



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO SOLO**  
**CURSO DE AGRONOMIA**

**WILLIAM AXL SILVA VASCONCELOS**

**DESENVOLVIMENTO DE *Atriplex nummularia* SUBMETIDA À DOSES DE  
HIDROGEL APLICADO EM SOLO SÓDICO**

**FORTALEZA-CE**

**2019**

**WILLIAM AXL SILVA VASCONCELOS**

**DESENVOLVIMENTO DE *Atriplex nummularia* SUBMETIDA À DOSES DE  
HIDROGEL APLICADO EM SOLO SÓDICO**

Monografia apresentada ao Curso de Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como parte das exigências da disciplina de trabalho de conclusão de curso para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dra. Mirian Cristina Gomes Costa.

**FORTALEZA**

**2019**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- V451d Vasconcelos, William Axl Silva.  
Desenvolvimento de Atriplex nummularia submetida à doses de hidrogel aplicado em solo sódico /  
William Axl Silva Vasconcelos. – 2019.  
65 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências  
Agrárias, Curso de Agronomia, Fortaleza, 2019.

Orientação: Profa. Dra. Mirian Cristina Gomes Costa.  
Coorientação: Prof. Dr. Alcione Guimarães Freire .

1. Solos afetados por sais. 2. Sodicidade. 3. Polímeros superabsorventes. I. Título.

CDD 630

---

**WILLIAM AXL SILVA VASCONCELOS**

**DESENVOLVIMENTO DE *Atriplex nummularia* SUBMETIDA À DOSES DE  
HIDROGEL APLICADO EM SOLO SÓDICO**

Monografia apresentada ao Curso de Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como parte das exigências da disciplina de trabalho de conclusão de curso para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Aprovada em: 18/11/2019.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof<sup>ª</sup>. Dra. Mirian Cristina Gomes Costa (Orientadora)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Dr. Alcione Guimarães Freire (Coorientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof<sup>ª</sup>. Dra. Rosilene Oliveira Mesquita  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus, por sempre caminhar ao meu lado.

Aos meus pais, Meire Helen Silva do  
Nascimento e Francisco Vladimir Oliveira  
Vasconcelos

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por sempre me fazer acreditar que era possível eu alcançar todos os meus sonhos.

Aos meus pais, Meire Helen Silva do Nascimento e Francisco Vladimir Oliveira Vasconcelos que sempre buscaram dar o melhor para mim, além de muito amor.

Ao meu irmão mais novo Christoph Heitor Silva Vasconcelos, o qual faz parte de quem eu sou.

A Maria de Fátima por estar ao meu lado nos momentos bons e ruins.

Ao PET – Agronomia UFC que foi base para a minha formação como estudante e profissional.

Ao laboratório de Manejo do Solo por disponibilizar toda a infraestrutura necessária para a realização do trabalho.

A professora Mirian Cristina que me deu todo apoio e auxílio em todos os momentos.

Aos meus familiares, que sempre acreditaram no meu potencial.

Aos meus amigos, em especial Carlos Yago, Nicholas Ribeiro e Antônia Valeska, que ao longo de toda graduação foram fonte de lucidez e apoio para a minha trajetória acadêmica.

Ao grupo Agromáfia no qual tive a oportunidade de viver vários momentos felizes mesmo em situações difíceis da graduação, além dos vínculos criados com os membros.

Ao CNPq e CAPES, por serem as fontes financiadoras do trabalho e sem sua colaboração não haveria a possibilidade de execução do trabalho.



## **RESUMO**

Dentre as principais formas de recuperação de solos afetados por sais, a utilização de plantas fitoextratoras tais como a *Atriplex nummularia* se torna uma alternativa. Supõe-se que o hidrogel possa maximizar o potencial da fitoextração de sais pela *A. nummularia*, tendo em vista que o produto pode reter grandes quantidades de água no solo. Contudo, ainda são necessários estudos para avaliar a influência do hidrogel no desempenho da espécie. Neste trabalho o objetivo foi submeter a *A. nummularia* a um solo sódico com diferentes doses de hidrogel, buscando comprovar a hipótese de que o hidrogel aumenta a capacidade de fitoextração da espécie. O experimento foi realizado em casa de vegetação na Universidade Federal do Ceará, com duração de 98 dias. Foram feitas medidas da altura das plantas e diâmetro do caule, além de avaliações fisiológicas da planta com auxílio do IRGA (analisador de gás por infravermelho). Os resultados da análise do solo e dos constituintes de planta ao final do experimento revelaram que o hidrogel contribuiu para o aumento da capacidade fitoextratora da planta, e conseqüente redução da condutividade elétrica do solo. Outro fato importante é que o hidrogel foi fonte de incremento de potássio ao solo. As doses de hidrogel possibilitaram à planta adaptação ao estresse salino, contudo não houve diferença significativa para os parâmetros biométricos, com exceção da biomassa foliar.

**Palavras-chave:** Solos afetados por sais; Sodicidade; Polímeros superabsorventes.

## **ABSTRACT**

Among the main forms of recovery of salt affected soils, the use of phytoextractor plants such as *Atriplex nummularia* becomes an alternative. It is assumed that the hydrogel can maximize the potential for salt phytoextraction by *A. nummularia*, since the product can retain large amounts of water in the soil. However, studies are still needed to evaluate the influence of hydrogel on the performance of the species. In this work the objective was to submit *A. nummularia* to a sodium soil with different hydrogel doses, trying to prove the hypothesis that the hydrogel increases the phytoextraction capacity of the species. The experiment was carried out in a greenhouse at the Federal University of Ceará, lasting 98 days. Plant height and stem diameter were measured, as well as physiological evaluations of the plant with the aid of IRGA (infrared gas analyzer). The results of soil and plant constituent analysis at the end of the experiment revealed that the hydrogel contributed to the increase of plant phytoextractor capacity and consequent reduction of soil electrical conductivity. Another important fact is that the hydrogel was a source of potassium increment in the soil. Hydrogel doses allowed the plant to adapt to salt stress, however there was no significant difference for biometric parameters, except for leaf biomass.

**Keywords:** Soils affected by salts; Sodicity; Superabsorbent Polymers

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Trincheira aberta para a descrição morfológica do perfil de solo (A) e detalhe do perfil de solo com características de solo afetado por sais (B).....	22
Figura 2 –	Amostras de solo com torrões (A) e amostras de solos destorroadas para análise química e física (B).....	23
Figura 3 –	Recolhimento do solo para a montagem do experimento.....	26
Figura 4 –	Transplântio de <i>A. nummularia</i> .....	27
Figura 5 –	Vaso para o controle para a irrigação.....	28
Figura 6 –	Segregação dos constituintes do vegetal .....	30
Figura 7 –	Moinho tipo willye utilizado para a moagem do material vegetal .....	30
Figura 8 –	Primeira avaliação com o IRGA aos 34 dias após o transplântio da <i>A. nummularia</i> .....	32
Figura 9 –	Armazenamento dos discos foliares com meio DMSO em tubos .....	33
Figura 10 –	Pesagem dos discos foliares para determinação da matéria seca.....	33
Figura 11 –	Curva da condutividade elétrica (CE) do solo sódico em resposta às doses de hidrogel e do cultivo da espécie <i>A. nummularia</i> .....	36
Figura 12 -	Teores de K <sup>+</sup> no solo após as doses de hidrogel aplicadas em solo sódico cultivado com <i>A. nummularia</i> .....	37
Figura 13 –	Acúmulo de Na nos constituintes da planta de acordo com as doses de hidrogel.....	39
Figura 14 –	Sódio Acumulado na folha de <i>A. nummularia</i> de acordo com as doses de hidrogel.....	40
Figura 15 -	Acúmulo de K nos constituintes da planta de acordo com as doses de hidrogel.....	41

Figura 16 -	Acúmulo de K na folha de <i>A. nummularia</i> de acordo com as doses de hidrogel.....	41
Figura 17 -	Acúmulo de Ca nos constituintes da planta de acordo com as doses de hidrogel.....	42
Figura 18 -	Acúmulo de Ca na folha de <i>A. nummularia</i> de acordo com as diferentes doses de hidrogel.....	43
Figura 19 -	Acúmulo de Mg nos constituintes da planta de acordo com as diferentes doses de hidrogel.....	43
Figura 20 -	Acúmulo de biomassa na folha de <i>A. nummularia</i> de acordo com as diferentes doses de hidrogel.....	45
Figura 21 -	Fotossíntese líquida em <i>A. nummularia</i> de acordo com as doses de hidrogel ao longo do tempo.....	48
Figura 22 -	Condutância estomática de <i>A. nummularia</i> de acordo com as doses de hidrogel ao longo do tempo.....	49
Figura 23 -	Transpiração de <i>A. nummularia</i> de acordo com as diferentes doses de hidrogel ao longo do tempo.....	50
Figura 24 -	Eficiência instantânea de carboxilação (EIC) de <i>A. nummularia</i> de acordo com as doses de hidrogel ao longo do tempo.....	51
Figura 25 -	Eficiência de uso da água (EUA) de <i>A. nummularia</i> de acordo com as doses de hidrogel ao longo do tempo.....	52
Figura 26 -	Clorofila “a” de <i>A. nummularia</i> de acordo com as doses de hidrogel.....	55
Figura 27 -	Clorofila b de <i>A. nummularia</i> de acordo com as diferentes doses de hidrogel.....	56
Figura 28 -	Carotenoides de <i>A. nummularia</i> de acordo com as doses de hidrogel.....	57

