresentou correlação positiva e altamente significativa com a produção de biomassa do caule ($r=0,63^{**}$). Correlações negativas e significativas foram encontradas entre diâmetro médio da vesícula e os teores solúveis de Na^+ ($r=-0,54^*$), K^+ ($r=-0,64^*$) e Cl^- ($r=-0,54^*$), o que indica que à medida que as vesículas aumentaram de diâmetro houve redução dos teores solúveis desses sais no solo (extração de sais solúveis do solo), o que mais uma vez corrobora a idéia de que a tolerância, que permite o aumento da biomassa e acumulação de sais em *Atriplex nummularia* L., é atribuída à presença desses tricomas vesiculares que recobrem a epiderme, contribuindo para o potencial fitoextrator dessa espécie.

CONCLUSÕES

O potencial da *Atriplex nummularia* L. para ocupar e recuperar áreas degradadas por sais pôde ser demonstrado por sua capacidade de crescimento em solo salino-sódico.

A irrigação, mesmo com água salina ($750 \mu\text{S cm}^{-1}$), pode ser usada como prática potencializadora da fitoextração de sais pela *Atriplex numulária*.

As correlações entre diâmetros e volumes médios das vesículas em tricomas vesiculares presentes na superfície foliar de *Atriplex nummularia* e produção de biomassa e a redução nos teores de Na^+ , K^+ e Cl^- solúveis no solo, corroboram a hipótese de que a tolerância e acumulação de sais nessa espécie são atribuídas à presença de tricomas vesiculares recobrimdo a superfície foliar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BOUGHALLEB, F.; DENDEN, M.; BEN TIBA, B. Anatomical changes induced by increasing NaCl salinity in three fodder shrubs, *Nitraria retusa*, *Atriplex halimus* and *Medicago arborea*, *Acta Physiol Plant*. DOI 10.1007/s11738-009-0310-7. 2009.
2. EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
3. JORDAN, F. L.; YOKLIC, M.; MORINO, K.; BROWN, P.; SEAMAN, R.; GLENN, E. P. Consumptive water use and stomatal conductance of *Atriplex lentiformis* irrigated with industrial brine in a desert irrigation district. *Agricultural and forest meteorology*, 149: 889-912, 2009.
4. LEAL, I. G.; ACCIOLY, A. M. A.; NASCIMENTO, C. W. A.; FREIRE, M. B. G. S.; MONTENEGRO, A. A. & FERREIRA, F. L. Fitorremediação de solo salino sódico por *Atriplex nummularia* e gesso de jazida. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32: 1065-1072, 2008.
5. MOZAFAR, A.; GOODIN, J. R. Vesiculated hairs: a mechanism for salt tolerance in *Atriplex halimus* L. *Plant Physiol* 45:62-65. doi:10.1104/pp.45.1.62, 1970.
6. QADIR, M.; OSTER, J.D.; SCHUBERT, S.; NOBLE, A.D. & SAHRAWAT, K.L. Phytoremediations of sodic and salinesodic soils. *Adv. Agron.*, 96:197-247, 2007.
7. RIBEIRO, M.R. et al. Solos halomórficos no Brasil: Ocorrência, gênese, classificação, uso e manejo sustentável. In: CURTI, N. et al. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, Minas Gerais: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. v.III, 430p.
8. SOUZA, E. R. 2010. Tese de Doutorado. Fitorremediação de Neossolo Flúvico sódico salino de Pernambuco com *Atriplex nummularia*. Curso de Pós-Graduação em Ciências do Solo, UFRPE, Recife.