

**ISAAC GOMES LEAL**

**UTILIZAÇÃO DE *ATRIPLEX NUMMULARIA* E GESSO DE JAZIDA NA  
FITORREMEDIAÇÃO DE SOLO SALINO-SÓDICO**

**RECIFE – PERNAMBUCO -BRASIL**

**2005**

ISAAC GOMES LEAL

**UTILIZAÇÃO DE *ATRIPLEX NUMMULARIA* E GESSO DE JAZIDA NA  
FITORREMEDIAÇÃO DE SOLO SALINO-SÓDICO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte das exigências do Programa de Pós – Graduação em Ciência do Solo, para obtenção do título de Magister Scientiae.

Orientadora:

Prof<sup>a</sup>. Adriana M. de Aguiar Accioly, D. Sc.

Conselheiros:

Prof<sup>a</sup>. Maria Betânia Galvão dos Santos Freire, D. Sc.

Prof. Abelardo Antônio de Assunção Montenegro, Ph.D.

RECIFE – PERNAMBUCO - BRASIL

2005

ISAAC GOMES LEAL

**UTILIZAÇÃO DE *ATRIPLEX NUMMULARIA* E GESSO DE JAZIDA NA  
FITORREMEDIAÇÃO DE SOLO SALINO-SÓDICO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte das exigências do Programa de Pós – Graduação em Ciência do Solo, para obtenção do título de Magister Scientiae.

Presidente da Banca

---

Adriana Maria de Aguiar Accioly, D.Sc.

Examinadores da Banca

---

Maria Betânia Galvão dos Santos Freire, D. Sc.

---

Maria de Fátima Cavalcanti Barros, D. Sc.

---

Lilia Gomes Willadino, D. Sc.

Ficha catalográfica

Setor de Processos Técnicos da Biblioteca Central – UFRPE

L435u Leal, Isaac Gomes

Utilização de *Atriplex nummularia* e gesso de jazida na fitorremediação de solo salino-sódico / Isaac Gomes Leal – 2005.

45 f.

Orientador: Adriana Maria de Aguiar Accioly

Dissertação (Mestrado Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco. Departamento de Agronomia.

Referências.

CDD 631.42

1. Salinidade
2. Fitoextração
3. Contaminação
  - I. Accioly, Adriana Maria de Aguiar
  - II. Título

Esta dissertação é dedicada aos grandes amores da minha vida:

*Minha mãe querida, Iara*

*Minha tia do coração, Jaci*

*Minha amada Fabiana*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por tudo que tem me dado até hoje.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da UFRPE, pela oportunidade de ingressar no mesmo.

À Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela concessão da bolsa.

À Fundação de Amparo a Ciência do Estado de Pernambuco – FACEPE, pelo financiamento do projeto.

À minha orientadora prof<sup>a</sup> Adriana Maria de A. Accioly, pela dedicação e carinho com que me orientou e pela delicadeza e coragem de aceitar trabalhar com outra linha de pesquisa.

À Fabiana de Lima Ferreira pelos momentos felizes que passamos e por toda a contribuição que me deu neste trabalho, desde o preparo do solo até a digitação da dissertação.

Aos meus conselheiros, Prof. Abelardo A. A. Montenegro e Prof<sup>a</sup> Maria Betânia G. Freire, pela valiosa contribuição.

Ao Prof. Mário de A. Lira Júnior, pela grande contribuição na análise estatística.

Ao Prof. Clístenes Williams A. do Nascimento, pela contribuição na elaboração do Abstract.

Aos Professores de PPGCS, que compartilharam comigo seus conhecimentos.

Aos meus colegas de curso de curso pela experiência trocada e amizade, em especial a Castro, Valdemir, Gledson, Júlio Guilherme, Júlio César, Alexandre e Eduardo.

Ao colega Évio pela colaboração no uso do espectrofotômetro.

Aos funcionários Noca, Camilo e Josué, pelo convívio e colaboração.

À Socorro por toda a ajuda, paciência e amizade.

A Zeca, Ane, Sílvio, Vinícius e Márcio que colaboraram na execução do experimento.

## RESUMO

*Atriplex nummularia*, apresenta-se como alternativa de uso e recuperação de solos salino-sódicos de baixo custo, podendo servir como suporte forrageiro e folhagem na floricultura e paisagismo. Com o objetivo de avaliar o potencial desta halófito na fitorremediação de solo salino-sódico sob irrigação com águas salinas e verificar o potencial do gesso como potencializador da fitoextração de sódio, foi conduzido um experimento em casa de vegetação, com os seguintes tratamentos:  $G_0$  = ausência de aplicação e  $G_1$  = 50% da dose recomendada pela necessidade de gesso; três classes de água para irrigação:  $C_1 = 175 \mu\text{S cm}^{-1}$ ;  $C_2 = 500 \mu\text{S cm}^{-1}$ ;  $C_3 = 1500 \mu\text{S cm}^{-1}$ ; e quatro períodos de coleta:  $T_1 = 40$ ;  $T_2 = 70$ ;  $T_3 = 100$  e  $T_4 = 130$  dias após o transplante da *A. nummularia*. O gesso influenciou significativamente a matéria seca de raiz, apresentando acréscimo de 93 %. O acúmulo de sódio nas folhas foi significativo a partir do terceiro tempo de coleta com valores de 90,1 e 109,7 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente para  $T_3$  e  $T_4$ . Este efeito foi aumentado em 30 % com a aplicação de gesso. O teor de Na<sup>+</sup> no solo foi menor em média 30,75 e 25,78 % a partir de tratamento  $T_3$  com e sem gesso respectivamente. A porcentagem de sódio trocável foi consideravelmente reduzida a partir do terceiro tempo de coleta, nos solos com e sem adição de gesso, apresentando reduções de 19 e 11 %, respectivamente. Com base nas condições estudadas, pode-se concluir que a *Atriplex nummularia* comportou-se como planta hiperacumuladora de sódio, possuindo potencial de uso na fitoextração deste elemento no solo. O uso do gesso de jazida promoveu o aumento da capacidade extrativa de sódio do solo pela planta, podendo ser usado como potencializador da fitoextração. A irrigação da *A. nummularia* para uso de fitorremediação pode ser feita com águas salinas na faixa de 175 a 1500  $\mu\text{S cm}^{-1}$ .

## ABSTRACT

The amelioration and use of saline-sodic soils through *Atriplex nummularia* cropping is economically attractive, especially because such species can be used as forage crop or in landscape architecture projects. We evaluated the potential of *Atriplex nummularia* for phytoextraction of Na from a saline-sodic soil irrigated with saline water. Additionally, gypsum was tested for phytoremediation enhancement. The treatments were set up as follows:  $G_0$  = No gypsum and  $G_1$  = 50% of the regular recommended gypsum dose; Three water classes for irrigation:  $C_1 = 175 \mu\text{S cm}^{-1}$ ;  $C_2 = 500 \mu\text{S cm}^{-1}$ ;  $C_3 = 1500 \mu\text{S cm}^{-1}$ ; and four sampling periods:  $T_1 = 40$ ;  $T_2 = 70$ ;  $T_3 = 100$  and  $T_4 = 130$  days after *A. nummularia* transplanting. The results showed that there was a 93%-increase in root dry matter as a result of gypsum application. The Na accumulation in shoots was significant increased at the third ( $90,1 \text{ g kg}^{-1}$ ) and fourth ( $109,7 \text{ g kg}^{-1}$ ) sampling. Such an effect was hastened owing to gypsum application. For the  $T_3$  treatment, Na content in soil decreased 30,75 and 25,78%, with and without gypsum addition. The percentage of exchangeable sodium was also lower in the  $T_3$  treatment either with (19%) or without gypsum (11%). Our results indicate that *A. Nummularia* is a Na accumulator species. Gypsum was effective as a phytoextraction enhancer. *A. nummularia* irrigation aiming at Na phytoremediation can be implemented with saline waters ranging from 175 to 1500  $\mu\text{S cm}^{-1}$ .



## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
<b>FIGURA 1.</b> Matéria seca da parte aérea (MSPA) de <i>Atriplex nummularia</i> aos 40, 70, 100 e 130 dias, com e sem adição de gesso. Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas para gesso e minúsculas para tempo, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade.	16
<b>FIGURA 2.</b> Teor de sódio na matéria seca das folhas de <i>Atriplex nummularia</i> cultivada durante 40, 70, 100 e 130 dias, com e sem adição de gesso. Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas para gesso e minúsculas para tempo, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade.	19
<b>FIGURA 3.</b> Distribuição de sódio nas folhas, caule e raízes de <i>A. nummularia</i> aos 40, 70, 100 e 130 dias de cultivo.	21
<b>FIGURA 4.</b> Teor de sódio na matéria seca da folha de <i>Atriplex nummularia</i> cultivada com água de irrigação de diferentes classes, aos 40, 70, 100 e 130 dias de cultivo. Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas para classes de água e minúsculas para tempo, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade.	22
<b>FIGURA 5.</b> Teor de cálcio na matéria seca da folha de <i>Atriplex nummularia</i> cultivada com água de irrigação de diferentes classes, com e sem adição de gesso. Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas para gesso e minúsculas para classes de água, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade.	24
<b>FIGURA 6.</b> Teor de magnésio na matéria seca do caule de <i>Atriplex nummularia</i> cultivada com água de irrigação de diferentes classes, aos 40, 70, 100 e 130 dias de cultivo. Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas para classes de água e minúsculas para tempo, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade.	27

- FIGURA 7.** Fator de Transferência da *Atriplex nummularia* cultivada durante 40, 70, 100 e 130 dias, com e sem adição de gesso. Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas para gesso e minúsculas para tempo, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade. 36
- FIGURA 8.** Relação entre fator de transferência e teor de sódio no solo após cultivo da *Atriplex nummularia* durante 40, 70, 100 e 130 dias, com e sem adição de gesso. 37
- FIGURA 9.** Relação entre teores médios de sódio na folha de *Artiplex nimmularia* e no solo durante 40, 70, 100 e 130 dias. 37
- FIGURA 10.** Fator de Transferência da *Atriplex nummularia* cultivada com água de irrigação de diferentes classes, com e sem adição de gesso. Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas para gesso e minúsculas para classe de água, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade. 38

## LISTA DE QUADROS

	Pág.
<b>QUADRO 1.</b> Caracterização química e física do solo em estudo.	12
<b>QUADRO 2.</b> Composição das águas de irrigação utilizadas no experimento.	13
<b>QUADRO 3.</b> Níveis de significância para matéria seca da parte aérea (MSPA) e matéria seca de raízes (MSRA), considerando-se os efeitos de gesso, classes de água de irrigação e tempo.	15
<b>QUADRO 4.</b> Matéria seca das raízes (g) de <i>Atriplex nummularia</i> cultivada durante 40, 70, 100, 130 dias, com e sem adição de gesso, irrigadas com águas de classe C <sub>1</sub> , C <sub>2</sub> e C <sub>3</sub> .	17
<b>QUADRO 5.</b> Níveis de significância para teores de sódio (Na) nas folhas, caule e raízes, considerando-se os efeitos de gesso, classes de água de irrigação e tempo.	18
<b>QUADRO 6.</b> Teores de sódio no caule e raízes de <i>Atriplex nummularia</i> cultivada durante 40, 70, 100, 130 dias, com e sem adição de gesso, irrigadas com águas de classe C <sub>1</sub> , C <sub>2</sub> e C <sub>3</sub> .	21
<b>QUADRO 7.</b> Níveis de significância para teores de cálcio (Ca) nas folhas, caules e raízes, considerando-se os efeitos de gesso, classes de água de irrigação e tempo.	23
<b>QUADRO 8.</b> Teores de cálcio no caule e raízes de <i>Atriplex nummularia</i> cultivada durante 40, 70, 100, 130 dias, com e sem adição de gesso, irrigadas com águas de classe C <sub>1</sub> , C <sub>2</sub> e C <sub>3</sub> .	24
<b>QUADRO 9.</b> Níveis de significância para teores de magnésio (Mg) nas folhas, caules e raízes, considerando-se os efeitos de gesso, classes de água de irrigação e tempo.	25
<b>QUADRO 10.</b> Teores de magnésio nas folhas, caule e raízes de <i>Atriplex nummularia</i> cultivada durante 40, 70, 100, 130 dias, com e sem adição de gesso, irrigadas com águas de classe C <sub>1</sub> , C <sub>2</sub> e C <sub>3</sub> .	26
<b>QUADRO 11</b> Níveis de significância para teores de potássio (K) nas folhas, caules e raízes, considerando-se os efeitos de gesso, classes de água de irrigação e tempo.	26

	Pág.
<b>QUADRO 12.</b> Quadro 12. Teores de potássio nas folhas, caule e raízes de <i>Atriplex nummularia</i> cultivada durante 40, 70, 100, 130 dias, com e sem adição de gesso, irrigadas com águas de classe C <sub>1</sub> , C <sub>2</sub> e C <sub>3</sub> .	27
<b>QUADRO 13.</b> Níveis de significância para teores de sódio (Na), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e potássio (K) no solo, considerando-se os efeitos de gesso, classes de água de irrigação e tempo.	28
<b>QUADRO 14.</b> Teores de sódio, potássio, cálcio e magnésio no solo após cultivo com <i>Atriplex nummularia</i> durante 40, 70, 100, 130 dias, com e sem adição de gesso, irrigadas com águas de classe C <sub>1</sub> , C <sub>2</sub> e C <sub>3</sub> .	30
<b>QUADRO 15.</b> Quantidade de sódio adicionado ao solo (cmol <sub>c</sub> ) por diferentes classes de água ao longo do tempo.	30
<b>QUADRO 16.</b> Níveis de significância para Condutividade Elétrica (CE) e Percentagem de Sódio Trocável (PST) no solo, considerando-se os efeitos de gesso, classes de água de irrigação e tempo.	32
<b>QUADRO 17.</b> Condutividade elétrica do extrato de saturação e percentagem de sódio trocável do solo após cultivo com <i>Atriplex nummularia</i> durante 40, 70, 100, 130 dias, com e sem adição de gesso, irrigadas com águas de classe C <sub>1</sub> , C <sub>2</sub> e C <sub>3</sub> .	33
<b>QUADRO 18.</b> Níveis de significância para Fator de Transferência, considerando-se os efeitos de gesso, classes de água de irrigação e tempo.	35

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 REFERÊNCIAL TEÓRICO	2
2.1. Solos com problemas de salinidade e sodicidade	2
2.2. Efeito da salinidade sobre as plantas	4
2.3. Qualidade da água de irrigação	6
2.4. Recuperação de áreas degradadas por sais	7
2.4.1. Métodos convencionais	7
2.4.2. Fitorremediação	9
3. MATERIAL E MÉTODOS	11
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	15
4.1. Produção de matéria seca	15
4.2. Teor de sódio na planta	18
4.3. Teor de cálcio, magnésio e potássio na planta	22
4.4. Teores de sódio, potássio, cálcio e magnésio no solo	28
4.5. Condutividade elétrica e porcentagem de sódio trocável do solo	32
4.6. Fator de transferência de sódio	35
5. CONCLUSÕES	39
REFERÊNCIAS	40

## 1. Introdução

A salinização do solo é um problema que vem crescendo em todo o mundo. Estima-se existir cerca de 1 a 5 bilhões de hectares de solos afetados por sais, com grande parte de todas as áreas irrigadas do mundo sofrendo com a redução da produção devido ao excesso de sais (Keiffer & Ungar, 2002; Horney et al., 2005). Solos afetados por sais são principalmente encontrados em climas áridos e semi-áridos, em mais de 100 países em todos os continentes, com exceção da Antártida. No Brasil este problema acontece especialmente no Nordeste, onde aproximadamente 25% das áreas irrigadas foram salinizadas. Em Pernambuco os solos afetados por sais e sódio cobrem uma área de 7.819 km<sup>2</sup>, correspondendo a 8% da área total do Estado (Gheyi, 2000).