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Atributos químicos do solo advindo da fazenda experimental Vale do Curu (Pentecoste – CE).....	25
Tabela 2 – Atributos físicos do solo advindo da fazenda experimental Vale do Curu (Pentecoste – CE).....	25
Tabela 3 – Resultado da análise de água para fins de irrigação.....	29
Resumo da ANOVA para os atributos químicos do solo ao final da condução do	
Tabela 4 – experimento.....	35
Resumo da ANOVA para teores de sódio (Na), potássio (K), cálcio (Ca) e	
Tabela 5 – magnésio (Mg) acumulados na biomassa da <i>A. nummularia</i> .....	38
Tabela 6 – Resumo da ANOVA para Altura e diâmetro do caule de <i>A. nummularia</i> .....	44
Tabela 7 - Resumo da ANOVA para biomassa de <i>A. nummularia</i> .....	45
Tabela 8 – Resumo da ANOVA para fotossíntese, Condutância estomática, Transpiração, EIC e EUA de <i>A. nummularia</i> em resposta às doses de hidrogel e em diferentes datas de avaliação.....	46
Tabela 9 - Resumo da ANOVA para clorofila a, clorofila b e carotenoides de <i>A. nummularia</i> em resposta às doses de hidrogel e em diferentes datas de avaliação.....	53

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
2	REVISÃO DE LITERATURA .....	16
2.1	Importância de solos salino-sódicos.....	16
2.2	Efeitos do estresse salino na fisiologia das plantas.....	17
2.3	Estratégias de recuperação de solos afetados por sais.....	17
2.4	Fitorremediação de solos afetados por sais.....	18
2.5	<i>Atriplex nummularia</i> .....	19
2.6	Uso de géis de poliacrilamida na agricultura.....	20
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	22
3.1	Local de coleta e características do solo usado no experimento.....	22
3.1.1	Armazenamento e preparo do solo para as análises para fins de classificação.....	22
3.1.2	Análises químicas do solo para fins de classificação.....	23
3.1.3	Análises físicas do solo.....	23
3.1.3.1	<i>Granulometria</i> .....	23
3.1.3.2	Capacidade de campo.....	24
3.1.3.3	Ponto de murcha permanente.....	24
3.1.3.4	Classificação do solo com base nas análises químicas e físicas.....	24
3.2	Local da área experimental e instalação do experimento.....	26
3.3	Aplicação do polímero.....	26
3.4	Obtenção das mudas e transplântio da <i>Atriplex nummularia</i> .....	27
3.5	Delineamento experimental.....	27
3.6	Condução do experimento.....	27
3.7	Análise de água e critério utilizado para irrigação do experimento.....	28
3.8	Análise de solo.....	29
3.9	Avaliações dos constituintes da planta.....	30
3.10	Avaliações biométrica.....	31
3.11	Análise de trocas gasosas.....	31
3.12	Determinação de pigmentos fotossintéticos.....	32

3.13	Análise estatística.....	33
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO. ....	35
4.1	Atributos do solo.....	35
4.2	Atributos da planta.....	37
4.3	Parâmetros biométricos.....	44
4.4	Trocas gasosas.....	46
4.5	Avaliações dos pigmentos fotossintéticos.....	53
5	CONCLUSÕES.....	57
6	REFERÊNCIAS.....	58

## 1. INTRODUÇÃO

A presença de sais é um dos fatores limitantes ao uso agrícola dos solos. As estratégias para recuperação de solos afetados por sais envolvem a lixiviação e/ou o uso de condicionadores de solo como, por exemplo, o gesso agrícola. A combinação de estratégias mais efetiva depende, dentre outros fatores, se o solo é salino, salino-sódico ou sódico, de modo que há complexidade técnica e financeira para a recuperação de solos afetados por sais.

A utilização de plantas tolerantes à presença de sais, tais como a *Atriplex nummularia*, surge como alternativa desde que essas plantas atuem como fitoextratoras, promovendo a remoção do excesso de sais do solo por meio de sua biomassa que pode ser aproveitada para outras finalidades, como para a alimentação animal. Contudo, plantas fitoextratoras produzirão mais biomassa e serão mais efetivas na remoção de sais do solo se encontrarem condições adequadas para seu desenvolvimento, como é o caso de disponibilidade hídrica que garanta o bom crescimento vegetal.

Como é comum a ocorrência de solos afetados por sais em regiões semiáridas, nem sempre a *Atriplex nummularia* encontrará disponibilidade hídrica que garanta seu máximo desenvolvimento e, conseqüentemente, a máxima remoção de sais. Desse modo, alternativas que favoreçam a disponibilidade de água à espécie fitoextratora se tornam interessantes para o êxito da recuperação de solos afetados por sais. Nesse contexto, os polímeros superabsorventes, também denominados hidrogéis, podem ser benéficos. Esses polímeros conseguem reter grandes quantidades de água, com potencial de disponibilizar essa água gradualmente à espécie vegetal a ser utilizada na estratégia de fitorremediação. Se o polímero atua disponibilizando água, o desenvolvimento morfofisiológico das plantas será favorecido e haverá maior acúmulo de sais na biomassa vegetal. Porém, ainda há dúvidas a respeito da efetividade dos polímeros no que diz respeito à retenção e disponibilização de água na presença de sais. Adicionalmente, há indícios de que o próprio polímero, principalmente aquele à base de acrilato de sódio e potássio, possa liberar elementos químicos de sua constituição aumentando atributos indicadores de salinidade/sodicidade nos solos. O presente estudo foi elaborado para testar a hipótese de que há o aumento da oferta hídrica, por meio da utilização do hidrogel, proporcionando que a *A. nummularia* tenha a maior capacidade de fitoextração, favorecendo a planta acumular mais sódio e outros sais em sua biomassa e, conseqüentemente, reduza atributos indicativos de solos afetados por sais. Os objetivos do estudo foram avaliar o acúmulo de biomassa e as respostas fisiológicas das plantas se desenvolvendo em solo sódico mediante

doses de hidrogel. Também foi objetivo determinar o acúmulo de sais nas plantas e mensurar os atributos de salinidade/sodicidade do solo após aplicação de doses de hidrogel.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Importância de solos salino-sódicos

Na agricultura, dentre as principais problemáticas atuais estão os solos afetados por sais. A salinidade e a sodicidade recebem destaque por representarem degradação do ambiente (SOUZA *et al.*, 2008; ASHRAF, 2009; ASHRAF; AKRAM, 2009). Devido as proporções que a salinidade vem tomando ao longo do tempo, suas consequências são debatidas em diversos países (RIBEIRO *et al.*, 2009).

O Brasil está dentre os países em que a salinidade dos solos está em pauta, pois na região semiárida a evapotranspiração é maior que a precipitação, levando ao acúmulo de sais no perfil dos solos (FREIRE, 2007). Outro fator que acaba sendo preponderante para a salinidade é a natureza dos solos da região semiárida brasileira, além dos aspectos físicos e químicos desses solos e dos sistemas de drenagem ineficientes em áreas cultivadas (SILVA *et al.*, 2011). A água acaba contribuindo para a salinidade, pois atua como agente transportador de íons para a solução do solo e, conseqüentemente, contribui com o acúmulo de cargas no solo, de modo que com a evaporação da água ou seu consumo pelos vegetais inicia-se o processo de salinização do solo (WANDERLEY, 2009).

A disponibilidade hídrica no solo é comprometida pelo excesso de sais, pois há implicações no potencial osmótico da solução do solo. Além disso, se o sódio é o sal presente na salinidade, irá influenciar a estrutura física do solo, visto que este é um agente dispersante da argila, além do fato de poder acarretar problemas de toxidez às plantas, inibindo o desenvolvimento das raízes ou até mesmo a germinação (AMORIM *et al.*, 2002; SMITH *et al.*, 2009).

Alguns fatores alteram os teores dos sais no solo, sendo estes principalmente os métodos de manejo adotados na área, as taxas de evapotranspiração, concentração dos sais da água, pluviosidade da região, dentre outros fatores (D'ALMEIDA *et al.*, 2005). A abundância de sais de sódio causa prejuízos à atividade agrícola, pois altera as propriedades químicas e físicas do solo e causa redução do crescimento das plantas cultivadas (CAVALCANTE *et al.*, 2010). Contudo, o grau ou a concentração de sais que determinam essa redução variam com a espécie vegetal, podendo esse fato estar relacionado com a tolerância de cada espécie à salinidade (FERREIRA *et al.*, 2001).

## 2.2 Efeitos do estresse salino na fisiologia das plantas

Devido aos estômatos é que as plantas conseguem, de forma constante, trocar gases com o meio, sendo estas estruturas localizadas na superfície abaxial ou adaxial. Os estômatos têm a capacidade de abrir ou fechar os poros, de modo a possibilitar as trocas gasosas (LARCHER, 2006; TAIZ; ZEIGER, 2013).

Com a redução da transpiração, o fechamento estomático, pelo ácido abscísico e outros fitohormônios, é concretizado, de modo a ser um fator restritivo à circulação de CO<sub>2</sub> para o cloroplasto. Desse modo, em curto prazo, com o fechamento dos estômatos a fotossíntese reduz drasticamente (GREENWAY; MUNNS, 1980).

A salinidade é um fator determinante para o crescimento das plantas, tendo em vista que a sua presença acarreta a inibição do crescimento do vegetal. O excesso de sais irá influenciar respostas nas plantas tanto a longo prazo, causando redução da expansão celular, quanto em curto prazo com o estresse iônico na planta, promovendo redução na área foliar fotossintética disponível para a manutenção do crescimento vegetal (MUNNS, 2002).

A inibição do crescimento das plantas sob salinidade é resultado de efeitos osmóticos e iônicos (MUNNS; TESTER, 2008). Entretanto, os efeitos dependem, ainda, de outros fatores, como espécie, cultivar, estágio fenológico, tipos de sais, intensidade e duração do estresse salino, manejo cultural e da irrigação e condições edafoclimáticas (TESTER; DAVÉNPORT, 2003).

Segundo Silva *et al.* (2008), a redução do crescimento da planta também está ligada ao fato da baixa assimilação fotossintética de CO<sub>2</sub>, devido às limitações estomáticas e não estomáticas. Entretanto, de acordo com Parida e Das (2005), independentemente do tipo de limitação estomática, a salinidade altera a condutância estomática, a transpiração, a disponibilidade de CO<sub>2</sub> para a planta e os pigmentos fotossintéticos.

## 2.3 Estratégias de recuperação de solos afetados por sais

Segundo Qadir *et al.*, (2007), é fundamental que se busquem práticas de manejo visando a recuperação das áreas submetidas às condições de solos salino-sódicos, pois é relevante que estes locais sejam recuperados para poder ser praticada a agricultura da melhor forma possível.

Entre as técnicas utilizadas para a correção de solos salino-sódico, a utilização de corretivos químicos vem se destacando, como por exemplo a utilização de gesso agrícola, além da lavagem do solo por meio de lâminas elevadas de irrigação, tendo em vista que estes métodos

corroboram diretamente com a correção dos problemas no solo (QADIR *et al.*, 1996; MONTENEGRO; MONTENEGRO, 2004).

Entretanto, embora haja grande difusão deste conjunto de técnicas para a correção de solos sódicos e salino-sódicos, em solos com altos teores de sais solúveis, a permeabilidade do solo à água é reduzida devido a dispersão da argila, tornando a técnica da lavagem dos sais e a aplicação de gesso agrícola ineficazes devido à baixa capacidade da água em infiltrar e percolar no solo para promover a lavagem dos sais (QADIR *et al.*, 1998). Em casos nos quais a camada de solo seja permeável poderá haver a lixiviação dos nutrientes junto com a lâmina de água. Além disso, a recuperação desses solos com gesso e irrigação tem custo elevado, dificultando sua aplicação por produtores com baixo nível tecnológico.

Ravindran *et al.* (2007) mencionam que uma das maneiras de recuperação de solos salino-sódicos é por meio da utilização de vegetação halófitas. Qadir *et al.* (2001) concluíram que a fitoextração por meio da vegetação halófitas demonstra efeitos de recuperação comparáveis aos da aplicação de gesso, esterco de curral ou água de irrigação tratada com ácido sulfúrico. Os autores observaram ainda que a fitorremediação obteve custo de implantação e condução inferior ao custo investido para tratamentos com corretivos químicos. Assim, a fitorremediação pode ser considerada uma técnica adequada para a recuperação de áreas degradadas por sais.

## **2.4 Fitorremediação de solos afetados por sais**

A fitorremediação pode ser definida como uma estratégia de biorremediação na qual são empregadas plantas que detenham o potencial de extrair, imobilizar ou tornar o contaminante inofensivo ao ecossistema (ACCIOLY; SIQUEIRA, 2000)

Os mecanismos empregados na biorremediação são: 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).

As plantas halófitas tem como natureza a capacidade de fitoextração de sais do solo, de modo a promover o aumento de sua biomassa a partir do acúmulo destes sais em seus tecidos. Devido a isso, existem práticas alternativas que recuperam solos afetados por sais, sendo uma delas a fitorremediação. Entretanto, para que haja sucesso dessa técnica em solos salino-sódicos é necessário que as plantas submetidas às condições de solos halomórficos possam acumular

sais em sua biomassa mesmo quando submetidas a condições adversas. É necessário que as plantas acumulem os sais em seu dossel, de modo a extrair esses sais do solo e retirá-los de vez após a colheita da planta (ZHU, 2001).

A prática da retirada de sais do solo por meio de plantas é uma alternativa para a recuperação de áreas degradadas por solos salino e sódico (LEAL *et al.*, 2008). Segundo Qadir *et al.*, (2007), há relatos de trabalhos nos quais houve a recuperação de solos salinos e sódicos com a técnica de fitorremediação, sendo outro argumento para a sua utilização o fato de seu custo ser menor em relação as outras técnicas convencionais, como por exemplo o revolvimento do solo ou tratamento químico do solo (COUTINHO; BARBOSA, 2007), constituindo-se uma alternativa viável para agricultores descapitalizados.

Dentre as principais espécies utilizadas para a fitorremediação de solos afetados por sais está a *Atriplex nummularia*, que é uma planta halófito, com vasta distribuição no mundo por apresentar alta capacidade de adaptação em diversos habitats, além de apresentar características que permitem a tolerância às condições de solos salino-sódicos. Seu dossel é capaz de extrair elevadas quantidades de sais dos solos (LEAL *et al.*, 2008; PORTO *et al.*, 2006; SOUZA, 2010).

## **2.5 *Atriplex nummularia***

O gênero *Atriplex* pertence à família *Chenopodiaceae* de metabolismo C4, e conta com mais de 400 espécies distribuídas em diversas regiões áridas e semiáridas do mundo, sendo a *Atriplex nummularia* uma das espécies pertencentes ao gênero (OBRAS, 1938), recebendo também a denominação de erva-sal. Sua classificação taxonômica segue a seguinte classificação: Reino: Plantae - Subreino: Tracheobionta - Superdivisão: Spermatophyta - Divisão: Magnoliophyta - Classe: Magnoliopsida - Subclasse: Caryophyllidae - Ordem: Caryophyllales - Família: Chenopodiaceae - Gênero: *Atriplex* spp. - Espécie: *Atriplex nummularia* (LINDLEY; MITCHELL, 1848).

Segundo Freire *et al.* (2010) a *Atriplex* é uma planta com hábito arbustivo. Seu crescimento é ereto e com ramificações a partir da sua base (ALVES *et al.*, 2007), sua inflorescência está presente nas partes terminais dos ramos, sendo as folhas ovais e arredondadas (AGANGA *et al.*, 2003) com tricomas vesiculares esbranquiçados acumuladores de sal (PORTO *et al.*, 2006). A *Atriplex nummularia* é uma espécie dioica ou dioica parcial, propagando-se, também, vegetativamente por estaquia (KELLY, 1982).

Dentre as alternativas de utilização da *A. nummularia*, o seu potencial forrageiro merece destaque (SOUTO *et al.*, 2005), pois possibilita uma fonte de alimento para os animais (BEN SALEM *et al.*, 2004). A erva – sal pode ser incorporada na alimentação animal por meio do feno; entretanto, há necessidade da mistura com outra fonte de volumoso para atender à exigência nutricional (PORTO; ARAUJO, 2000).

Segundo Mattos (2009) a erva – sal adicionada na forma de feno para a alimentação de ovinos da raça Santa Inês, associada com palma forrageira e concentrado, proporcionou ganhos de até 300 g animal<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>. A *A. nummularia* pode ser utilizada como forma de complementação na alimentação de ruminantes, tendo em vista que seu valor nutritivo é cerca de 17% de proteína, além de ter cerca de 70% de digestibilidade (BONILLA *et al.*, 2000).

A rusticidade da *Atriplex* possibilita que a planta possa se adaptar a diferentes tipos de habitats nos quais pode ser inserida, desde zonas semiáridas até áridas, com uma oferta de água ínfima (BARROSO *et al.*, 2006), até áreas em condições ideais para a maioria das plantas cultivadas (BONILLA *et al.*, 2000). Desenvolve-se 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 (AGANGA *et al.*, 2003).

As características fisiológicas da *Atriplex* envolvidas na tolerância à salinidade, permitiram que este gênero fosse conhecido popularmente como erva – sal, tendo em vista a capacidade de fitorremediação em solos afetados por sais, sendo principalmente localizado em regiões de clima árido e semiárido do mundo (QADIR *et al.*, 2007). A erva – sal possui em seu sistema fisiológico a alta capacidade de produção de biomassa vinculada ao hiperacúmulo de sais, de tal modo que a planta contempla o processo de fitorremediação (SOUZA *et al.*, 2011).

De acordo com o exposto, se constata que a *A.nummularia* é uma espécie alternativa para fins de fitorremediação de solos afetados por sais em áreas de clima árido e semiárido. Contudo, se as plantas se desenvolverem em condições que viabilizem maior oferta de água, sua efetividade na fitorremediação pode ser ainda maior.