Os problemas de tais solos são conhecidos há muito tempo, mas sua magnitude e intensidade têm aumentado, resultando na expansão alarmante da área de solos degradados por salinidade e sodicidade. Estes problemas são conseqüências do uso de terras marginais e do manejo inadequado da irrigação (Ribeiro et al., 2003) e apesar da expansão de áreas com esses problemas, procedimentos de recuperação ainda são pouco utilizados (Qadir et al., 1998).

Os efeitos da salinidade e sodicidade nos solos podem afetar adversamente o balanço ecológico de uma área. Entre os impactos causados nesses solos pode-se citar: baixa produtividade agrícola e altos custos de produção; aumento do escoamento superficial e das enchentes; pequena recarga do aquífero; desbalanço ecológico; piora nos índices de saúde pública; dentre outros.

Assim, práticas de manejo que sejam mais apropriadas para controlar a salinidade dos solos a longo prazo tornam-se de fundamental importância em um programa de cultivo de solos afetados por sais, principalmente visando sua sustentabilidade e alternativas de uso e recuperação.

As técnicas de recuperação de solos afetados por sais são de fundamental importância, uma vez que possibilitam o retorno deles ao processo de produção. Entretanto, o processo convencional de recuperação exige alto investimento, o que nem sempre é possível, principalmente quando se trata de agricultura de baixos insumos. Dessa forma, a fitorremediação surge como uma alternativa de baixo custo para recuperação de solos salinos, não agressiva ao ambiente, podendo propiciar a reabilitação de tais solos. A utilização de plantas tolerantes à salinidade,

como a *Atriplex nummularia*, é uma alternativa que poderá oferecer resultados satisfatórios do ponto de vista econômico, pois os custos alocados com esta prática são irrisórios quando comparados com os da recuperação físico-química desses solos. Além do que, durante o processo de recuperação do solo, a planta serve como alimento para o gado (Ben Salen et al., 2003), e como folhagem na floricultura, por apresentar alta durabilidade no arranjo floral (Silva et al., 2003) e no paisagismo, devido a sua textura e cor exótica (Maia et al., 2003).

O objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial da *A. nummularia* como planta fitorremediadora, na absorção e remoção de sódio do solo em condições de irrigação com águas de diferentes classes e verificar o potencial do gesso como um potencializador da fitoextração, na maximização da absorção de sódio por esta planta.

## **2. Referencial Teórico**

### **2.1. Solos com problemas de salinidade e sodicidade**

A salinidade do solo é uma das limitações mais importantes para produção de alimentos em terras irrigadas das áreas áridas e semi-áridas do mundo (Munns, 2002). Estimativas indicam que no mundo pelo menos 3 hectares de terras aráveis entram em processo de salinização/sodificação por minuto (Keiffer & Ungar, 2002). Estes solos são geralmente classificados como salinos, sódicos e salino-sódicos.

A salinização dos solos pode ser originada por diversos fatores: as taxas de evaporação e baixa precipitação pluviométrica, associadas às características do material de origem e às condições de relevo, condicionam a formação de solos com teores elevados de sais solúveis e sódio trocável (Montenegro et al., 2001). Além das causas naturais, o homem pode também induzir ou incrementar a salinização do solo, principalmente com o uso de água salina na irrigação, bem como com a elevação do lençol freático pelo excesso de irrigação associado a uma drenagem insuficiente nos solos de baixa condutividade hidráulica (Montenegro & Montenegro, 2004).

Os solos salino-sódicos são formados quando a percentagem de sódio trocável atinge valores maiores ou iguais a 15 % e os níveis de salinidade permanecem altos, com condutividade eletrolítica  $\geq 4 \text{ dS m}^{-1}$  (Ribeiro et al, 2003).

Contudo a passagem do  $\text{Na}^+$  para o complexo de troca começa a ser importante quando este cátion constitui a metade ou mais da Razão de Adsorção de Sódio (RAS) do solo (Ribeiro, et al. 2003). Nessas condições, o  $\text{Ca}^{+2}$  e o  $\text{Mg}^{+2}$ , por serem menos solúveis, precipitam-se à medida que a solução do solo se concentra, em consequência da evapotranspiração, deixando o  $\text{Na}^+$  como o principal cátion na solução. Dessa forma, o  $\text{Na}^+$ , apesar de ter o menor poder de troca, consegue deslocar os outros cátions por ação de massa. O processo da passagem do Na para o complexo de troca chama-se solodificação e constitui a primeira etapa do processo de solonização, levando à formação dos solos salino-sódicos (Camargo et al., 1987).

Ribeiro et al. (2003) destacam que problemas de altos níveis de salinidade e sodicidade estão relacionados com a formação da classe de solos Neossolos Flúvicos, os quais apresentam subordens e grandes grupos relacionados à deficiência de drenagem e semi-aridez. Nestes solos os termos sálico e sódico são usados preferencialmente no nível de subordem e grande grupo, como nos solos Neossolo Flúvico Sálico e Neossolo Flúvico Sódico. Adicionalmente, a presença de camadas de impedimento restringe a drenagem e recarga, podendo estar associada à ocorrência de lençol freático raso. Tal situação é particularmente comum próximo às encostas cristalinas do contorno aluvial, onde o impedimento rochoso é raso, e podem ocorrer restrições à circulação hídrica.

O efeito dos sais sobre o solo ocorre basicamente pela interação eletrolítica existente entre os sais e a argila. A intensidade deste fenômeno depende da natureza da argila e do cátion presente. A característica principal deste efeito é a dispersão da argila, devido à predominância de cargas negativas, de íons sódio e das forças repulsivas na dupla camada difusa. Este fenômeno reduz a floculação e a estabilidade de agregados do solo, reduzindo sua porosidade e capacidade de retenção e infiltração de água no solo (Lima, 1997).

Além das propriedades físicas, a fertilidade do solo também é afetada pela alta concentração de sais, devido ao aumento da condutividade elétrica, e a presença dos ânions, como cloretos, sulfatos, carbonatos, bicarbonatos e boratos



na solução do solo (Lima, 1997). Tais condições interferem na nutrição mineral das plantas, podendo levar à deficiência de alguns nutrientes e toxidez por outros.

Os efeitos da salinidade e sodicidade nas propriedades dos solos podem afetar adversamente o balanço ecológico de uma área. Entre esses impactos podem ser citados: baixa produtividade agrícola e altos custos de produção; aumento da erosão, devido à alta dispersão das partículas do solo; aumento do escoamento superficial e das enchentes; pequena recarga do aquífero; desbalanço ecológico, devido a mudanças de vegetação; piora nos índices de saúde pública; e redução da vida útil de construções, estradas, represas, adutoras e implementos agrícolas (Ribeiro et al., 2003).

## **2.2. Efeito da salinidade sobre as plantas**

O solo salino, dependendo do grau de salinização e do tipo de planta, pode impedir a sobrevivência da mesma. Os limites de sobrevivência variam amplamente com a espécie e a variedade vegetal. Os efeitos da salinidade sobre o crescimento das plantas refletem-se principalmente sobre a altura, a área foliar e o acúmulo de matéria fresca e matéria seca tanto da parte aérea como das raízes, os quais, em conjunto podem inclusive levar à morte das mesmas. Tais efeitos são reflexos, dentre outros fatores, de reduções na fotossíntese, respiração, transpiração e translocação, além de um desbalanço hídrico e/ou iônico no interior da planta (Larcher, 2000; Zhu, 2003).

A inibição do crescimento por longos períodos (dias) de exposição pode resultar de efeitos osmóticos sobre a disponibilidade hídrica, redução na assimilação líquida de CO<sub>2</sub>, efeitos iônicos específicos, ou desbalanço iônico devido à interferência na absorção de íons nutrientes essenciais (Larcher, 2000).

As plantas superiores podem ser classificadas basicamente em dois tipos: halófitas, plantas que se desenvolvem naturalmente em solos com elevada concentração salina; e glicófitas (representa a maioria das plantas cultivadas), aquelas que não são capazes de crescer e se desenvolver em elevadas concentrações salinas (Naidu, 2003). As halófitas são capazes de crescer inclusive em solos com concentrações de sais superiores a 20%, enquanto que as glicófitas, mais sensíveis, crescem pouco em solos com 0,3% de sais (Zhu, 2001).

A resistência à salinidade refere-se a habilidade tanto de evitar, por meio de regulação salina, que excessivas quantidades de sal proveniente do solo alcancem o protoplasma, como de tolerar os efeitos tóxicos e osmóticos associados ao aumento na concentração de sais (Larcher, 2000).

As halófitas podem regular a concentração de sais de várias maneiras: exclusão de sais, por meio da compartimentalização de sais nas raízes e ramos; eliminação do sal, através de eliminação de substância volátil (cloreto de metila), glândulas e pêlos vesiculares; suculência, diluição dos sais pelo aumento do volume celular; redistribuição do sal,  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  podem ser translocados pelo floema de um local de maior concentração para outro de menor; entre outros processos (Larcher, 2000; Zhu, 2001). Um dos mecanismos utilizados pelas plantas para tolerar o efeito da salinidade é a acumulação de compostos que minimizem o desbalanço iônico e osmótico, dentre esses solutos compatíveis estão os aminoácidos, a prolina, carboidratos solúveis, entre outros (Naidu, 2003; Zhu, 2003).

### **2.3. Qualidade da água de irrigação**

Os recursos hídricos utilizados para irrigação nas regiões susceptíveis de salinização apresentam geralmente elevado resíduo seco (sólidos totais). Cruz & Melo (1974) relatam que as águas fissurais localizadas no cristalino apresentam níveis de salinidade elevados com condutividade elétrica maior que  $1400 \mu\text{S cm}^{-1}$ , atingindo freqüentemente  $4500 \mu\text{S cm}^{-1}$ , e podendo ultrapassar muito este valor. É possível usar essas águas para irrigação desde que se proceda à escolha de plantas adequadas e um manejo com lâmina de lixiviação sobre um solo perfeitamente drenado. Normalmente, as águas utilizadas na irrigação apresentam Razão de Adsorção de Sódio (RAS) maior que  $3 (\text{mmol}_c \text{L}^{-1})^{0,5}$  (Pereira et al., 1985).

Melo & Santos (1990) realizaram caracterização dos aluviões do Rio Potengi, no Rio Grande do Norte, e observaram valores de condutividade elétrica variando de  $1500 \mu\text{S cm}^{-1}$  a  $7300 \mu\text{S cm}^{-1}$ , com média de  $4540 \mu\text{S cm}^{-1}$ , estimada a partir de 80 amostras. Audry & Suassuna (1995) investigaram 231 poços em aluviões, nos Estados da Paraíba, Pernambuco, Rio Grande do Norte e Ceará, tendo observado variações de  $140 \mu\text{S cm}^{-1}$  a  $3800 \mu\text{S cm}^{-1}$ .

Montenegro et al. (2001) caracterizaram as águas subterrâneas de aluvião no Agreste de Pernambuco, tendo encontrado valores de condutividade elétrica variando de  $360 \mu\text{S cm}^{-1}$  a  $11750 \mu\text{S cm}^{-1}$ , com média de  $1470 \mu\text{S cm}^{-1}$ , estimada a partir de 972 amostras.

A variação na composição e qualidade das águas destinadas à irrigação depende da zona climática, fonte da água, trajeto percorrido, época do ano, geologia da região e desenvolvimento da irrigação (Montenegro & Montenegro, 2004). Geralmente, as águas de zonas úmidas apresentam menor teor de sais que as zonas áridas; enquanto as águas subterrâneas são mais salinas que as águas de rios e estas, próximas da foz, contêm mais sais que as próximas à nascente (Gheyi et al., 2000).

A água de irrigação de ótima qualidade pode conter até  $4.000\text{g}$  de sais em cada  $1.000 \text{ m}^3$ . Geralmente são aplicados ao solo através de irrigação  $1.000$  a  $1.500 \text{ mm}$  de água  $\text{ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ . Dessa forma, mesmo usando água de boa qualidade, cerca de uma tonelada de sal  $\text{ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$  pode ser incorporada aos solos irrigados.

As águas usadas na irrigação são de diferentes origens (rio, açudes, poços, etc.) e apresentam condutividade elétrica que varia de  $80$  a  $5500 \mu\text{S cm}^{-1}$  e relação de adsorção até mais de  $30$ . Tomando como base a CE e a RAS, as águas podem ser classificadas como de baixa ( $C_1$ ), média ( $C_2$ ), alta ( $C_3$ ) e muito alta salinidade ( $C_4$ ) e de baixo ( $S_1$ ), médio ( $S_2$ ), alto ( $S_3$ ) e muito alto perigo de sódio ( $S_4$ ), em todas as combinações possíveis, abrangendo desde água que pode ser usada sem restrições, até água que não é apropriada para irrigação (Richards, 1954).

De acordo com o explanado, nas áreas suscetíveis aos processos de salinização e sodificação, os recursos hídricos disponíveis para a produção agrícola são em geral as águas subterrâneas que possuem naturalmente elevado teor de sais. O uso contínuo dessas águas pode incrementar tais processos tornando inviável a produção nessas áreas ou ainda dificultar a recuperação das mesmas pela fitorremediação. Por isso faz-se necessária à avaliação do efeito do uso das águas de diferentes classes no desempenho da fitorremediação.