## **2.6 Uso de géis de poliacrilamida na agricultura**

Uma forma de garantir melhor oferta de água para a *A. nummularia* ser mais efetiva na fitorremediação de solos afetados por sais é o uso de géis superabsorventes como condicionadores de solo. O uso de condicionadores é outra forma de favorecer a recuperação de solos, com destaque para os hidrogéis à base de poliacrilamida (ALMEIDA, 2008). Por meio

da polimerização de monômeros de acrilamida é constituído o PAM que, por sua vez, é o polímero que recebe maior destaque atualmente (BARVENIK, 1994).

Os hidrogéis são definidos como redes poliméricas tridimensionais que podem reter uma quantidade significativa de água dentro de sua própria estrutura e aumentar seu tamanho, sem a dissolução (KAEWPIROM; BOONSANG, 2006 ) O volume de água retido pelo hidrogel está diretamente ligado com a hidrofilicidade das cadeias em sua constituição e a densidade do agente de reticulação utilizado na síntese (KRUŠIĆ *et al.*, 2011).

Na literatura são descritos benefícios da aplicação do hidrogel ao solo. Esses benefícios envolvem a maior oferta de água para as plantas, a redução das perdas de nutrientes, além de maximizar a constituição física do solo por meio da aeração e drenagem do mesmo, promovendo o melhor desenvolvimento das plantas (HENDERSON; HENSLEY, 1986; LAMONT; O'CONNELL, 1987; VLACH, 1991).

Os hidrogéis atuam, principalmente, como reservatório de água na região próxima às raízes, facilitando a disponibilidade hídrica às plantas (MARQUES; BASTOS, 2010). Segundo Azevedo *et al.* (2002), um grande benefício da utilização dos hidrogéis é a alternativa de disponibilidade de água para as plantas em locais nos quais a oferta hídrica é escassa.

A utilização de hidrogel em estratégia de fitorremediação de solos afetados por sais merece atenção, havendo necessidade de pesquisas científicas que comprovem uma estratégia promissora para a recuperação de áreas degradadas com excesso de sais.

Contudo, ainda não se sabe o quanto a presença de sais no solo afeta a eficiência do hidrogel na disponibilidade de água às plantas, ou se existe uma dosagem do polímero que venha a contribuir com o desenvolvimento da planta fitoextratora. Desse modo, são necessárias pesquisas utilizando-se hidrogel em condições de solos afetados por sais buscando verificar sua contribuição na produção de biomassa vegetal da *Atriplex nummularia*.

Com base no exposto, o presente trabalho foi realizado com o objetivo foi submeter a *A. nummularia* a um solo sódico com doses de hidrogel, buscando comprovar a hipótese de que o hidrogel aumenta a capacidade de fitoextração da espécie em solo sódico, buscando identificar a dose que maximize a produção de biomassa da planta e que, conseqüentemente, promova maior extração de sais do solo

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Local de coleta e características do solo usado no experimento

O solo utilizado neste estudo foi proveniente da Fazenda Experimental Vale do Curu (Pentecoste – CE) e foi classificado como Planossolo nátrico (SiBCS, 2019). A classificação do solo foi realizada por meio de análise de perfil exposto em trincheira aberta no campo (Figura 1A e 1B), com coleta de amostras realizada em 10/08/2019.

Para a classificação do solo foram coletadas amostras com estrutura preservada e amostras deformadas. As amostras deformadas foram passadas em peneira com abertura de malha de 2 mm para realização de análises físico-químicas também necessárias à classificação do solo.

Figura 1 – Trincheira aberta para a descrição morfológica do perfil de solo (A) e detalhe do perfil de solo com características de solo afetado por sais (B)



Fonte – Autor, 2018.



Fonte – Autor, 2018

#### 3.1.1 – Armazenamento e preparo do solo para as análises para fins de classificação

Após a coleta, as amostras provenientes dos horizontes do solo foram acondicionadas em sacos plásticos e levadas ao Laboratório de Manejo de Solo da UFC. As amostras foram secas para constituir a terra fina seca ao ar (TFSA) e o material foi submetido ao destorroamento (Figura 2A e 2B). Após o destorroamento, o solo foi submetido às análises químicas e físicas para fins de classificação. As análises químicas foram: CE (Condutividade elétrica), pH,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{H}^+$  e  $\text{Al}^{3+}$ . As análises físicas foram: granulometria, capacidade de campo e ponto de murcha permanente.

Figura 2 – Amostras de solo com torrões (A) e amostras de solos destorroadas para análise química e física (B)



**A**

Fonte – Autor, 2018.



**B**

Fonte – Autor, 2018.

### 3.1.2 Análises químicas do solo para fins de classificação

Para a caracterização química do solo, como também para as comparações dos atributos químicos do solo ao final do experimento, foram realizadas as análises de pH em água, na proporção solo: água de 1:2,5 e os cátions  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ . O  $\text{Ca}^{2+}$  e o  $\text{Mg}^{2+}$  trocáveis foram extraídos por acetato de amônio 1 Molar, já o  $\text{Na}^+$  e o  $\text{K}^+$  foram extraídos por Mehlich 1 (EMBRAPA, 2011). A acidez trocável  $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ , foi extraída com cloreto de potássio 1 Molar. Para a determinação da CE foi preparada a pasta de saturação e obtido o extrato por vácuo (Richards, 1965).

Os teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  foram dosados por espectrofotometria de absorção atômica e  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$  por fotometria de emissão de chama (EMBRAPA, 2011). Os valores de Soma de Bases (SB), Capacidade de Troca de Cátions (CTC) e Percentagem de Sódio Trocável (PST) foram calculados com base nos valores obtidos do complexo de troca.

### 3.1.3 Análises físicas do solo

#### 3.1.3.1 Granulometria

Foi determinada pelo método da pipeta, com dispersão de 20 g de TFSA com hidróxido de sódio  $1 \text{ mol L}^{-1}$  (EMBRAPA, 2017). As areias foram separadas em peneira com abertura da malha de 0,053 mm de diâmetro. O silte e a argila foram separados por sedimentação, conforme a Lei de Stokes.

### **3.1.3.2 Capacidade de campo**

A capacidade de campo foi determinada com base no método de mesa de tensão, que se baseia na aplicação de um potencial de tensão até cessar a drenagem da água retida nos poros com força menor que o potencial aplicado. Foi estabelecida a tensão de 10 kPa para determinação (EMBRAPA, 2017)

Amostras deformadas de solo foram colocadas sobre a mesa de tensão e saturadas. Ajustou-se o nível da coluna de água abaixo da mesa para 100 cm para se obter uma tensão de 0,01 MPa. Essa tensão provoca a drenagem da água retida nos poros do solo, através de sucção provocada pelo vácuo formado na mesa de tensão (EMBRAPA, 2017)

### **3.1.3.3 Ponto de murcha permanente**

As amostras de solos foram dispostas em uma placa de cerâmica e dessaturadas até o equilíbrio com um potencial aplicado por pressurização de 1500 kPa. Para manter a pressurização, as amostras foram mantidas em câmaras herméticas, sobre placas porosas de cerâmica, previamente saturadas com água, providas de um sistema de drenagem, sendo a pressurização fornecida por um sistema com compressores, reguladores de pressão e manômetros (RICHARDS, 1965)

### **3.1.3.4 Classificação do solo com base nas análises químicas e físicas**

Após o término das análises químicas e físicas fez-se a caracterização do solo e sua classificação até o 2º Nível categórico (SiBCS, 2019). Na Tabela 1 são apresentados os resultados das análises químicas para fins de caracterização do solo utilizado no experimento. Os atributos físicos usados na caracterização do solo estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 1 - Atributos químicos do solo advindo da fazenda experimental Vale do Curu (Pentecoste – CE)

Atributos Analisados	Camada 0,00 - 0,50 m
pH	7,8
CE (dS m <sup>-1</sup> )	3,0
Ca <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	6,5
Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	6,2
Na <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	11,4
K <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,14
H <sup>+</sup> + Al <sup>3+</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,0
Al <sup>3+</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,0
S (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	24,1
T (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	24,1
V (%)	100,0%
PST	47,1
P Assimilável (mg kg <sup>-1</sup> )	7,9

pH – potencial hidrogeniônico, CE – condutividade elétrica do extrato de saturação do solo; S – soma de bases; T – capacidade de troca de cátions; V – saturação por bases; PST – percentagem de sódio trocável;

Fonte – Autor, 2018.

Tabela 2 – Atributos físicos do solo advindo da fazenda experimental Vale do Curu (Pentecoste – CE)

Camada	Composição granulométrica			Classificação Textural	Umidade na Capacidade de campo	Umidade No ponto de murcha permanente
	Areia	Silte	Argila			
(m)	----- g kg <sup>-1</sup> -----			( - )	g g <sup>-1</sup>	g g <sup>-1</sup>
0,00 - 0,50	81,2	555,3	363,5	Franco argiloso siltoso	0,36	0,23

Fonte – Autor, 2018.

Após a classificação do solo, em 10/08/2019 foi realizada a coleta de solo nas camadas de 0 – 0,5m para a instalação do experimento, sendo esta coleta realizada no mesmo local em que foi aberta a trincheira para fins de classificação (Figura 3). Após a coleta, as amostras de solo não preservadas foram secadas ao ar, destorroadas e passadas em peneira com abertura de malha de 4 mm para a instalação do experimento.

Figura 3 – Recolhimento do solo para a montagem do experimento



Fonte – Autor, 2018.

### 3.2 Local da área experimental e instalação do experimento

O experimento foi instalado em casa de vegetação do Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici (Fortaleza – CE). A área do experimento está inserida em região de clima tropical chuvoso, classificado como Aw de acordo com a classificação de Köppen (Aguiar *et al.*, 2002). Nessa classe, apesar do clima ser muito quente, há predomínio de chuvas nos meses de janeiro a abril, e a temperatura média é maior que 18°C durante todo o ano.

A montagem do experimento foi realizada no dia 28/08/18 e a condução do experimento foi por 98 dias. O solo foi acondicionado em vasos com dimensões de 0,34m de altura x 0,33m de diâmetro e capacidade de 20 litros. Os vasos foram preenchidos com solo até os 29 cm de altura, deixando-se 5 cm entre a superfície do solo e a borda superior do vaso para facilitar a irrigação, evitando possível transbordamento da água durante as irrigações.

### 3.3 Aplicação do polímero

O polímero utilizado foi a poliacrilamida de potássio da empresa FORTH Gel<sup>®</sup>, nas doses 0,0; 0,3; 0,6; 1,2 e 2,4 g kg<sup>-1</sup> de solo, abrangendo a faixa de recomendação do fabricante, compondo-se assim os tratamentos avaliados. O produto foi adicionado ao solo dentro dos vasos de forma seca, sendo misturado e posteriormente umedecido com a lâmina de irrigação nas doses pré-estabelecidas.

### 3.4 Obtenção das mudas e transplântio da *Atriplex nummularia*

As mudas foram obtidas no Instituto de Pesquisa Agronômica do Estado de Pernambuco, sendo as plantas advindas por reprodução assexuada, sendo mais preciso por estaquia de uma única planta matriz, visando menor variabilidade genética. As mudas foram transplantadas com altura média 20 cm (Figura 4).

Figura 4 – Transplântio de *A. nummularia*



Fonte – Autor, 2018

### 3.5 Delineamento experimental

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado. O fator de tratamento foi constituído por cinco doses de hidrogel com quatro repetições, totalizando 20 unidades experimentais.

### 3.6 Condução do experimento

Foi realizada a determinação da umidade na capacidade de campo do solo para fins do manejo da irrigação da *A. nummularia*, sendo o valor obtido ( $0,36 \text{ g g}^{-1}$ ), com base em massa da umidade. Com base no resultado quantificado em laboratório foi considerada para o manejo da irrigação a utilização de  $1/3$  da CAD (Capacidade de água disponível) para simular uma condição de estresse hídrico às plantas e, com isso, avaliar a viabilidade do hidrogel disponibilizando água em condição de déficit hídrico. Foi feito o cálculo da capacidade de água disponível (CAD) = CC (Cap. de campo) – PMP (ponto de murcha permanente), sendo que o valor de cc foi  $0,36 \text{ g g}^{-1}$  e do pmp foi  $0,23 \text{ g g}^{-1}$ , obtendo-se um valor de  $0,13 \text{ g g}^{-1}$  de água disponível.

A tomada de decisão do turno de rega foi baseada em 1/3 da CC e quando a umidade apresentou valor abaixo do mencionado, foi realizada a irrigação. Foi feita a pesagem diária de um vaso sem planta (Figura 5), a fim de averiguar a evaporação da água e reabastecer, caso a umidade no solo fosse menor do que o parâmetro estabelecido de 1/3 da capacidade de campo. Assim, a massa de água perdida ao longo dos dias foi repostada pela mesma massa de água da torneira.

Figura 5 – Vaso para o controle para a irrigação



Fonte – Autor, 2018

### 3.7 Análise de água e critério utilizado para irrigação do experimento

Foi realizada a coleta da água utilizada para fins de irrigação e realizadas análises para determinação dos teores de pH, CE, carbonato, bicarbonato,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e RAS (Razão de adsorção de sódio).

A metodologia utilizada para determinação da concentração de  $\text{Na}^+$  foi realizada por fotometria de chama,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  foram por titulação com EDTA, carbonato e bicarbonato por titulação com Solução Padrão de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,01N. A determinação da CE foi pelo condutivímetro e pH pelo pHâmetro. A partir da análise dos dados de água, foi gerada a Tabela 3, na qual estão os valores obtidos com a análise de água.

Tabela 3 – Resultado da análise de água para fins de irrigação

<b>Análise de água</b>		
<b>Parâmetro</b>	<b>Unidade</b>	<b>Resultado</b>
pH	-----	8,3
CE	µs/cm	575,6
Carbonato (CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup> )	mmol/L	0,2
Bicarbonato	mmol/L	2,1
Ca	mmol/L	1,6
Mg	mmol/L	3,3
Ca + Mg	mmol/L	5,0
Na	mmol/L	3,3
K	mmol/L	0,3
RAS	mmol/L	2,1

Fonte – Autor, 2018.

Segundo Bernardo (1995) a razão de adsorção de sódio (RAS) pode ser classificada de dois modos; o primeiro é quanto ao risco de salinidade em que a classificação pode ser C1 - águas com baixa salinidade, C2 - águas com salinidade média, C3 - águas com salinidade alta e C4 - águas com salinidade muito alta. A segunda forma de classificação é quanto ao risco de sodicidade, na qual as águas são divididas em quatro classes: S1 - águas com baixa concentração de sódio, S2 - águas com concentração média de sódio, S3 - águas com alta concentração de sódio e S4 - águas com muito alta concentração de sódio

Os atributos analisados na água utilizada para irrigação do experimento (Tabela 4) indicam que ela seja classificada, segundo descrito em Bernardo (1995), como C1, ou seja, com baixo nível de salinidade, e como S1, ou seja, com baixa concentração de sódio. Dessa forma, a água utilizada na irrigação do experimento não representou risco de incremento de sais no solo.

### 3.8 Análise de solo

Ao final do experimento o solo contido dentro dos vasos de cada tratamento foi coletado para realização das análises de CE, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e cálculo da PST. Os métodos usados

para quantificação dos parâmetros químicos do solo foram os mesmos já mencionados para as análises químicas para fins de classificação do solo.

### 3.9 Avaliações dos constituintes da planta

Ao final do experimento cada parte da planta (folha, caule e raiz) foi separada (Figura 6). Após a separação o material foi acondicionado em estufa a 60° C durante três dias para secagem do material até obtenção de massa constante.

Após a secagem, o material foi moído em moinho no modelo do tipo Willey (Figura 7), sendo armazenado em sacos plásticos e identificado com os respectivos órgãos do vegetal, tratamento e repetição.

Figura 6 – Segregação dos constituintes do vegetal



Fonte – Autor, 2018

Figura 7 – Moinho tipo willey utilizado para a moagem do material vegetal.



Fonte – Autor, 2018

Com a conclusão da moagem do material, este foi submetido à digestão por via úmida, na qual foi pesado 0,5g, com auxílio da balança de precisão, de cada material moído e logo após foram levados para tubos de digestão. Posteriormente, foram adicionados 8 mL da mistura ácida constituída por 600 mL de HNO<sub>3</sub> 65% p.a. e 200 mL de HClO<sub>4</sub> 72% (EMBRAPA, 2017).

Após a conclusão da etapa anterior os materiais nos tubos digestores foram levados para o bloco digestor onde foram aquecidos lentamente até a temperatura de 120° C. A temperatura foi mantida até o desprendimento da matéria com a solução. Posteriormente, foi acrescida a temperatura para 200° C até o desprendimento da fumaça branca no tubo digestor. Ao final, foram feitas as análises de Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> por espectrofotometria de absorção atômica e Na<sup>+</sup> e K<sup>+</sup> por fotometria de emissão de chama (EMBRAPA, 2017).

### **3.10 Avaliações biométricas**

Foram realizadas avaliações biométricas mensais (29/08/18, 05/09/18, 5/10/18 e 03/11/18) nas plantas com medidas de altura e diâmetro do caule. As medições foram realizadas com auxílio de um paquímetro digital e de uma régua graduada de 50 cm. As medições foram realizadas em todas as plantas.

### **3.11 Análise de trocas gasosas**

As medições de trocas gasosas foram realizadas aos 34, 69 e 98 dias após o transplântio (DAT) em folhas completamente expandidas em horário entre 8:00 e 11:00 h (Figura 8). Foi utilizado um analisador portátil de gás no infravermelho (mod. Li-6400XT, Li-COR, NE, USA). As variáveis de trocas gasosas mensuradas foram: fotossíntese líquida (*A*), transpiração (*E*), condutância estomática (*gs*), Eficiência instantânea do uso da água (*EUA*; *A/E*) e eficiência instantânea da carboxilação (*EiC*; *A/Ci*), utilizando radiação fotossinteticamente ativa (PAR) constante (1200 μmol fótons m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>), concentração constante de CO<sub>2</sub> (400ppm), temperatura e umidade ambiente.

Foto 8 – Primeira avaliação com o IRGA aos 34 dias após o transplante da *A nummularia*



Fonte – Autor, 2018.