## **2.4. Recuperação de áreas degradadas por sais**

### **2.4.1. Métodos Convencionais**

*Solos afetados por sais são caracterizados pela presença de sais solúveis ou sódio trocável, ou ambos, suficientes para restringir o crescimento de plantas, necessitando medidas especiais de remediação e práticas de manejo que dependem de um entendimento dos processos físico-químicos que ocorrem à medida que a água se move dentro do solo e desloca os sais (David & Dimitrios, 2002).*

*Dentre as técnicas de recuperação de solos salino-sódicos, a aplicação de corretivos químicos e a lavagem do solo são bastante utilizadas, por atuarem diretamente na correção dos problemas desses solos em relação às plantas (Montenegro & Montenegro, 2004). As demais técnicas ou práticas utilizadas são consideradas auxiliares tais como: drenagem, aração, aplicação de resíduos orgânicos, sistematização e nivelamento, etc, por agirem indiretamente sobre algumas propriedades do solo que facilitam a recuperação (Santos & Hernandez, 1997). No processo de recuperação, comumente são utilizadas várias dessas técnicas, de forma simultânea ou sucessiva.*

Práticas apropriadas de manejo que visem evitar a acumulação de sais e de sódio trocável, ou mesmo a recuperação de solos salinos devem levar em consideração o solo, a água e a cultura, em um programa integrado, visando sua sustentabilidade, uso e manejo desses solos (Montenegro & Montenegro, 2004). Em muitas áreas a salinidade ocorre conjuntamente com o aumento dos níveis de sódio originando os solos salino-sódicos e sódicos. A recuperação desses solos envolve, além da retirada dos sais do sistema, a substituição do sódio trocável por outros íons, de preferência o cálcio, o qual pode ser oriundo da dissolução de minerais do solo, da água de irrigação com íons de cálcio ou de melhoradores químicos (Ilyas et al., 1997). Esta substituição, além de melhorar as condições físicas do solo, devido à flocculação das partículas, contribui para a diminuição do efeito tóxico do sódio para as plantas.

A técnica convencional de recuperação de solos salino-sódicos e sódicos é a aplicação de melhoradores (gesso), seguida pela irrigação excessiva (Qadir et al., 1996).

Os melhoradores são materiais que, através da ação química fornecem cátions divalentes, usualmente o cálcio, para substituir o sódio trocável. Os melhoradores comumente utilizados são o  $\text{CaCl}_2$ , o fosfogesso e o gesso (Ribeiro et al., 2003).

O gesso é um mineral que apresenta vários produtos de hidratação, sendo o mais comum a gipsita ( $\text{Ca}(\text{SO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), tendo uma distribuição bastante expressiva por todo o mundo em depósitos de evaporitos. No Brasil, o gesso é encontrado em grande quantidade no Nordeste, na Chapada do Araripe, nos Estados de Pernambuco e Ceará (Santos & Hernandez, 1997).

Apesar da grande divulgação da utilização do gesso junto com lâmina de irrigação como técnica de recuperação de solos sódicos e salino-sódicos, esta pode ser ineficiente se a lixiviação dos sais solúveis e o  $\text{Na}^+$  trocável for restringida por uma baixa permeabilidade no perfil do solo devido a altos teores de argila/silte, e uma matriz do solo dispersa (Qadir et al., 1998). No caso de não haver impedimento e o solo for lixiviado livremente, existe ainda a desvantagem de nutrientes, como o potássio, estarem sendo perdidos junto com o sódio, deixando o solo empobrecido. Além disso, a recuperação desses solos com a utilização de melhoradores químicos necessita de emprego de capital elevado, dificultando a aplicação de tal procedimento por produtores de baixo nível tecnológico (Qadir et al., 1998).

Uma alternativa que vem surgindo para a recuperação de solos salinos é a fitorremediação utilizando culturas halófitas (Montenegro & Montenegro, 2004).

#### **2.4.1. Fitorremediação**

A fitorremediação é uma estratégia de biorremediação que consiste de procedimentos que envolvem emprego de plantas e sua microbiota associada e de amenizantes do solo, além de práticas agrônômicas que se aplicadas em conjunto, removem, imobilizam ou tornam os contaminantes inofensivos ao ecossistema (Accioly & Siqueira, 2000). Dentre os mecanismos empregados podemos citar: absorção e acumulação do contaminante nos tecidos das plantas - fitoextração; adsorção do contaminante no sistema radicular, imobilizando os contaminantes - fitoadsorção; adição ao solo de materiais que podem imobilizar os contaminantes -

fitoestabilização; estimulação da biorremediação por fungos ou outros microrganismos localizados no sistema solo-raiz - fitoestimulação (Bañuelos, 2000).

Esta prática é utilizada com freqüência quando o contaminante do solo trata-se de metal pesado ou diversos poluentes orgânicos (Accioly & Siqueira, 2000), porém pode ser empregada em solo sódico ou salino-sódico, onde o contaminante é o sal e/ou o sódio (Qadir et al., 1998). Neste caso, a técnica empregada, seria a fitoextração, utilizando espécies de plantas que absorvam e acumulem o sal e o sódio na parte aérea.

A taxa de remoção de sais pela fitoextração depende da biomassa retirada, da freqüência de corte, da concentração do contaminante na porção recolhida e da disponibilidade destes na solução do solo, bem como do fator de transferência.

Qadir et al. (2001) afirmam que a fitorremediação é uma estratégia eficiente de recuperação de solos salino-sódicos, com performance comparável à utilização de amenizantes químicos. Esses autores avaliando a fitorremediação de solos salino-sódicos concluíram que esta possui efeitos de recuperação comparáveis à aplicação de gesso, esterco de curral ou água de irrigação tratada com ácido sulfúrico. Concluíram ainda que a fitorremediação necessita de emprego mínimo de capital, porque nenhum investimento inicial foi realizado, diferindo dos tratamentos com melhoradores.

Para o emprego da fitoextração de solos salinos sódicos, é necessário o uso de plantas que apresentem alta taxa de acumulação de sais, preferencialmente na parte aérea, visando facilitar sua retirada quando a planta for colhida. A planta deve apresentar ainda tolerância ao excesso de sais e alta taxa de crescimento e de produção de biomassa.

As halófitas são plantas adaptáveis aos altos níveis de salinidade presentes no sistema solo-água e com capacidade de acumular quantidades significativas de sais em seus tecidos (Porto et al., 2001), constituindo-se em alternativa para recuperação de solos degradados, devido ao seu mecanismo de extração de sais do solo (Squires e Ayoub, 1994). As halófitas crescem com irrigação limitada, mesmo com água salina, podendo remover sais solúveis numa razão entre 5 a 10 toneladas por hectare, anualmente (Miyamoto et al., 1996).

Entre as halófitas, o gênero *Atriplex* vem se destacando por seu fácil estabelecimento, importante suporte protéico, produção constante de forragem e boa aceitabilidade pelo gado (Aganga et al. 2003; Ben Salem et al., 2003). A A.

*nummularia* pode ser utilizada como recurso forrageiro importante na complementação de dieta de ruminantes, devido ao seu valor nutritivo (em torno de 17% de proteína) e alta digestibilidade (70%) (IPA, 2000), além de servir como matéria prima para o paisagismo e a floricultura (Maia et al., 2003; Silva et al, 2003)

A *Atriplex* spp. é originária da Austrália, sendo chamada no Brasil de Erva-Sal, e pertence à família Chenopodiaceae, a qual conta com mais de 400 espécies distribuídas em diversas regiões áridas e semiáridas do mundo. A *A. nummularia* foi introduzida no Nordeste Brasileiro pela da Inspeção Federal de Obras Contra as Secas na década de 30 (Porto et al., 2001). O gênero *Atriplex* é composto por plantas arbustivas, que chegam a atingir mais de 2 metros de altura, possuem folhas acinzentadas ovais a arredondadas, e pequenas flores verdes nos terminais dos ramos (Aganga et al., 2003). Este gênero é encontrado em regiões áridas devido a sua tolerância à seca e aos sais. Ela cresce bem em solos profundos, em regiões com 150 a 200 mm de precipitação anual, mas pode sobreviver bem com apenas 50 mm de precipitação anual (Glenn et al., 1998; Aganga et al., 2003).

Esta halófito tem boa adaptabilidade nas regiões semi-áridas da América do Sul, em particular na Argentina, no Chile e no Brasil (Porto & Araújo, 1999).

Montenegro & Montenegro (2004), citam que *A. nummularia* vem sendo utilizada em muitos projetos de reflorestamento e combate à desertificação de solos salinizados. Cerca de 100.000 ha foram plantados com esta espécie na Bacia do Mediterrâneo nos últimos 25 anos e 40.000 ha na região semi-árida do Chile (Houerou, et al., 1991).

A *A. nummularia* possui elevada potencialidade de acumulação de biomassa sob condições limitadas, além de ser altamente tolerante à seca e a salinidade (Slavich et al, 1999; Abu-Zanat, et al., 2004), tendo, portanto, potencial de utilização em procedimentos de fitoextração. Em experimento com rejeitos de dessalinizadores em Petrolina-PE, Porto et al. (2001) avaliaram taxas de absorção de sais pela *A. nummularia* em cerca de 1,15 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Oliveira (2001) desenvolveu estudo utilizando duas áreas-piloto de uma fazenda localizada sobre aquífero aluvial no Agreste Pernambucano, para avaliação do potencial dessalinizador da *A. nummularia* e observou maior redução da condutividade elétrica do extrato de saturação na área cultivada em relação à área testemunha após período de cultivo de dois anos.

No semi-árido onde a disponibilidade de água para a lavagem do solo é escassa, a combinação do cultivo de *A. nummularia* com o uso do gesso pode ser bastante promissora na recuperação destes solos, pois o gesso aumentaria a concentração de sódio na solução do solo e a planta contribuiria junto com a lâmina de irrigação para a retirada do sódio do sistema.

### 3. Material e Métodos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, do Departamento de Agronomia da Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE. O solo foi coletado na Fazenda Nossa Senhora do Rosário, Município de Pesqueira – PE, na camada de 0–20 cm. Esta área foi escolhida por apresentar processos de salinização e sodificação bem proeminentes, devido à presença de camada de impedimento a 60 cm de profundidade e sofrer acumulação de sais provenientes de áreas circunvizinhas, por escoamento superficial. Este solo foi classificado por Corrêa e Ribeiro (2001) como NEOSSOLO FLÚVICO sálico sódico.

O solo coletado foi levado para a UFRPE, seco ao ar, homogeneizado e passado em peneira com malha de 4 mm. A partir de uma sub amostra passada em peneira de 2 mm realizou-se a caracterização química e física do solo, conforme Embrapa (1997) (Quadro 1).

Quadro 1: Caracterização química e física do solo em estudo

Característica	Valor	Característica	Valor
Ca <sup>+2</sup> cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	3,50	PST %	51,61
Mg <sup>+2</sup> cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	0,58	CE mS cm <sup>-1</sup>	25,94
Na <sup>+</sup> cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	5,78	Areia g kg <sup>-1</sup>	73,79
K <sup>+</sup> cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	0,93	Argila g kg <sup>-1</sup>	15,67
CTC cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	11,2	Silte g kg <sup>-1</sup>	10,55
pH	6,7	ds kg dm <sup>-3</sup>	1,38



O solo foi acondicionado em vasos de polietileno com capacidade para 8 Kg, sendo aplicado 20,09 g de gesso por quilo de solo, correspondente a 50 % da dose calculada pela necessidade de gesso (NG), e incubado por um período de 20 dias, mantendo-se umidade do solo em 50 % da capacidade máxima de retenção de água com drenagem livre. A necessidade de gesso foi calculada baseada na caracterização química inicial do solo, pela fórmula abaixo:

$$NG = (PSTa - PSTf) \times CTC \times 86 \times h \times d \quad (\text{Ribeiro et al., 2003})$$

Em que NG é a necessidade de gesso ( $\text{kg ha}^{-1}$ ); PSTa é a porcentagem de  $\text{Na}^+$  trocável atual; PSTf é a porcentagem de  $\text{Na}^+$  trocável desejável que foi estipulada em 10 %; CTC é a capacidade de troca de cátions ( $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ); 86 é a massa do gesso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ); h é a profundidade do solo que se deseja recuperar que foi 0,2 m ; d é a densidade do solo ( $\text{kg dm}^{-3}$ ). O gesso utilizado neste experimento foi o gesso natural de jazida, proveniente da região do Araripe PE.

Concomitantemente ao preparo do solo, foram preparadas as mudas de *A. nummularia* a partir de estacas de uma única planta proveniente de Pesqueira – PE. Para o substrato de enraizamento utilizou-se uma mistura 1:1 de pó de coco e vermicomposto em copos plásticos com capacidade para  $300 \text{ cm}^3$ , sendo as mudas fertirrigadas com solução nutritiva comercial a meia força a partir da emissão de raízes.

O experimento foi conduzido em blocos ao acaso, com 4 repetições, em um arranjo fatorial  $2 \times 3 \times 4$ , sendo dois níveis de gesso:  $G_0$  = ausência de aplicação e  $G_1$  = 50% da dose recomendada pela NG; três classes de água para irrigação:  $C_1 = 175 \mu\text{S cm}^{-1}$ ;  $C_2 = 500 \mu\text{S cm}^{-1}$ ;  $C_3 = 1500 \mu\text{S cm}^{-1}$ ; e quatro períodos de coleta:  $T_1 = 40$ ;  $T_2 = 70$ ;  $T_3 = 100$  e  $T_4 = 130$  dias após o transplante da *A. Nummularia*, totalizando 96 parcelas experimentais.

As águas utilizadas para irrigação neste experimento foram preparadas artificialmente de forma a apresentarem a condutividade elétrica de cada tratamento e RAS 3, correspondente a RAS média da água de irrigação utilizada na Fazenda Nossa Senhora do Rosário. Para o preparo das águas usou-se água potável com adição de sais de NaCl e  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (Quadro2).

Quadro 2: Composição das águas de irrigação utilizadas no experimento

Classe de água	Sódio mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup>	Cálcio mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup>
C <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	1,35	0,40
C <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	3,00	2,00
C <sub>3</sub> S <sub>1</sub>	6,27	8,73

Foi transplantada uma muda com raiz nua para cada vaso. Realizou-se irrigações uma vez ao dia, conforme os tratamentos, com um volume de 100 cm<sup>3</sup> vaso<sup>-1</sup>. As folhas senescentes foram coletadas e guardadas para determinação de matéria seca.

As plantas de *A. nummularia* foram colhidas ao final do respectivo tempo de coleta, cortando-se a parte aérea rente ao solo enquanto que a raiz foi separada do solo por peneiramento e catação manual. A parte aérea e raiz foram secas em estufa com circulação forçada de ar a 60-70 °C, por 72 h. Foi obtida a matéria seca da parte aérea e raiz e, em seguida as mesmas moídas em moinho tipo Willey, sendo a parte aérea subdividida em folha e caule. Nas amostras preparadas de raízes, caule e folhas, procedeu-se à digestão nitroperclórica e determinação dos teores de Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup>, K<sup>+</sup> e Na<sup>+</sup>, conforme Bezerra Neto & Barreto (2004).

A capacidade das plantas em extrair o Na<sup>+</sup> do solo foi avaliada pelo fator de transferência (FT), definido conforme a equação:

$$FT = \frac{\text{Concentração do sódio nas folhas (mg kg}^{-1}\text{)}}{\text{Concentração do sódio no solo (mg kg}^{-1}\text{)}}$$

O fator de transferência foi estabelecido para fitorremediação de solos contaminados por metais pesados (SAEFL, 1998), entretanto pode ser uma ferramenta de extrema valia na fitorremediação de solos salino-sódicos, por se tratar de uma medida da capacidade extratora da planta.