### 3.12 Determinação de pigmentos fotossintéticos

Os teores das clorofilas *a*, *b*, e totais e dos carotenóides foram determinados por meio do método descrito por Wellburn (1994). Três discos medindo 1,0 cm de diâmetro foram retirados de folhas completamente expandidas e colocados em tubos contendo 2 mL de solução de dimetilsulfóxido (DMSO) saturada com CaCO<sub>3</sub>, os quais foram previamente revestidos com papel alumínio e permaneceram tampados durante toda a análise (Figura 9). No dia da leitura, as amostras foram incubadas a 65 °C, em banho-maria, por 30 min. Decorrido esse tempo, e após terem atingindo a temperatura ambiente, os discos foliares foram reservados e o extrato de pigmentos foi utilizado para a determinação da absorvância em espectrofotômetro de luz visível nos seguintes comprimentos de onda: 665, 649 e 480 nm. Por fim, os discos foliares foram lavados para a retirada do excesso de solução e secos a 60 °C por 48 h, em estufa, para obtenção de sua massa seca, sendo possível a quantificação da matéria seca através da pesagem do material (Figura 10). Os teores de clorofila *a* (C<sub>a</sub>), clorofila *b* (C<sub>b</sub>), clorofila total (C<sub>t</sub>) e carotenoides foram calculados com base nas seguintes equações:

$$C_a = (12,47 \times A_{665}) - (3,62 \times A_{649}); \quad (1)$$

$$C_b = (25,06 \times A_{649}) - (6,5 \times A_{665}); \quad (2)$$

$$C_t = (7,15 \times A_{665}) + (18,71 \times A_{649}); \quad (3)$$

$$\text{Carotenoides} = \frac{(1000 \times A_{480}) - (1,29 \times C_a) - (53,78 \times C_b)}{220} \quad (4)$$

em que  $A$  representa a absorbância em um respectivo comprimento de onda, sendo o resultado da fórmula expresso em  $\mu\text{g mL}^{-1}$ , e ao final expressos em  $\text{mg g}^{-1}$  MS.

Figura 9 – Armazenamento dos discos foliares com meio DMSO em tubos.



Fonte – Autor, 2018.

Figura 10 – Pesagem dos discos foliares para determinação da matéria seca.



Fonte – Autor, 2018.

### 3.13 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) a 5% de probabilidade. Quando o efeito das doses de hidrogel foi significativo na análise de variância, os dados dos diferentes tratamentos foram submetidos ao estudo de regressão. Na análise de regressão procurou-se escolher o modelo matemático que melhor se ajustou aos dados, utilizando, para

isso, o software para análises estatísticas SigmaPlot 12, auxiliado pelo software Microsoft Office Excel 2015.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Atributos do solo

Nas análises químicas realizadas no solo após a condução do experimento foi observada diferença significativa para a condutividade elétrica e  $K^+$  em resposta às doses de hidrogel (Tabela 4).

Tabela 4 – Resumo da ANOVA para os atributos químicos do solo ao final da condução do experimento

FV	GL	CE	PST	Na	K	Ca	Mg
Doses de hidrogel	4	0,001*	0,885 <sup>ns</sup>	0,774 <sup>ns</sup>	0,003*	1,5 <sup>ns</sup>	0,178 <sup>ns</sup>
Resíduo	15	0,35	18,01	5,42	0,0016	0,09	0,159
Total	19	3,19	23,09	7,48	0,012	0,241	0,45

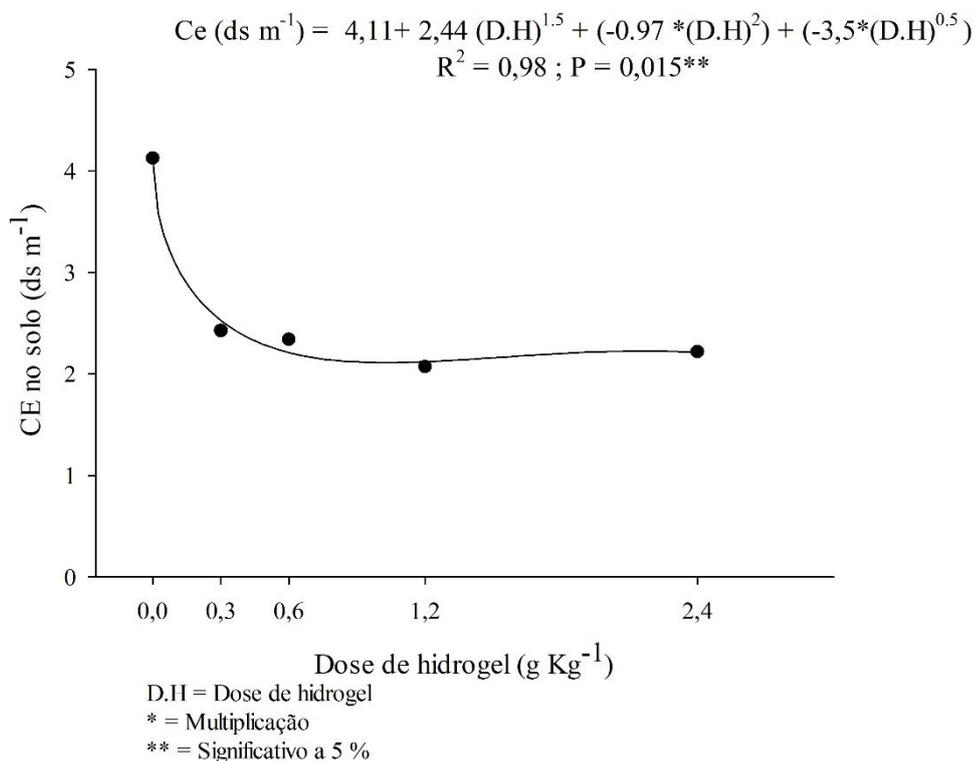
FV - Fonte de variação; GL - Grau de liberdade; QM resíduo - Quadrado médio do resíduo; \* - Significativo a 5% e probabilidade; <sup>ns</sup> - Não significativo a 5% de probabilidade.

Fonte – Autor, 2018.

A CE diminuiu com as doses de hidrogel. Na dose 0 g  $Kg^{-1}$  de hidrogel a CE foi 4,13  $dS\ m^{-1}$  e seu valor foi reduzido para 2,43  $dS\ m^{-1}$  na dose 0,3 g  $Kg^{-1}$  de hidrogel (Figura 11, Tabela 4). A redução na CE do solo com o aumento das doses de hidrogel pode ter relação com a maior absorção de sais pela *A. nummularia* que é uma halófito obrigatória (OH *et al.*, 2007; FLOWERS; COLMER, 2008). Contudo, há que se considerar que a redução da CE não ocorre somente em função da diminuição dos teores de Na no solo por meio da absorção do elemento pela *A. nummularia*, mas também pela redução da presença de outros íons, como o próprio nitrato, que devem ter sido absorvidos pela planta ou até mesmo cloreto.

Segunda Souza *et al.* (2011), o aumento da umidade do solo possibilita que a *A. nummularia* tenha a maior capacidade de fitoextração. Como o hidrogel possibilitou o acréscimo da umidade no solo, houve a potencialização da *A. nummularia* na fitoextração de sais.

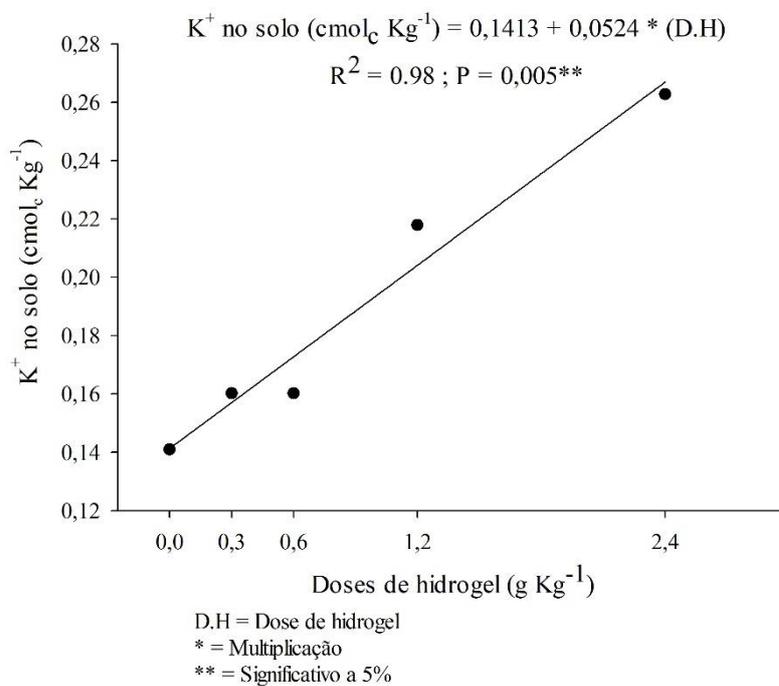
Figura 11 – Curva da condutividade elétrica (CE) do solo sódico em resposta às doses de hidrogel e do cultivo da espécie *A. nummularia*.



Fonte – Autor, 2018.

Os teores de K no solo responderam às doses de hidrogel (Tabela 4, Figura 12), aumentando com as doses do polímero. Como o hidrogel utilizado foi composto por acrilato de potássio (dados do fabricante do produto), o potássio existente no polímero foi liberado ao solo, acarretando o aumento do cátion no solo.

Figura 12 – Teores de  $K^+$  no solo após as doses de hidrogel aplicadas em solo sódico cultivado com *A. nummularia*.



Fonte – Autor, 2018

Segundo Aouada (2008) a poliacrilamida tem a capacidade de liberação de  $K^+$ , tendo em vista que o íon se encontra na superfície do hidrogel, facilitando sua liberação. Contudo, é válido destacar que esse potássio liberado pelo hidrogel não resultou em aumento da condutividade elétrica do solo, o que indica que a *A. nummularia* atuou na absorção de outros íons levando à redução na CE.

#### 4.2 Atributos da planta

Houve diferença significativa para o acúmulo de sais nas partes da *A. nummularia*, com destaque para folhas e caule (Tabela 5).

Tabela 5 – Resumo da ANOVA para teores de sódio (Na), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) acumulados na biomassa da *A. nummularia*.

FV	GL	Na acumulado na folha	Na acumulado no caule	Na acumulado na raiz
Doses de hidrogel	4	<0,001*	0,004*	0,261 <sup>ns</sup>
Resíduo	15	0,04	0,005	0,01
Total	19	1,06	0,035	0,03
FV	GL	K acumulado na folha	K acumulado no caule	K acumulado na raiz
Doses de hidrogel	4	0,001*	0,83 <sup>ns</sup>	0,45 <sup>ns</sup>
Resíduo	15	0,001	0,0004	0,008
Total	19	0,002	0,0005	0,015
FV	GL	Ca acumulado na folha	Ca acumulado no caule	Ca acumulado na raiz
Doses de hidrogel	4	0,001*	0,37 <sup>ns</sup>	0,23 <sup>ns</sup>
Resíduo	15	0,001	0,0018	0,0004
Total	19	0,021	0,006	0,001
FV	GL	Mg acumulado na folha	Mg acumulado no caule	Mg acumulado na raiz
Doses de hidrogel	4	0,045*	0,007*	0,017*
Resíduo	15	0,0002	0,003	0,0002
Total	19	0,008	0,009	0,0007

FV - Fonte de variação; GL - Grau de liberdade; Resíduo - Quadrado médio do resíduo; Total – Total do resíduo;

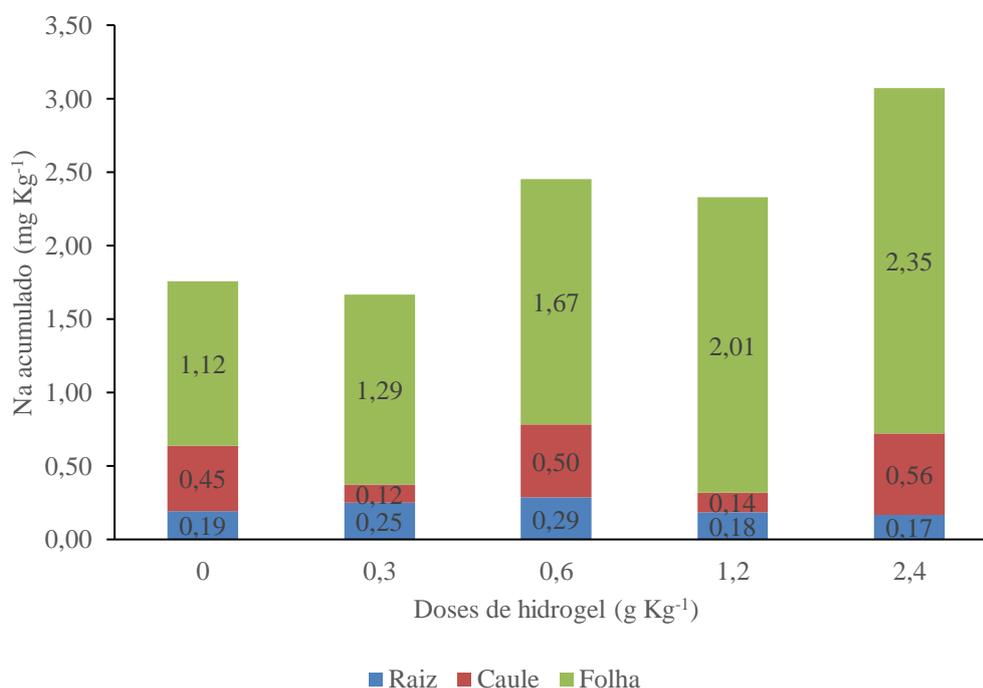
\* - Significativo a 5% de probabilidade; <sup>ns</sup> – Não significativo a 5% de probabilidade.

Fonte – Autor, 2018.

Houve diferença significativa entre doses de hidrogel tanto na folha como no caule a 5% de probabilidade para o  $\text{Na}^+$ . Erdei; Kuiper, (1979); Glenn *et al.* (1997) relataram que a tolerância ao sal em plantas halófitas tem correlação positiva com a capacidade de absorção de  $\text{Na}^+$  nos tecidos da parte aérea (folha e caule).

Foi observado que a dose  $2,4 \text{ g Kg}^{-1}$  de hidrogel possibilitou o maior acúmulo de sódio na folha e no caule,  $2,35 \text{ mg Kg}^{-1}$  e  $0,56 \text{ mg Kg}^{-1}$ , respectivamente, totalizando  $2,91 \text{ mg}$  de sais acumulados para cada  $\text{Kg}$  de biomassa da *A. nummularia* (Figura 13). Entretanto na raiz não houve diferença estatística a 5% de probabilidade.

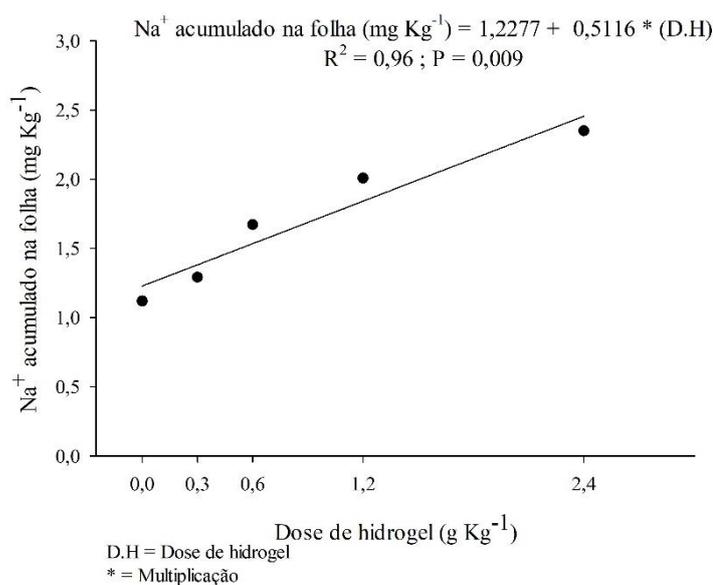
Figura 13 – Acúmulo de Na nos constituintes da planta de acordo com as doses de hidrogel.



Fonte – Autor, 2018.

Com base na Figura 13 foi realizado a análise de regressão para os dados de Na acumulado na folha, tendo em vista que houve diferença significativa segundo a ANOVA, obtendo-se os seguintes resultados.

Figura 14 – Sódio Acumulado na folha de *A. nummularia* de acordo com as doses de hidrogel.



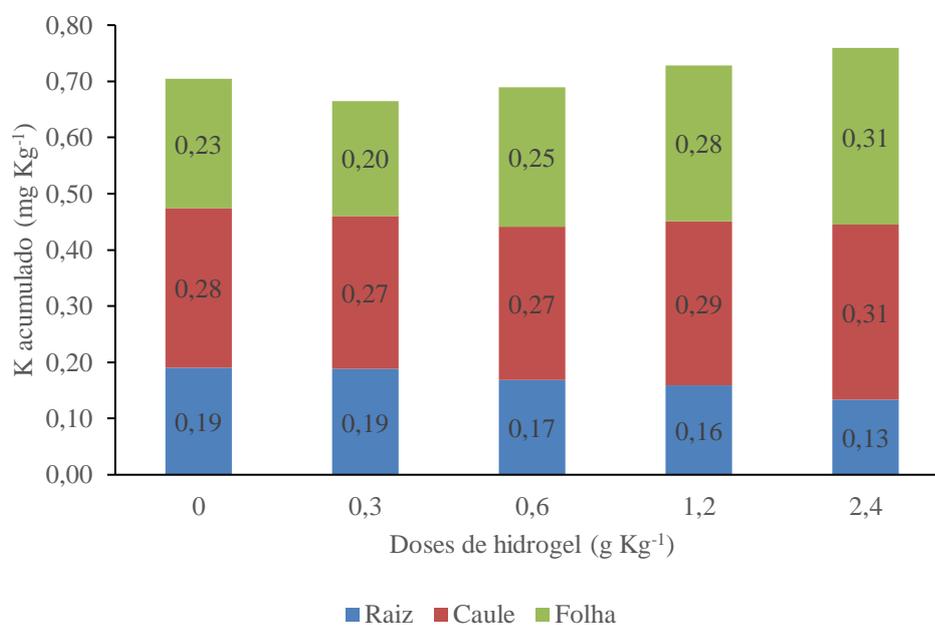
Fonte – Autor, 2018

A partir do aumento das doses de hidrogel, houve um crescimento linear na capacidade da planta em acumular Na<sup>+</sup> em suas folhas, resultados similares são obtidos no trabalho de Souza (2011) no qual relata que o devido ao aumento da umidade no solo através do hidrogel, possibilitou o incremento do acúmulo de Na<sup>+</sup> na folha.