Para análise dos cátions trocáveis, foram coletadas amostras de solo dos vasos ao final de cada tratamento. Os cátions foram extraídos conforme Thomas (1982), onde 10 g de solo previamente lavado com álcool etílico a 95 %, para

retirada de cátions solúveis, foi colocado em equilíbrio com uma solução concentrada de acetato de amônio (1 mol L<sup>-1</sup>) e os cátions trocáveis extraídos, determinados por fotometria de chama (Na<sup>+</sup> e K<sup>+</sup>) e espectrofotometria de absorção atômica (Ca<sup>+2</sup> e Mg<sup>+2</sup>) (EMBRAPA, 1997). A PST foi calculada pela formula:

$$PST = \frac{\text{Na trocável} \times 100}{CTC} \quad (\text{Richards, 1954})$$

Onde PST é a porcentagem de sódio trocável e CTC é a capacidade de troca de cátions (cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>).

Para a determinação da Condutividade Elétrica pesou-se 500 g de TFSA, onde foi obtido o estrato da pasta de saturação das amostras, pelo procedimento indicado por Richards (1954), medindo-se a CE.

Os resultados obtidos foram submetidos ao teste de premissa da distribuição normal, utilizando-se o Quider Data Análisis SAS v 8 (SAS INSTITUTE, 1999), o qual recomendou a transformação dos dados que está apresentada no quadro de análise de variância das variáveis estudadas. Foi procedida a análise de variância pelo teste F e a comparação das médias pelo teste de Tukey.

## **4. Resultados e Discussão**

### **4.1. Produção de Matéria Seca**

A produção de matéria seca da parte aérea apresentou significância apenas para o fator tempo e para a interação entre os fatores tempo e gesso (Quadro 3). A Figura 1 apresenta a produção de matéria seca da parte aérea nos tempos estudados, com e sem adição de gesso. Observou-se um acréscimo significativo na produção de matéria seca a partir de 100 dias de cultivo.

Quadro 3: Níveis de significância para matéria seca da parte aérea (MSPA) e matéria seca de raízes (MSRA), considerando-se os efeitos de gesso, classes de água de irrigação e tempo

Efeitos	MSPA	MSRA
Gesso (G)	ns	**
Classes de Água (A)	ns	**
Tempo (T)	**	**
G x A	ns	**
G x T	*	**
A x T	ns	**
G x A x T	ns	**
CV (%)	12,4	9,91
Transformação	log10	log10

ns – não significativo; \*\* e \* - significativos a 1 e 5%, respectivamente

A resposta não significativa para o fator água, no acúmulo de matéria seca da parte aérea (Quadro 3), indica que esta planta pode ser irrigada com água de condutividade elétrica elevada, sem prejuízo na sua produtividade, o que para a maioria das culturas não seria possível, segundo Montenegro & Montenegro, (2004).

Larcher (2000), afirma que os processos de crescimento são particularmente sensíveis ao efeito dos sais, de forma que a taxa de crescimento e a produção de biomassa, que pode ser indicada pela produção de matéria seca, são bons critérios para avaliação do grau de estresse e da capacidade de adaptação da planta à salinidade.

A *A. nummularia* apresentou capacidade de crescimento em solo com CE média de 35 mS cm<sup>-1</sup> e PST média de 50%, demonstrando seu potencial para ocupar áreas degradadas por sais onde outras plantas não teriam condições de crescimento. Esta halófita, analisando apenas sua capacidade de adaptação aos ambientes salinos, pode ser considerada uma alternativa economicamente viável

para a recuperação da capacidade produtiva dessas áreas, uma vez que a mesma pode servir como suporte forrageiro de boa qualidade para o gado do produtor desta região, geralmente sem recursos suficientes para manter seu rebanho bem alimentado (IPA, 2000; Ben Salem, 2003), bem como potencial de utilização na floricultura e paisagismo (Maia et al., 2003; Silva et al., 2003).

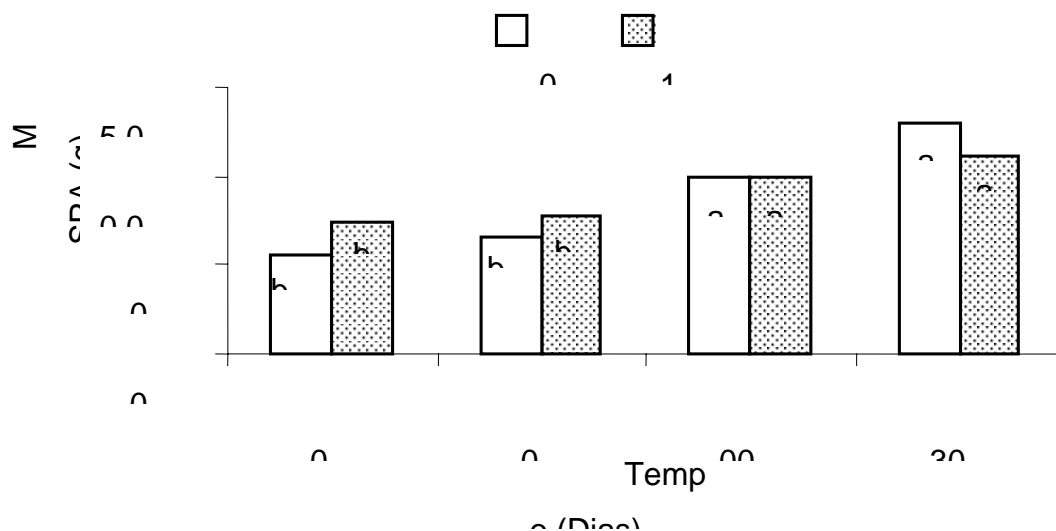


Figura 1: Matéria seca da parte aérea (MSPA) de *Atriplex nummularia* aos 40, 70, 100 e 130 dias, sem e com adição de gesso. Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas para gesso e minúsculas para tempo, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade.

A produção de matéria seca da raiz foi influenciada por todos os fatores estudados (Quadro 3). Na presença do gesso a produção de matéria seca radicular foi superior àquela observada na ausência de gesso (Quadro 4), ocorrendo acréscimo médio de 93,43% para os tratamentos com adição de gesso.

Vários pesquisadores citam que o teor excessivo de  $\text{Na}^+$  no solo causa dispersão das argilas interferindo nas propriedades físicas do solo, como porosidade, estrutura, condutividade hidráulica, entre outras. A adição de  $\text{Ca}(\text{SO}_4)_2$  contribui para a melhoria dessas propriedades, devido à substituição do  $\text{Na}^+$  trocável por  $\text{Ca}^{+2}$ , que atua na redução da dupla camada difusa aumentando a floculação do solo (Santos & Hernandez, 1997; Qadir et al., 1998; Freire 2001). Este efeito pode ser de grande valia, uma vez que favorece o transporte de água e ar no solo

influenciando sobre o aumento na produção de matéria seca da raiz que está associado à maior área de absorção radicular, e que pode aumentar a retirada de sais do solo por plantas hiperacumuladoras como a *A. nummularia*.

Quadro 4: Matéria seca das raízes (g) de *Atriplex nummularia* cultivada durante 40, 70, 100 e 130 dias, com e sem adição de gesso, irrigadas com águas de classe C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> e C<sub>3</sub>

Classe de Água	Tempo (dias)/Gesso							
	40		70		100		130	
	G 0	G 1	G 0	G 1	G 0	G 1	G 0	G 1
1	C 0 ,72Bb3	1, 68Ab3	1 ,52Bb2	2 ,96Aa2	2 ,06Ba1	4 ,68Aa1	3 ,13Ba1	5 ,53Aa1
2	C 1 ,01Ba3	1, 89Ab3	1 ,64Bb2	3 ,16Aa2	2 ,49Ba1	4 ,85Aa1	2 ,92Ba1	5 ,70Aa1
3	C 1 ,34Ba3	4, 85Aa3	2 ,13Aa2	2 ,17Aa2	3 ,18Aa1	3 ,32Aa1	3 ,70Ba1	5 ,62Aa1

Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas para gesso e minúsculas para água, ou números iguais (tempo) não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade

Inicialmente, aos 40 dias as águas salinas tenderam a aumentar a produção de matéria seca de raízes, tanto na ausência como na presença de gesso, efeito que foi reduzido com o tempo e desapareceu nas últimas épocas avaliadas. O fato das águas salinas não interferir na produção da MSRA é extremamente interessante, pois mesmo na época seca, quando ocorre aumento na concentração de sais nas águas de irrigação o pequeno produtor pode não ter uma queda de produção e o efeito da fitorremediação poderá continuar.

#### 4.2. Teor de sódio na planta

Para estudar a distribuição de sódio em plantas de *A. nummularia* foi determinado o seu teor na folha, caule e raiz.

O teor de sódio na folha foi significativo para os três fatores estudados e apresentou interações água x tempo e gesso x tempo significativas (Quadro 5). Os resultados evidenciaram que o teor de sódio tendeu a aumentar ao longo do tempo (Figura 2), com valores médios de 56,5; 53,5; 90,1 e 109,7g kg<sup>-1</sup> para os tempos 40;

70; 100 e 130 dias após o transplântio, respectivamente, apresentando significância a partir do terceiro tempo de coleta.

Quadro 5: Níveis de significância para teores de sódio (Na) nas folhas, caule e raízes, considerando-se os efeitos de gesso, classes de água de irrigação e tempo

Efeitos	Na folhas	Na caules	Na raízes
Gesso (G)	**	**	**
Classes de Água (A)	**	**	ns
Tempo (T)	**	**	**
G x A	ns	ns	**
G x T	**	**	**
A x T	**	**	ns
G x A x T	ns	**	**
CV (%)	4,47	7,78	4,95
Transformação	-	1/Na caule	1/SQRT(Na raiz)

ns – não significativo; \*\* e \* - significativos a 1 e 5%, respectivamente

Os teores maiores de sódio a partir de 100 dias, podem ser atribuídos ao fato de que neste período a produção de matéria seca da raiz começou a apresentar diferença significativa em relação aos tempos anteriores. Como esta pode ser relacionada com o volume de raiz, é possível afirmar que a partir deste período houve maior área de absorção radicular e conseqüentemente maior quantidade de sódio absorvido.

Os teores foliares encontrados indicam que esta halófita pode apresentar característica de planta hiperacumuladora. Para metais pesados, como  $Zn^{+2}$  e  $Mn^{+2}$ , são consideradas plantas hiperacumuladoras aquelas que acumulam mais de 10 g  $kg^{-1}$  de matéria seca. Não existem referências para plantas hiperacumuladoras de  $Na^{+}$ , entretanto, de acordo com Watanabe (1997), uma boa planta

hiperacumuladora deve ter características como alta taxa de crescimento e produção de biomassa, capacidade de absorção e concentração, e tolerância ao contaminante

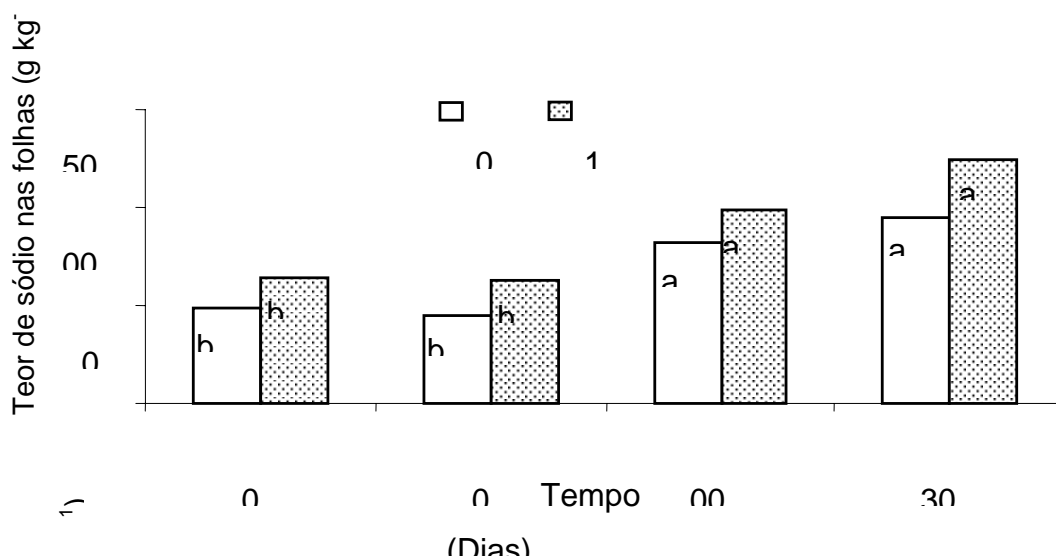


Figura 2: Teor de sódio na matéria seca das folhas de *Atriplex nummularia* cultivada durante 40, 70, 100 e 130 dias, com e sem adição de gesso. Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas para gesso e minúsculas para tempo, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade.

A *A. nummularia* possui algumas dessas características, sugerindo-se sua classificação como hiperacumuladora, e demonstrando seu potencial de utilização na fitoextração de solos com elevados teores de  $\text{Na}^+$ . Para isso, seria necessária a retirada das folhas através de podas periódicas e adequada destinação dessas, evitando que o sódio extraído não retorne ao solo, quando da decomposição das folhas.

A aplicação de gesso ao solo favoreceu aumento significativo nos teores foliares de sódio, sendo observado um acréscimo médio de 30,4% em relação aos



tratamentos na ausência de gesso. Os resultados obtidos com a adição de gesso também são superiores em 19,9% aos encontrados por Aganga et al., (2003), em plantas de *A. nummularia* cultivadas em solo salino na região de Botwana, Paquistão, que apresentaram média de 69,85 g kg<sup>-1</sup>.

Este resultado reforça a hipótese levantada nesse estudo, de que a aplicação do gesso pode aumentar a absorção de sódio pela planta, podendo ser usado para acelerar o processo de recuperação de solos salinos sódicos. Deve ser ressaltado que foi usada apenas 50% da necessidade de gesso calculada, implicando em economia na utilização desse insumo na fitorremediação de solos salino-sódicos.

Os teores de sódio no caule e na raiz apresentaram interação significativa para água, tempo e gesso (Quadro 5). No quadro 6 são apresentados os teores de sódio no caule e na raiz das plantas de *A. nummularia*. Os teores de sódio no caule e raiz, de maneira geral, foram superiores nos tratamentos com adição de gesso, com incrementos médios de 27,1% e 93,5% respectivamente.

Em relação ao teor de sódio no caule ao longo do tempo, observou-se que este tendeu a aumentar significativamente a partir dos 70 dias para os tratamentos sem adição de gesso, e a partir de 130 dias para os tratamentos com presença de gesso. Já para o sódio na raiz esta tendência só é verificada a partir dos 100 dias nos tratamentos com adição de gesso.

De modo geral as plantas acumularam mais sódio nas folhas, seguido pela raiz e caule (Figura 3). Larcher (2000), afirma que a *A. nummularia* apresenta pêlos vesiculares nas folhas, responsáveis pela acumulação de NaCl, esta característica é uma estratégia de controle da presença de sal. Este comportamento revela forte aptidão da *A. nummularia* para ser usada na fitorremediação de solos com excesso de sais, pois segundo Accioly & Siqueira (2000), a translocação do contaminante da raiz para a parte aérea facilita a retirada deste quando a planta for colhida.

Verificou-se que a aplicação de água de irrigação na faixa de 175  $\mu\text{S cm}^{-1}$  a 1500  $\mu\text{S cm}^{-1}$ , de modo geral, não interferiu significativamente no teor de Na nas folhas da planta (Figura 4).

Plantas cultivadas em solos afetados por sais, podem acumular íons ou solutos compatíveis; para tentar superar o estresse osmótico causado pelo excesso de sais na solução do solo (Zhu, 2003). O teor elevado nas raízes pode estar relacionado a tal mecanismo, justificando a boa performance de desenvolvimento nesse tipo de ambiente.

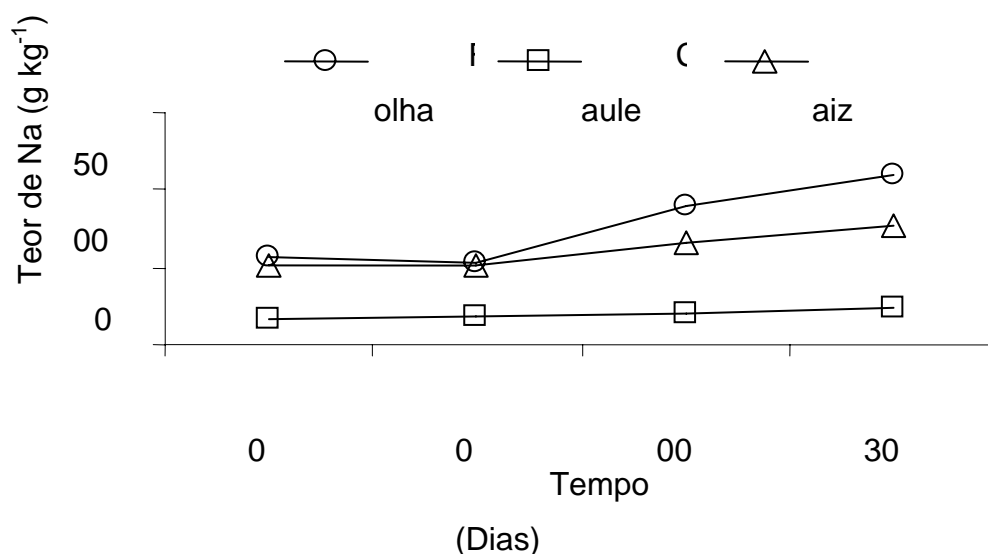


Figura 3. Distribuição de sódio nas folhas, caule e raízes de *A. nummularia* aos 40, 70, 100 e 130 dias de cultivo.

Quadro 6: Teores de sódio no caule e raízes de *Atriplex nummularia* cultivada durante 40, 70, 100 e 130 dias, com e sem adição de gesso, irrigadas com águas de classe C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> e C<sub>3</sub>

Classe de Água	Tempo (dias)/Gesso				
	40		70		
	G0	G1	G0	G1	G0
<b>Teor de Na no Caule (g kg<sup>-1</sup>)</b>					
C <sub>1</sub>	13,65Bb2	19,25Aa2	18,44Aa1	15,98Aa2	16,95Ba
C <sub>2</sub>	17,14Aa2	19,38Aa2	16,32Aa2	19,54Aa2	18,50Aa

C <sub>3</sub>	13,53Bb2	19,30Aa1	20,09Aa1	20,83Aa1	19,55Ba
<b>Teor de Na nas Raízes (g kg<sup>-1</sup>)</b>					
C <sub>1</sub>	37,94Ba1	64,12Aa2	36,03Bb1	63,16Aa2	38,83Ba
C <sub>2</sub>	42,73Ba1	65,19Aa2	43,00Ba1	58,86Aa2	49,00Ba
C <sub>3</sub>	35,75Ba2	66,57Aa2	41,31Ba12	60,24Aa2	46,58Ba

Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas para gesso e minúsculas para água, ou números iguais (tempo) não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade.

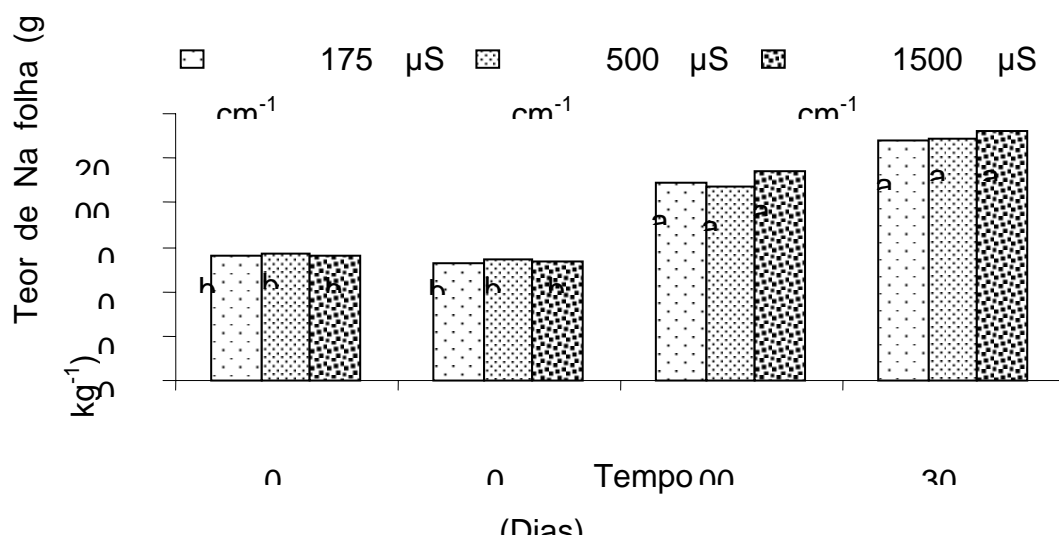


Figura 4. Teor de sódio na matéria seca da folha de *Atriplex nummularia* cultivada com água de irrigação de diferentes classes, aos 40, 70, 100 e 130 dias de cultivo. Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas para classes de água e minúsculas para tempo, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade.

#### 4.3. Teores de cálcio, magnésio e potássio na planta

Os teores de cálcio na folha sofreram influência das classes de água, tempo e da interação entre os fatores gesso e água (Quadro 7).

A Figura 5 evidencia que as plantas de *A. nummularia*, não apresentaram aumento no teor de cálcio nas folhas quando cultivadas em solo com adição de

gesso. O teor de Ca na folha também não apresentou diferença significativa quando as plantas foram irrigadas com as diferentes águas de trabalho, demonstrando que o aumento do nível de sal na solução do solo não interferiu na absorção do mesmo.

Resultados semelhantes são descritos por Aganga et al., (2003), que encontrou valores médios de 5,35 g kg<sup>-1</sup> de cálcio nas plantas de *A. nummularia* em pesquisa realizada em solos salinos do Paquistão.

Para os teores de cálcio no caule e raiz a análise de variância apresentou significância para a interação tripla (Quadro 7). Nos tratamentos com aplicação de gesso, o teor de cálcio na raiz apresentou acréscimo nos valores médios na ordem de 42,02% em relação aos tratamentos sem a adição de gesso (Quadro 8). Este fato pode ser atribuído a maior disponibilidade de Ca<sup>+2</sup> na solução do solo.

O cálcio não variou significativamente ao longo dos tempos estudados, tanto para o teor no caule, como na raiz.

Quadro 7: Níveis de significância para teores de cálcio (Ca) nas folhas, caules e raízes, considerando-se os efeitos de gesso, classes de água de irrigação e tempo

Efeitos	Ca folhas	Ca caule	Ca raízes
Gesso (G)	Ns	**	**
Classes de Água (A)	**	ns	ns
Tempo (T)	**	ns	**
G x A	**	ns	**
G x T	Ns	ns	ns
A x T	ns	*	**
G x A x T	ns	**	**
CV (%)	5,24	33,44	8,90
Transformação	-	(Ca caule) <sup>-3,5</sup>	-

ns – não significativo; \*\* e \* - significativos a 1 e 5%, respectivamente

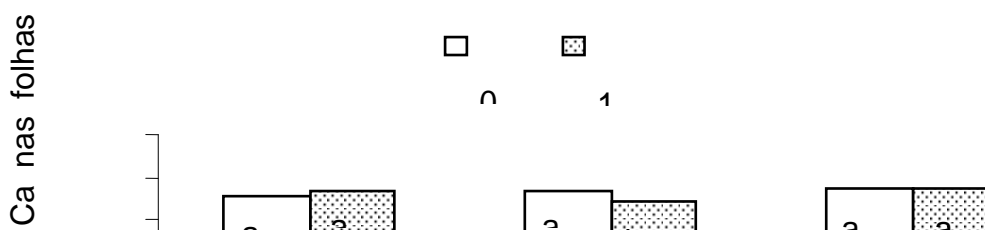


Figura 5: Teor de cálcio na matéria seca da folha de *Atriplex nummularia* cultivada com água de irrigação de diferentes classes, com e sem adição de gesso. Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas para gesso e minúsculas para classes de água, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade.

Quadro 8: Teores de cálcio no caule e raízes de *Atriplex nummularia* cultivada durante 40, 70, 100 e 130 dias, com e sem adição de gesso, irrigadas com águas de classe C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> e C<sub>3</sub>

Classe de Água	Tempo (dias)/Gesso				
	40		70		100
	G0	G1	G0	G1	G0
<b>Teor de Ca no Caule (g kg<sup>-1</sup>)</b>					
C <sub>1</sub>	2,93Aa1	3,02Aa1	2,75Ab1	2,77Aa1	2,82Aa1
C <sub>2</sub>	2,92Aa1	2,66Aa1	2,83Ab1	2,85Aa1	2,86Aa1
C <sub>3</sub>	2,90Aa1	2,53Aa1	5,47Aa1	2,80Ba1	2,67Aa1
<b>Teor de Ca na Raiz (g kg<sup>-1</sup>)</b>					
C <sub>1</sub>	3,58Ba1	5,12Aa1	3,42Ba1	4,77Aa1	3,48Ba1
C <sub>2</sub>	3,34Ba1	5,02 Aa1	3,55Ba1	4,87Aa1	3,61Ba1
C <sub>3</sub>	4,21Ba1	5,04 Aa1	3,23 Ba1	4,83Aa1	2,61Ba1

Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas para gesso e minúsculas para água, ou números iguais (tempo) não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade

Os teores de magnésio na folha e raiz apresentaram significância para a interação tripla, enquanto que no caule houve interação apenas para água e tempo (Quadro 9). As plantas apresentaram tendência em aumentar os teores de Mg na folha e raiz, quando cultivadas em solo com adição de gesso, porém não significativa (Quadro 10). Observou-se ainda que não houve diferença significativa no teor de Mg ao longo do tempo, nem para a aplicação das diferentes águas de trabalho.

O teor de magnésio no caule não apresentou variação no tempo, com relação à água de irrigação (Figura 6). Observou-se que a água C<sub>3</sub> proporcionou maiores teores de Mg aos 40 dias.

O teor desse elemento quando comparado entre as partes estudadas apresentou maiores valores para raiz, seguido de folha e os menores teores foram observados no caule (Quadro 10).

Quadro 9. Níveis de significância para teores de magnésio (Mg) nas folhas, caules e raízes, considerando-se os efeitos de gesso, classes de água de irrigação e tempo

Efeitos	Mg folhas	Mg caule	Mg raízes
Gesso (G)	**	ns	ns
Classes de Água (A)	**	ns	**
Tempo (T)	**	ns	ns
G x A	**	ns	ns
G x T	**	ns	ns
A x T	**	**	ns
G x A x T	**	ns	**
CV (%)	2,76	4,89	22,04
Transformação	-	-	(Mg <sup>+2</sup> raiz) <sup>2,9</sup>

ns – não significativo; \*\* e \* - significativos a 1 e 5%, respectivamente

A análise de variância dos teores de potássio na folha, caule e raiz, demonstraram significância para a interação entre gesso, água e tempo (Quadro 11). Os teores de potássio estão apresentados no quadro 12. Observou-se que para os teores de K na folha e na raiz houve diferenças significativas entre os tratamentos com e sem adição de gesso, com valores superiores na ordem de 23,5% e 51%, respectivamente para folha e raiz, na presença de gesso. A aplicação de águas de irrigação não influenciou na absorção deste nutriente pela *A. nummularia*.

Os teores de K nas raízes apresentaram tendência de serem superiores aos observados nas folhas e caule. Segundo Larcher (2000) as halófitas dicotiledôneas, tendem a acumular íons inorgânicos nas raízes para baixar seu potencial osmótico, sendo os íons Na e K mais freqüentemente acumulados.

Quadro 10. Teores de magnésio nas folhas, caule e raízes de *Atriplex nummularia* cultivada durante 40, 70, 100 e 130 dias, com e sem adição de gesso, irrigadas com águas de classe C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> e C<sub>3</sub>

Classe de Água	Tempo (dias)/Gesso				
	40		70		
	G0	G1	G0	G1	G0
<b>Teor de Mg nas Folhas (g kg<sup>-1</sup>)</b>					
C <sub>1</sub>	4,48Aa2	4,58Aa2	4,97Aa1	5,04Aa1	4,82Aa12
C <sub>2</sub>	4,19Aa2	4,53Aa1	4,49Aa12	4,86 Aa1	4,28Aa12
C <sub>3</sub>	4,51Aa2	4,96Aa1	4,63Aa1	4,72Aa12	4,70Aa1
<b>Teor de Mg na Raiz (g kg<sup>-1</sup>)</b>					

C <sub>1</sub>	5,70Aa1	5,89Aa1	6,05 Aa1	6,05 Aa1	5,68 Aa1
C <sub>2</sub>	5,71Aa1	6,40Aa1	5,93 Aa1	5,86 Aa1	6,44 Aa1
C <sub>3</sub>	6,13Aa1	5,46Aa1	5,72 Aa1	5,36 Aa1	5,54 Aa1

Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas para gesso e minúsculas para água, ou números iguais (tempo) não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade

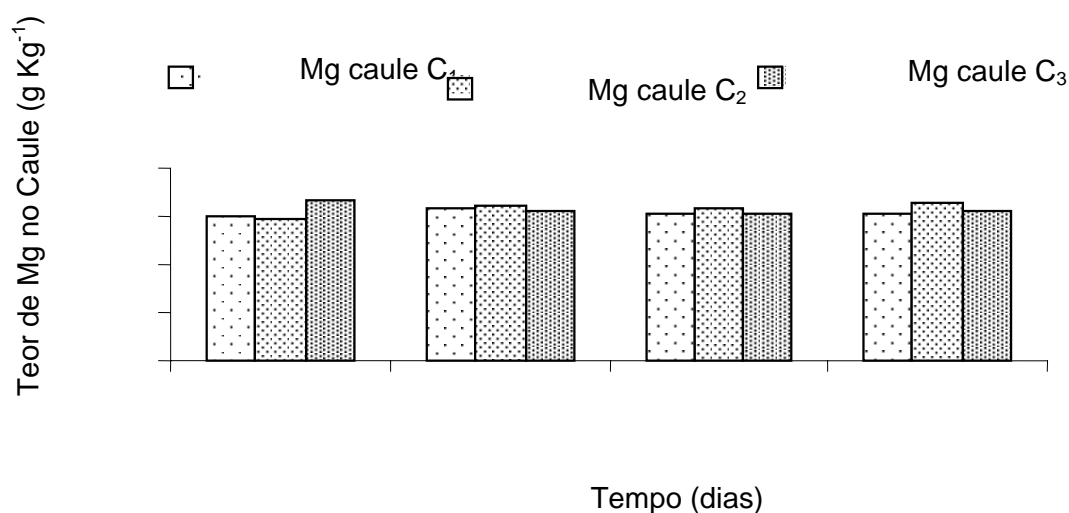


Figura 6. Teor de magnésio na matéria seca do caule de *Atriplex nummularia* cultivada com água de irrigação de diferentes classes, aos 40, 70, 100 e 130 dias de cultivo. Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas para classes de água e minúsculas para tempo, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade.

Quadro 11: Níveis de significância para teores de potássio (K) nas folhas, caules e raízes, considerando-se os efeitos de gesso, classes de água de irrigação e tempo

Efeitos	K folhas	K caules	K raízes
Gesso (G)	**	*	**
Classes de Água (A)	ns	Ns	**
Tempo (T)	**	Ns	**
G x A	ns	Ns	*



G x T	ns	**	ns
A x T	**	*	*
G x A x T	*	**	**
CV (%)	7,07	2,15	10,95
Transformação	-	log10	-

ns – não significativo; \*\* e \* - significativos a 1 e 5%, respectivamente

Quadro 12. Teores de potássio nas folhas, caule e raízes de *Atriplex nummularia* cultivada durante 40, 70, 100 e 130 dias, com e sem adição de gesso, irrigadas com águas de classe C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> e C<sub>3</sub>

Classe de Água	Tempo (dias)/Gesso				
	40		70		
	G0	G1	G0	G1	G0
<b>Teor de K nas Folhas (g kg<sup>-1</sup>)</b>					
C <sub>1</sub>	17,99Ba1	20,23Aa1	13,44Ba2	19,89Aa1	17,37Aa1
C <sub>2</sub>	16,33Ba1	20,27Aa1	16,74Aa1	18,74Aa1	17,60Ba1
C <sub>3</sub>	15,57Ba1	17,59Aa1	16,08Ba1	21,53Aa1	17,58Ba1
<b>Teor de K no Caule (g kg<sup>-1</sup>)</b>					
C <sub>1</sub>	13,13Bb2	16,95Aa1	16,93Aa1	15,39Aa1	16,59Aa1
C <sub>2</sub>	15,90Aa1	17,09Aa1	15,86Aa1	15,38Aa1	15,85Aa1
C <sub>3</sub>	16,08Aa1	16,25Aa1	16,58Aa1	16,76Aa1	15,86Aa1
<b>Teor de K na Raiz (g kg<sup>-1</sup>)</b>					
C <sub>1</sub>	17,14Bb2	24,17Aa1	15,32Ba2	25,54 a1	18,37Aa1
C <sub>2</sub>	19,07Ba1	29,46Aa1	19,79Ab1	28,19Aa1	15,35Ab1
C <sub>3</sub>	19,90Ba1	33,24Aa1	16,30Ab1	29,22Aa1	17,51Ab1

Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas para gesso e minúsculas para água, ou números iguais (tempo) não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade

Os resultados não significativos para influência das águas com elevada concentração de sais na absorção deste elemento, bem como da absorção de cálcio e magnésio, contribui para a afirmação de que esta halófito apresenta desempenho bastante satisfatório quando cultivada em solos salinos-sódicos.

#### 4.4. Teores de sódio, potássio, cálcio e magnésio no solo

A análise de variância indica que houve significância para a interação entre os fatores gesso, água e tempo para os teores de sódio no solo (Quadro 13).

Os resultados de comparação de médias para os teores de sódio no solo encontram-se no quadro 14. Observou-se que os tratamentos sem adição de gesso apresentaram redução média no teor de sódio em torno de 25,78 %, a partir de 100 dias. No entanto este fato foi antecipado para 70 dias nos tratamentos que receberam adição de gesso e irrigados com água C<sub>1</sub> apresentando redução média de 8,1 %. Quando foram usadas as águas de irrigação C<sub>2</sub> e C<sub>3</sub>, este efeito foi igual aos tratamentos na ausência de gesso, porém com redução de 30,75 %.

Quadro 13. Níveis de significância para teores de sódio (Na<sup>+</sup>), cálcio (Ca<sup>+2</sup>), magnésio (Mg<sup>+2</sup>) e potássio (K<sup>+</sup>) no solo, considerando-se os efeitos de gesso, classes de água de irrigação e tempo

Efeitos	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	K <sup>+</sup>
Gesso (G)	**	**	**	ns
Classes de	**	**	**	**
Água (A)				
Tempo (T)	**	**	**	**
G x A	**	**	**	ns
G x T	**	**	**	**
A x T	**	**	**	**
G x A x T	**	**	**	**
CV (%)	2,98	3,11	17,74	25,05

---

Transformação	-	log10	log10	Log10
---------------	---	-------	-------	-------

---

ns – não significativo; \*\* e \* - significativos a 1 e 5%, respectivamente

Quadro 14: Teores de sódio, potássio, cálcio e magnésio no solo após cultivo com *Atriplex nummularia* durante 40, 70, 100 e 130 dias, com e sem adição de gesso, irrigadas com águas de classe C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> e C<sub>3</sub>

lasse de Água	C	Tempo (dias)/Gesso									
		40		70		100		130			
		G	G	G	G	G	G	G	G		
		0	1	0	1	0	1	0	1		
<b>Na<sup>+</sup> (cmolc dm<sup>-3</sup>)</b>											
1	C	6,06Aa1	6	5	5	4	3	4	3		
		,17Aa1	,80Aa1	,67Ab2	,39Aa2	,83Bb3	,26Aa2	,94Aa3			
2	C	6	6	5	6	4	4	4	4		
		,07Aa1	,33Aa1	,94Aa1	,11Aa1	,46Aa2	,21Aa2	,32Aa2	,14Aa2		
3	C	6	5	5	5	4	4	4	4		
		,19Aa1	,52Bb1	,98Aa1	,51Bb1	,75Aa2	,37Aa2	,63Aa2	,15Ba2		
<b>K<sup>+</sup> (cmolc dm<sup>-3</sup>)</b>											
1	C	0	0	1	0	1	1	1	1		
		,95Aa1	,84Ab12	,06Aa1	,70Aa2	,05Aa1	,48Aa1	,14Aa1	,54Aa1		
2	C	1	0	0	0	0	0	0	0		
		,01Aa1	,83Ab1	,70Aa12	,67Aa1	,54Ab2	,90Aa1	,91Aa12	,67Aa1		
3	C	0	2,25Aa1	0	0	1	1	1	0		
		,87Aa1	,73Aa1	,59Aa2	,17Aa1	,15Aa1	,09Aa1	,84Aa12			
<b>Ca<sup>+2</sup> (cmolc dm<sup>-3</sup>)</b>											
1	C	3	2	3	2	3	2	3	2		
		,82Ba1	1,60aA1	,50Bb1	1,86Aa1	,36Bb1	4,69Aa1	,16aB2	7,36Aa1		
2	C	4	2	3	2	3	2	4	2		
		,08Ba1	0,84Aa2	,97Ba1	2,1Aa12	,45Bb1	4,80Aa1	,08Ba1	5,97Aa1		
3	C	4	2	4	2	4	3	4	2		
		,23Ba1	2,72Aa2	,75 Ba1	2,47Aa2	,21Ba1	0,33Aa1	,24Ba1	3,94Ba12		
<b>Mg<sup>+2</sup> (cmolc dm<sup>-3</sup>)</b>											
1	C	0,	1	0	1	0	2,	0,66Ba1	2,		
		44Ba1	,19Aa2	,58Ba1	,56bA1	,85Ba1	12aA1	47Aa1			
2	C	0,	1	0	1	0	2,	0	1,		
		59Ba1	,45Aa2	,65 Ba1	,65 Aa1	,51Ba1	11aA1	,63Ba1	11Ab2		
3	C	0,	1	0	1	0	1,	0	1,		
		61Ba1	,26Aa1	,62 Ba1	,53Aa1	,26Bb2	50 Ab1	,55Ab1	17Ab1		

Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas para gesso e minúsculas para água, ou números iguais (tempo) não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade

Vale salientar que a aplicação das águas de trabalho durante o período do experimento adicionou ao solo certa quantidade de sódio variando de 2,7 a 20,4 cmol<sub>c</sub> de Na<sup>+</sup> (Quadro 15). No entanto foi observada uma tendência a uniformidade no acúmulo deste elemento no solo, para as águas utilizadas quando comparadas no mesmo período.

Valores maiores na redução de Na<sup>+</sup> do solo para os tratamentos com adição de gesso podem ser atribuídos a maior produção de matéria seca de raízes e conseqüente maior área de absorção radicular, acarretando em maior extração deste elemento pela planta como demonstrado pelos resultados do teor de sódio na planta.

Porto et al (2001), estudando o uso de rejeito de dessalinizador na irrigação de *A. nummularia*, afirmam que a retirada de sais por esta halófita não foi tão significativa, quando comparada ao quantitativo de sais adicionados ao solo através da irrigação com água de alta salinidade (11380 μS cm<sup>-1</sup>). Por outro lado os resultados aqui obtidos demonstram que a *A. nummularia* foi capaz de evitar o aumento da contaminação por sódio através da água de irrigação e ainda promover o decréscimo no teor do mesmo no complexo de troca do solo. Este fato aponta para seu potencial de fitoextração, auxiliando na recuperação de áreas degradadas por sais e com disponibilidade de água de irrigação na faixa de 175 a 1500 μS cm<sup>-1</sup>.

A análise de variância demonstrou significância para a interação tripla para os teores de cálcio no solo (Quadro 13).

Houve efeito significativo para a aplicação de gesso nos teores de cálcio no solo (Quadro 14), evidenciando um aumento médio de 526,7 %. Este efeito já era esperado, devido à composição química do gesso. Nota-se ainda que o teor de cálcio não foi afetado pelo fator tempo para os tratamentos na ausência de gesso, porém nos tratamentos que receberam gessagem, este apresentou tendência a valores maiores ao longo do tempo, talvez devido ao maior tempo de solubilização do gesso com o solo.

Quadro 15: Quantidade de sódio adicionado ao solo (cmol<sub>c</sub>) por diferentes classes de água ao longo do tempo

Classe de Água	Tempo de Aplicação (dias)			
	40	70	100	130
C <sub>1</sub> (175 µS cm <sup>-1</sup> )	2,7	4,7	6,7	8,8
C <sub>2</sub> (500 µS cm <sup>-1</sup> )	6,0	10,5	15,0	19,5
C <sub>3</sub> (1500 µS cm <sup>-1</sup> )	12,5	21,9	31,4	40,6

1)

Com relação à água de irrigação, de modo geral, pode-se observar que quando irrigados com águas C<sub>3</sub>, os teores de Ca<sup>+2</sup> apresentaram tendência a valores superiores, podendo este fato ser atribuído a maior concentração deste na água C<sub>3</sub> (Quadro 2).

Muitos autores citam que o Ca adicionado ao solo através do emprego do gesso substitui o Na<sup>+</sup> trocável, convertendo argila-Na em argila-Ca (Kelley, 1951; Santos & Hernandez, 1997; Ribeiro et al., 2003). Esta substituição tem efeito direto na redução da dupla camada difusa, favorecendo o aumento do grau de floculação, melhoria da estrutura do solo, condutividade hidráulica, porosidade, entre outras propriedades. Baseado nessa teoria pode-se dizer que o sódio trocável, agora presente na solução do solo, tornou-se mais disponível para a absorção pela *A. nummularia*, e que maior volume de solo pode ser recuperado pelo sistema radicular, que é influenciado positivamente pela melhoria das propriedades físicas do solo, favorecendo desta forma a atuação da fitorremediação. Esta afirmação é reforçada pelos resultados de sódio na planta e no solo, bem como pela produção de matéria seca da raiz, apresentados anteriormente.

Os teores de magnésio no solo apresentaram interação entre os fatores tempo, água e gesso (Quadro 13) e encontram-se descritos no quadro 14. A adição de gesso aumentou significativamente os teores de Mg<sup>+2</sup> no solo. Quando irrigados com água C<sub>1</sub> o teor de Mg<sup>+2</sup> no solo foi inferior nos dois primeiros tempos de coleta.

O aumento do teor de Mg<sup>+2</sup> no solo pode estar associado à presença deste elemento como impureza no gesso, na forma de MgO (Barros, 2001).

Observa-se no quadro 13, que para o teor de potássio no solo houve significância para a interação tripla entre os fatores estudados.

Os resultados do teor de potássio no solo encontram-se no quadro 14. De modo geral o teor deste elemento apresentou certa uniformidade ao longo do tempo, bem como para a aplicação das águas de irrigação. Observou-se que os teores desse elemento apresentam tendência a valores maiores nos tratamentos com adição de gesso, a partir de 100 dias, no entanto não significativa. Este fato pode ter ocorrido devido a maior disponibilidade de sódio na solução do solo com a adição de gesso e maior preferência por este íon em relação ao  $K^+$  na absorção pelas raízes da planta. Miyamoto et al. (1996) estudando a absorção de nutrientes pela *A. nummularia* constatou que esta tem preferência pela absorção de  $Na^+$  em relação aos íons  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$  e  $K^+$ .

A preservação dos teores de potássio no sistema ao longo do tempo pode ser considerada uma vantagem da fitoextração com *Atriplex* em relação a métodos convencionais. Segundo Qadir et al. (1998) solos salinos sódicos recuperados com lavagem do perfil podem retirar grandes quantidades de potássio da zona radicular devido a sua mobilidade no solo. Dessa forma a fitorremediação apresentou-se como uma técnica que não causa perda significativa nos teores de potássio do solo.

#### **4.5. Condutividade elétrica (CE) e percentagem de sódio trocável do solo (PST)**

A interação tripla entre os fatores estudados foi significativa para a condutividade elétrica do solo (Quadro 16). A adição de gesso acarretou aumento na condutividade elétrica do solo nos tratamentos irrigados com água  $C_1$  apenas para os primeiros 100 dias (Quadro 17). De modo geral, quando o solo foi irrigado com águas  $C_2$  e  $C_3$  este efeito, não foi observado entre os tratamentos com e sem adição de gesso.

Quadro 16: Níveis de significância para Condutividade Elétrica (CE) e Percentagem de Sódio Trocável (PST) no solo, considerando-se os efeitos de gesso, classes de água de irrigação e tempo

Efeitos	CE	PST
Gesso (G)	**	**
Classes de	**	**
Água (A)		
Tempo (T)	**	**
G x A	**	Ns
G x T	ns	*
A x T	**	**
G x A x T	**	**
CV (%)	2,85	10,77
Transformação	log10	(PST) <sup>2,6</sup>

ns – não significativo; \*\* e \* - significativos a 1 e 5%, respectivamente

Quadro17: Condutividade elétrica do extrato de saturação e percentagem de sódio trocável do solo após cultivo com *Atriplex nummularia* durante 40, 70, 100 e 130 dias, com e sem adição de gesso, irrigadas com águas de classe C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> e C<sub>3</sub>

Classe de Água	Tempo (dias)/Gesso					
	40		70			
	G0	G1	G0	G1	G0	
	<b>CE<sub>ext</sub> mS cm<sup>-1</sup></b>					
C <sub>1</sub>	22,2Bb2	35,6Aa1	31,5Ba1	44,2Aa1	32,5Ba1	
C <sub>2</sub>	29,6Aa2	27,6Ab2	34,4Aa12	35,9Aa1	40,5Aa1	
C <sub>3</sub>	35,5Aa1	36,3Aa1	32,3Aa1	39,8Aa1	38,7Aa1	
	<b>PST (%)</b>					
54,7Aa1	52,1Aa1	54,2Aa1	50,2Aa1	46,5Ab2	36,4Ba2	47,4Aa2
52,5Aa1	50,5Aa1	53,5Aa1	49,8Aa1	50,5Aa1	40,2Ba2	44,3Aa2
52,7Aa1	43,6Bb12	50,1Aa1	45,0Aa1	46,8Ab2	39,7Ba2	45,0Aa2

Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste Tukey. Letras maiúsculas para gesso, minúscula para água e número para tempo.

Nota-se que o comportamento da CE para os solos com presença de gesso tende a ser decrescente a partir do terceiro tempo de coleta (100 dias), quando irrigados com água C<sub>1</sub>, e para as águas C<sub>2</sub> e C<sub>3</sub> este fenômeno é observado aos



130 dias. Para os solos na ausência de gesso esse comportamento tende a ser contrário já a partir do primeiro tempo de coleta (Quadro 17).

*Com relação às águas de irrigação, observa-se que a condutividade elétrica do solo tende a não variar estatisticamente quando comparadas no mesmo período (Quadro 17).*

A CE expressa a concentração de sais solúveis na pasta saturada do solo, (Freire, 2001). Baseado nesta afirmação pode-se inferir que o aumento da  $CE_t$  nos tratamentos com gesso pode ser devido a maior concentração de cálcio, contribuindo dessa forma para o aumento da CE do solo.

No quarto tempo a diferença estatística na CE entre os tratamentos com e sem gessagem deixa de existir (Quadro 17), talvez pelo fato de a acumulação de sais proveniente da irrigação para os tratamentos sem adição de gesso se tornar acentuada, e por outro lado, a condutividade elétrica tender a baixar nesse período provavelmente devido ao aumento na absorção de sódio apresentada pela planta nessa ocasião.

O fato de não haver esse comportamento quando o solo foi irrigado com águas  $C_2$  e  $C_3$  deve estar ligado à maior concentração salina existente nessas águas. Em geral os resultados demonstram o potencial do gesso como insumo da fitorremediação, mesmo que inicialmente ocorra aumento na CE esta tende a baixar com o tempo, provavelmente pelo favorecimento à maior retirada de sais pela planta, devido aos aspectos já discutidos anteriormente.

*A análise de variância (Quadro 16) mostra que para a porcentagem de sódio trocável (PST) houve interação significativa para tempo, água e gesso.*

A PST do solo foi consideravelmente reduzida a partir dos 100 dias de cultivo (Quadro 17), tanto para os tratamentos onde foi realizada a gessagem, quanto na ausência desse insumo, com reduções médias de 18,89% e 11,12% respectivamente. Houve tendência de a PST não ser influenciada pela aplicação das diferentes águas de trabalho (Quadro 17).

*A maior redução da PST nos tratamentos com adição de gesso, que representa 69,87% a mais em relação aos tratamentos sem gesso; pode estar relacionada a um efeito sinérgico entre o gesso e a extração de sódio pela planta. Dessa forma, o cálcio fornecido por este insumo pode ocupar maior número de sítios de troca na CTC do solo diminuindo a saturação por sódio, bem como o efeito*

do gradiente de concentração promovida pela absorção de grande quantidade de sódio pela planta, forçando a reposição deste contaminante na solução do solo.

Este efeito pode ser visto quando comparados conjuntamente os resultados de teor de cálcio no solo, teor de sódio no solo (Quadro 14) e na planta (Figura 2, Quadro 6).

Segundo Lima (1997) a redução da PST pode ter efeito na melhoria das propriedades físicas do solo devido a menor dispersão das argilas. Esta provável melhoria das propriedades físicas do solo pode justificar a maior produção de matéria seca de raízes nesses tratamentos. Por outro lado, os resultados da redução na PST nos tratamentos sem adição de gesso indicam que a *A. numularia* tem potencial para reduzir os efeitos negativos do excesso de sódio presente no complexo de troca.

#### 4.6. Fator de Transferência de sódio

O fator de transferência (FT) apresentou resultados significativos para os fatores gesso e tempo, e para as interações gesso x água e gesso x tempo, como demonstrado na análise de variância (Quadro 18).

Os resultados da comparação de médias pelo teste de Tukey para o fator de transferência dentro da interação gesso x tempo encontram-se na Figura 7. Pôde-se observar que o fator de transferência apresentou diferença estatística entre os tratamentos na presença e na ausência de gesso, com valores médios de 82,5 e 60,2 respectivamente. Observa-se que a partir de 100 dias o FT apresentou aumento significativo tanto para as plantas cultivadas na presença como na ausência de gesso.

Quadro 18: Níveis de significância para Fator de Transferência (FT) na planta, considerando-se os efeitos de gesso, classes de água de irrigação e tempo

Efeitos	FT
Gesso (G)	**

Classes de	Ns
Água (A)	
Tempo (T)	**
G x A	**
G x T	**
A x T	Ns
G x A x T	Ns
CV (%)	2,78
Transformação	SQRT(FT)

ns – não significativo; \*\* e \* - significativos a 1 e 5%, respectivamente

Os valores do fator de transferência nos tratamentos na presença de gesso apresentaram acréscimo médio de 37,1% em relação à ausência desse insumo. Estes resultados indicam que o uso de gesso como insumo da fitorremediação de solos salinos-sódicos com *A. nummularia* pode incrementar a retirada de sais pela planta, diminuindo o tempo de recuperação destes solos.

Tomando como base os dados obtidos por IPA (2000) e Porto et al.(2001), a *A. nummularia* retira do solo cerca de 1000 kg ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup> de sal. Nas condições estudadas o gesso poderia aumentar a retirada de sais em 371 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. O efeito do gesso no incremento do FT e conseqüente diminuição do teor de sódio no solo é evidenciado quando se compara essas duas variáveis conjuntamente (Figura 8). O fato do gesso promover o incremento do fator de transferência pode estar relacionado ao efeito deste insumo no aumento da concentração de sódio na planta como pode ser observado nos resultados de sódio na folha (Figura 2), no caule e na raiz (Quadro 6).

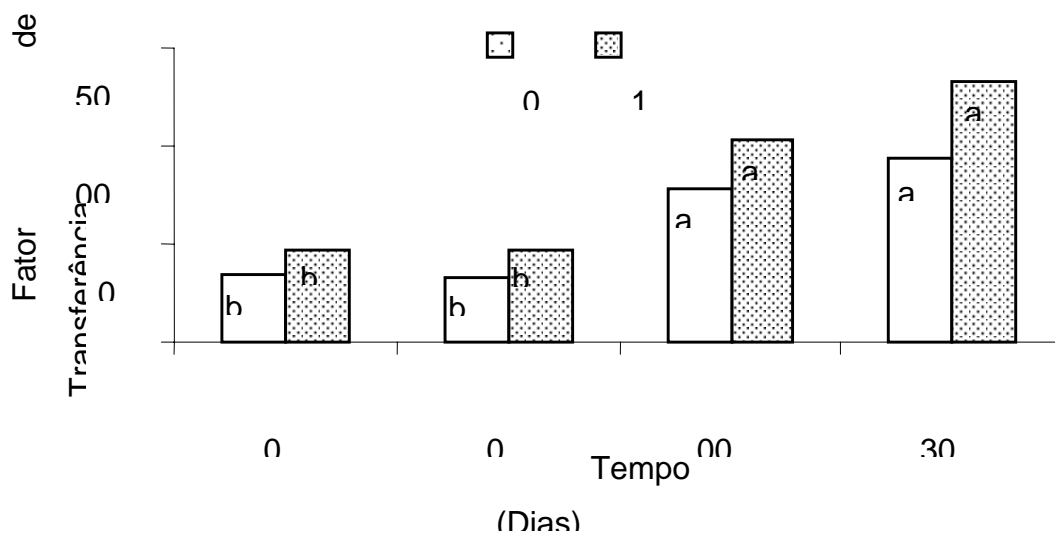


Figura 7. Fator de Transferência da *Atriplex nummularia* cultivada durante 40, 70, 100 e 130 dias, com e sem adição de gesso. Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas para gesso e minúsculas para tempo, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade.

Segundo Accioly & Siqueira (2000), uma planta pode ser considerada acumuladora quando a concentração nos tecidos é superior à concentração no solo. Considerando tal comportamento, indica-se o potencial da *Atriplex nummularia* para a fitoextração. A planta em estudo denota essa característica como pode ser visto na Figura 9 onde estão comparados os teores de sódio na planta e no solo expressos em  $\text{mg kg}^{-1}$ .

O fator de transferência expressa a capacidade da planta em extrair o contaminante do solo, quanto maior for o fator de transferência maior potencial para ser usada na fitorremediação a planta apresenta. Os resultados encontrados para o fator de transferência pela *A. nummularia* foram bastantes elevados, podendo ser considerada planta hiperacumuladora de sódio e ser usada para extração deste contaminante em solos degradados.

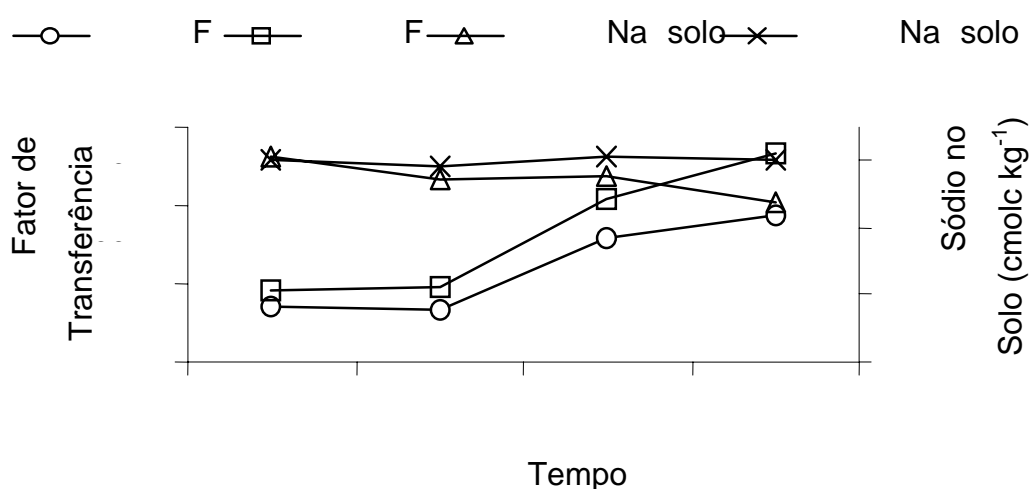


Figura 8. Relação entre fator de transferência e teor de sódio no solo após cultivo da *Atriplex nummularia* durante 40, 70, 100 e 130 dias, com e sem adição de gesso.

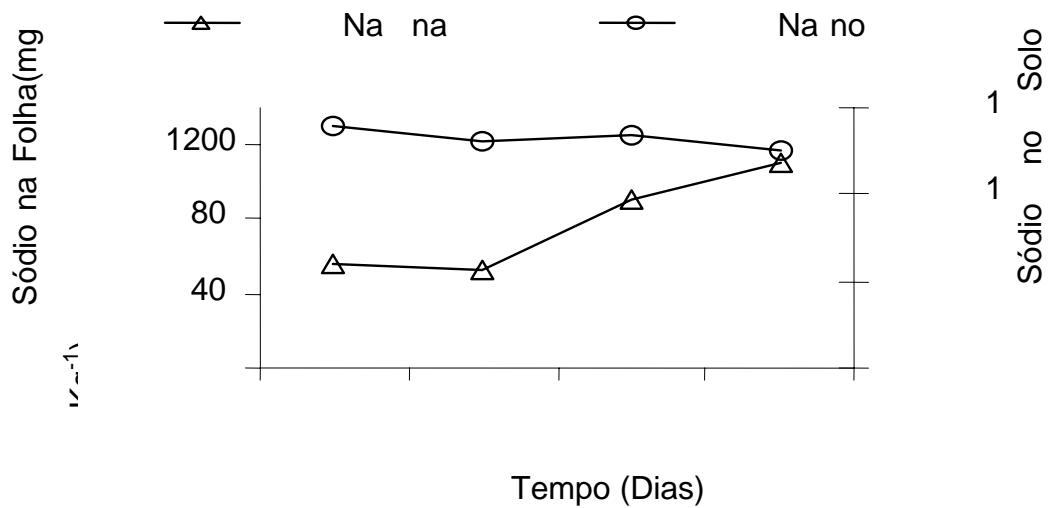


Figura 9. Relação entre teores médios de sódio na folha de *Atriplex nummularia* e no solo durante 40, 70, 100 e 130 dias de cultivo.

Com relação à aplicação das águas de irrigação observou-se que o fator de transferência de modo geral, não variou (Figura 10). Este resultado reforça a afirmação que a planta mesmo com aplicação de águas de elevada CE consegue retirar sódio do solo.

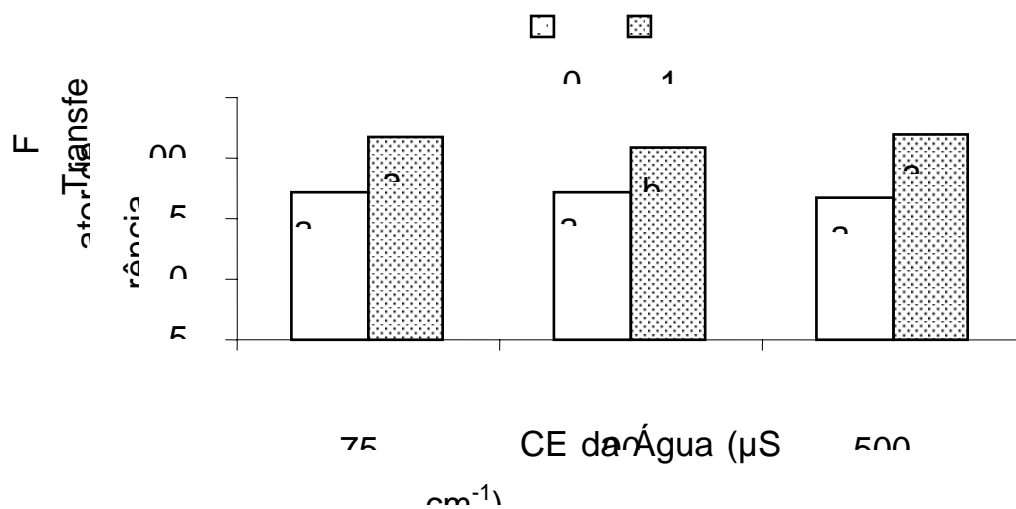


Figura 10. Fator de Transferência da *Atriplex nummularia* cultivada com água de irrigação de diferentes classes, com e sem adição de gesso. Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas para gesso e minúsculas para classe de água, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade

Os solos do semi-árido nordestino possuem geralmente alta fertilidade natural, porém as condições edafoclimáticas inerentes a essa região, bem como o uso indiscriminado de águas de irrigação, podem torná-los improdutivos, requerendo medidas que possam ser empregadas de forma a manter sua sustentabilidade.

Baseado nos resultados encontrados nessa pesquisa pode-se dizer que a *Atriplex nummularia* surge como uma alternativa acessível ao pequeno produtor. Para uso e recuperação de solos afetados por sais.

A utilização de gesso como insumo da fitoextração demonstrou ótimos resultados, sendo recomendado seu emprego para acelerar o processo de recuperação do solo.

Os resultados mostram que a quantidade de gesso a ser aplicada pode ser reduzida pela metade quando comparada com a quantidade calculada para uso no método convencional, representando economia para o produtor.

Os resultados indicaram que a faixa média de condutividade elétrica da água encontrada na região semi-árida pode ser usada sem prejudicar o desempenho da fitoextração quando usada em conjunto com a adição de gesso.

## **5. Conclusões:**

- A *Atriplex nummularia* comportou-se como planta hiperacumuladora de sódio, possuindo assim potencial de uso na fitoextração deste elemento no solo.

- O uso do gesso de jazida promoveu o aumento da capacidade extrativa de sódio do solo pela *Atriplex nummularia*, podendo ser usado como potencializador da fitoextração.
- A irrigação da *Atriplex nummularia* para uso de fitorremediação, pode ser feita com águas salinas na faixa de 175-1500  $\mu\text{S cm}^{-1}$ .
- O tempo mínimo para que ocorra efeito significativo da taxa de transferência de sódio do solo para a planta nas condições estudadas foi de 100 dias.

## 6. Referências Bibliográficas

ABU-ZANAT, M. W., RUYLE, G. B.; ABDEL-HAMID, N. F. Increasing range production from fodder shrubs in low rainfall areas. *Journal of Arid Environments*, v. 59, p. 205-216, 2004

ACCIOLY, M.A.A.; SIQUEIRA, J.O. Contaminação química e biorremediação do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVARES V., SCHAEFER, C.E. (Ed) *Tópicos em Ciência do Solo*. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v.1, p.299-350.

AGANGA A. A.; MTHETHO, J. K.; TSHWENYANE. ***Atriplex nummularia*** (Old Man Saltbrush): A Potential Forage Crop for Arid Regions of Botswana. *Paquistani Journal of Nutrition*, v.2, 2003. p 72 – 75.

AUDRY, P.; SUASSUNA, J. **A salinidade das águas disponíveis para a pequena agricultura no Sertão Nordestino**: Caracterização, variação sazonal, limitação de uso. Ed. CNPq. Recife, PE. 128 p. 1995.

BAÑUELOS, G.S.) Factors influencing field phytoremediation of selenium-laden soils. In: TERRY, N. AND BAÑUELOS, G. (Ed), **Phytoremediation of contaminated soil and water**, Boca Raton: Lewis Publishers, 2000, pp 41-59.

BARROS, M.F.C. Recuperação de solos salino-sódicos pelo uso do gesso de jazida e calcário. Viçosa, MG.. Universidade Federal de Viçosa, 2001. 112 p. (tese de doutorado em solos e nutrição de plantas)

BEN SALEM H.; NEFZAOU, A.; BEN SALEM, L. 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**, 2003.

BEZERRA NETO, E.; BARRETO, L.P. **Métodos de análises químicas em plantas**. Recife: Imprensa Universitária – UFRPE, 2004. 148 p.

CAMARGO, M.N.; CLANT, E.; CAUFFMAN, J.H. Classificação de solos usada em levantamentos pedológicos no Brasil. *Separata do B. Inf., Soc. Bras. Ci. Solo*, 12:11-33, 1987.

CORRÊA, M. M.; RIBEIRO, M. R. Levantamento detalhado de solos da fazenda Nossa Senhora do Rosário, UFRPE/UFPE/CNPq/BNB 2001, Relatório de Projeto.

CRUZ, W.B.; MELO, F.A.F. **Zoneamento químico e salinização das águas subterrânea do Nordeste do Brasil**. In: Boletim de Recursos Naturais – SUDENE. 7 (1/4): 7-40. JAM-DEZ.1974.

DAVID, R.; DIMITRIOS, P. Diffusion and cation exchange during the reclamation of saline-structured soils. *Geoderma*, v. 107, p. 271-279, 2002.



EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed, Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1997. 212p. (EMBRAPA-CNPS, Documentos, 1).

FREIRE, M.B.G.S. Saturação por sódio e qualidade da água de irrigação na degradação de propriedades físicas de solos no Estado de Pernambuco, Visosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2001. 66 p. (tese de doutorado em solos e nutrição de plantas).

GHEYI, H.R. Problemas de salinidade na agricultura irrigada. In: OLIVEIRA, T.; ASSIS, R.N., ROMERO, R.E., SILVA, J.R.C. (Eds.), Agricultura, sustentabilidade e o semi-árido. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Fortaleza (UFC), p. 329-345. 2000

GLENN, E.; TANNER, R; MIYAMOTO, S.; FITZSIMMONS, K.; BOYER, J. Water use, productivity and forage quality of the halophyte *Atriplex nummularia* grown on saline waste water in a desert environment. *Journal of Arid Environment*, v. 38, p.45-62, 1998.

HOUËROU, H.N. The role of salt brushes (*Atriplex* spp) in the development and rehabilitation of arid and semi-arid zones.in the Mediterranean Basin. International conference on the Agricultural Management in salt-affected areas. Agadir, Morocco. 1994.

HORNEY, R. D.; TAYLOR, B.; MUNK, D. S.; ROBERTS, B. A., LESCH, S. M.; PLANT, R. E. Development of practical site-specific management methods for reclaiming salt-affected soil. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2005.

ILYAS, M.; QURESHI, R.H.; QADIR, M.A. Chemical changes in a saline-sodic soil after gypsum application and cropping. *Soil Technology*, v.10, p.247-260, 1997.

IPA – Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária. ***Atriplex nummularia***. [http: // www.ipa.br/resp11.htm](http://www.ipa.br/resp11.htm), 28 Dez. 2000.

KEIFFER, C.H.; UNGAR, I. A. Germination and establishment of halophytes on brine-affected soils. *Journal of Applied Ecology*, v. 39, p.402-415, 2002.

KELLEY, W.P. Alkaline soils: their formation, properties and reclamation. New York, Reinhold, 1951. 176p.

LARCHER, W. *Ecofisiologia vegetal*. São Paulo: Ed. RIMA,. 2000, 529 p. il.

LIMA, A.L. Efeitos de sais no solo e na planta. In: GHEYI, H.R.; QUEIROZ, J.E.; MEDEIROS, J.F. SIMPÓSIO “MANEJO E CONTROLE DA SALINIDADE NA AGRICULTURA IRRIGADA”, Campina Grande: UFPB, 1997. p. 113-136.

MAIA, S. M.; SILVA, V. A.; LOGES, V.; SILVA, V. M. B.; MAIA, L. M. C.; CASTRO, A. C. R.. Potencial de uso de espécies de *Atriplex* no paisagismo. In: XIV CONGRESSO BRASILEIRO DE FLORICULTURA E PLANTAS ORNAMENTAIS, 2003, Lavras - MG. Anais do XIV Congresso Brasileiro de Floricultura e Plantas Ornamentais. 2003. p. 15-15.

MELO, J.G. de ; SANTOS, J.P. dos. Comportamento Hidroquímico das águas do açude Campo Grande e dos Aluviões de Rio Potengi (RN). **Revista àguas subterrâneas**, n.13, 1990, p. 111-124.

MIYAMOTO, S.; GLENN, E.P.; OLSEN, M.W. Growth, water use and salt uptake of four halophytes irrigated with highly saline water. *Journal of Arid Environments*, v. 32, p.141-159, 1996.

MONTENEGRO, A.A.A.; MONTENEGRO, S.M.G. Aproveitamento Sustentável de Aquíferos Aluviais no Semi – Árido. IN: CABRAL, J.S.P.; FERREIRA, J.P.C.L.; MONTENEGRO,S.M.G.L.; COSTA,W.D. **Água Subterrânea: Aquíferos Costeiros e Aluviões, Vulnerabilidade e Aproveitamento**. Tópicos especiais em Recursos Hídricos v. 4. Recife: ed. Universitária da UFPE, 2004. 447 p. il., fig. Fotos, gráf. Mapas.

MONTENEGRO, A.A.A.; MONTENEGRO, S.M.G.; MONTEIRO, A.L.; MACKAY, R. Recarga de Origem Pluviométrica em Aluviões – Estudo de Caso no Semi-árido Nordeste. In: III SIMPOSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO E MANEJO DE ÁGUA DE CHUVA, 2001, Campina Grande – PB. Anais Petrolina: ABCMAC, 2001. V. CD-rom.

MUNNS, R. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell Environ.* V. 25, p. 239-250. 2002

NAIDU, B.P, Production of hetaine from Australian *Melaleuca* spp. For use in agriculture to reduce plant stress. *Aus. J. Exp Àgri.* v.43. p.1163-1170. 2003.

OLIVEIRA , I. P. de. **Dinâmica Hidrossalina em solo aluvial salinizado sob cultivo de Halófitas.** 2001. 104 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade federal de Pernambuco, Recife – PE, 2001.

PORTO , E.R.; ARAÚJO, G. G. L. **erva sal**, Instruções técnicas da EMBRAPA semi – árido, n. 22, Petrolina – PE, 25 p. 1999.

PORTO, E.R.;AMORIM, M.C.C.; SILVA JUNIOR, L.G.A. Uso de rejeito de 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, Campina Grande –PB.

QADIR, M.; GHAFOR, A.; MURTAZA, G. Use of saline-sodic waters through phytoremediation of calcareous saline-sodic soils. *Agricultural Water Management*, v. 50, p.197-210, 2001.

QADIR, M.; QURESSHI, R.H.; AHMAD, N. Horizontal flushing: a promising ameliorative technology for hard saline-sodic and sodic soils. *Soil & Tillage Research*, v.45, p.119-131, 1998.

QADIR, M.; QURESHI, R.H. AHMAD, N. Reclamation of a saline-sodic soil by gypsum and *Leptochloa fusca*. *Geoderma*, v. 72, p.207-217, 1996.

RIBEIRO, M.R.; FREIRE, F.J.; MONTENEGRO, A.A.A. Solos halomórficos no Brasil: ocorrência, gênese, classificação, uso e manejo sustentável. In: CURTI, N.; MARQUES, J.J.; GUILHERME, L.R.G.; LIMA, J.M.; LOPES, A.S.; ALVAREZ V., V.H. (eds) *Tópicos em Ciência do Solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.3, 2003. p.165-208,

RICHARDS, L.A. **Diagnosis and Improvement of Saline and alkali Soils**. Washington DC< US Department of Agriculture, 1954. 160p. (USDA Agricultural Handbook, 60).

SWISS AGENCY FOR THE ENVIRONMENT, FOREST AND LANDSCAPE - SAEFL. Derivation of trigger and clean-up values for inorganic pollutants in the soils. Berne, 1998. 103p. (Environmental Documentation, 83)

SANTOS, R.V.; HERNANDEZ, F.F.F. Recuperação dos solos afetados por sais. In: GHEYI, H.R.; QUEIROZ, J.E.; MEDEIROS, J.F. SIMPÓSIO “MANEJO E CONTROLE DA SALINIDADE NA AGRICULTURA IRRIGADA”, Campina Grande: UFPB, 1997. p. 319-361.

SILVA, V. A; MAIA, S. M; LOGES, V.; MAIA, L. M. C; SILVA, V. M B; COSTA, A. S.; CRUZ, S. R. C. L.. Potencial de uso de espécies de *Atriplex* na floricultura. In: XIV CONGRESSO BRASILEIRO DE FLORICULTURA E PLANTAS ORNAMENTAIS, 2003, Lavras-MG. Anais do XIV Congresso Brasileiro de Floricultura e Plantas Ornamentais. 2003. p. 48-48.

SLAVICH, P.G.; SMITH, K.S.; TYERMAN, S.D.; WALKER, G.R. Water use of grazed salt bush plantations with saline watertable. *Agricultural water management* . v. 39, p. 169-185. 1999

SQUIRES, V.R.; AYOUB, A. **Alophytes as a resource for livestock and and for approach**. New York: McGraw-Hill. 481 p. 1994.

THOMAS, G.W. Exchangeable cations. In: PAGE, A.L (ed.). Methods of soil analysis. Part 2-Chemical methods. Madison, American Society of Agronomy, 1982.

WATANABE, M.E. Phytoremediation on the brink of commercialization. Environ. Sci. Technol., 31:182A-186A, 1997.

ZHU, J.K. Plant Salt Tolerance. Trends in Plant Science, v. 6, n.2, p. 66-71, 2001.

ZHU, J.K. Regulation of ion homeostasis under salt stress. Curr. Opin Plant Biol. 6. 441-445. 2003.