É válido salientar que não foi possível ajustar um modelo matemático para análise de regressão para os dados de Na acumulado no caule. Contudo é possível visualizar a partir da Figura 13 que houve o aumento no acúmulo de Na no caule quando comparado as dose 0, 0,6 e 2,4 g Kg<sup>-1</sup>, obtendo – se valores de 0,45; 0,50 e 0,56 mg Kg<sup>-1</sup> Respectivamente.

Em relação ao K Houve diferença estatística a 5% de significância no acúmulo de K na folha, entretanto no caule e na raiz não houve diferença significativa (Tabela 6). A medida que houve o acréscimo das doses de hidrogel acarretou o aumento do acúmulo de K nas folhas, com exceção da dose 0,3 g Kg<sup>-1</sup> (Figura 14), mostrando que há uma correlação positiva entre o aumento dos teores de K no solo com o acúmulo de K na parte aérea da planta, muito embora não haja diferença significativa nos valores de acúmulo no caule e raiz.

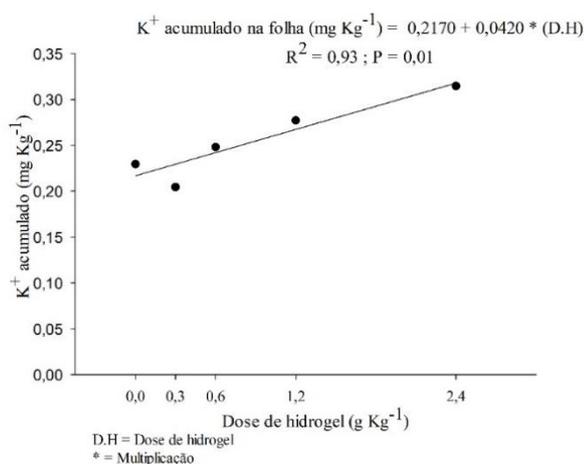
Figura 15 – Acúmulo de K nos constituintes da planta de acordo com as doses de hidrogel



Fonte – Autor, 2018.

Outro fator importante é que o aumento das doses de hidrogel possibilitou o incremento de K acumulado na folha (Figura 16), este fato pode ser explicado devido o hidrogel ter em sua composição K, corroborando para que o aumento das doses de hidrogel houvesse uma maior disponibilidade de K no solo e conseqüente maior acúmulo na folha.

Figura 16 – Acúmulo de K na folha de *A. nummularia* de acordo com as doses de hidrogel

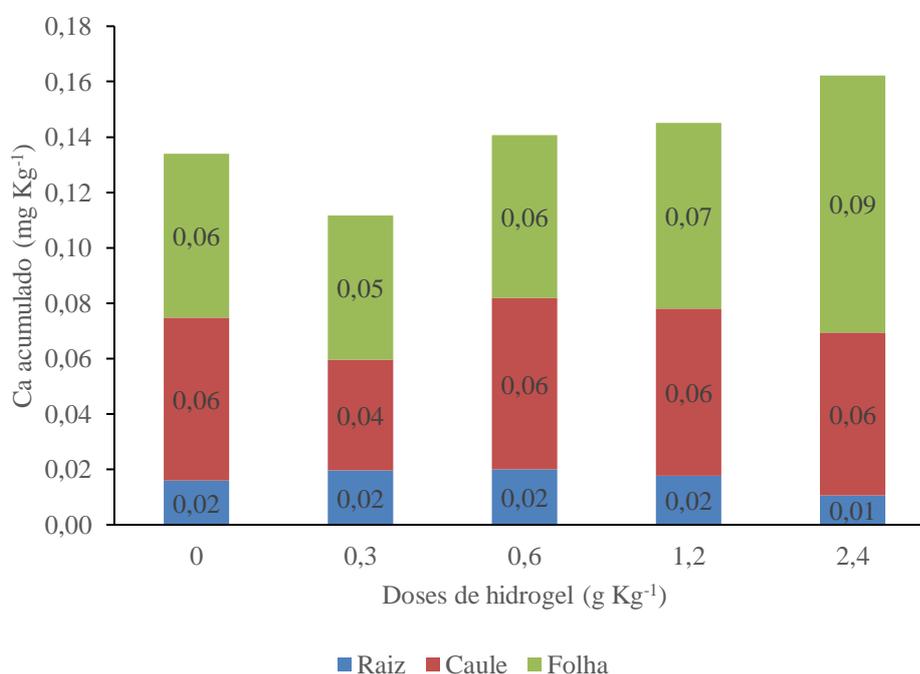


Fonte – Autor, 2018.

Para comparar a capacidade de fitoextração da planta em extrair  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$  foi calculado a relação  $\text{Na}/\text{K}$  com base no acumulado na folha, tendo em vista que houve diferença significativa dos cátions neste constituinte da planta. O resultado foi positivo para o aumento da capacidade da planta em extrair  $\text{Na}^+$  ao invés de  $\text{K}^+$ , reduzindo assim o desequilíbrio iônico. Resultados similares foram relatados por Souza *et al.* (2017).

No que diz respeito ao  $\text{Ca}^{2+}$  acumulado nos constituintes da planta, o acúmulo nas folhas foi crescente com as doses de hidrogel (Figura 17), havendo diferença significativa a 5% de probabilidade (Tabela 5).

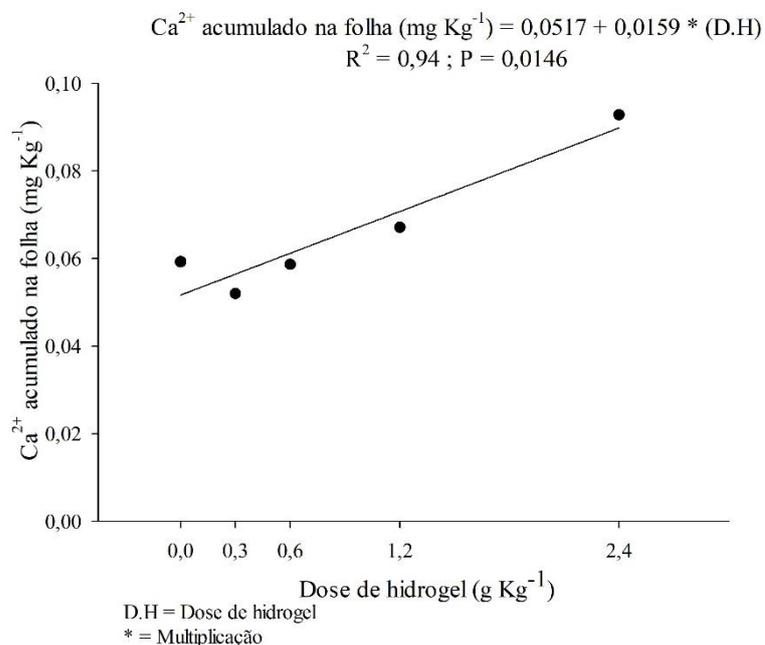
Figura 17 – Acúmulo de Ca nos constituintes da planta de acordo com as doses de hidrogel.



Fonte- Autor, 2018

O aumento de  $\text{Ca}^{2+}$  na folha (Figura 16) está diretamente associado com a diminuição da condutividade elétrica, tendo em vista que há disputa pelo mesmo complexo de troca do  $\text{Ca}^{2+}$  com os sais do solo (MIRANDA *et al.*, 2011). A partir disso devido a CE do solo ter reduzido houve uma maior capacidade da planta na fitoextração de  $\text{Ca}^{2+}$ .

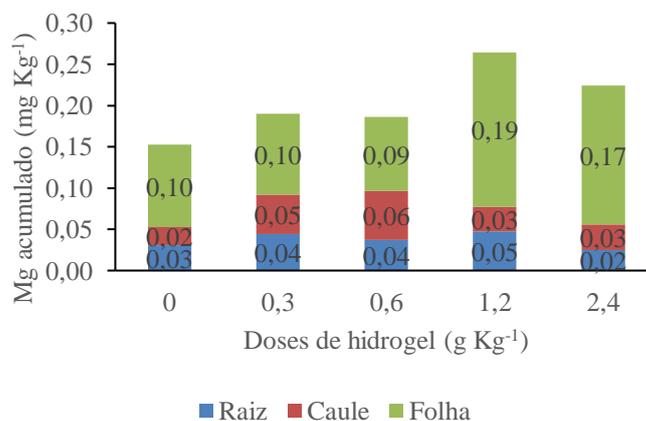
Figura 18 - Acúmulo de Ca na folha de *A. nummularia* de acordo com as diferentes doses de hidrogel.



Fonte – Autor, 2018.

No tocante ao  $\text{Mg}^{2+}$  acumulado nos constituintes da planta, pode-se observar que houve diferença estatística nos diferentes constituintes de planta (Tabela 5), entretanto não foi possível fazer a regressão devido à ausência de significância na análise de regressão.

Figura 19 – Acúmulo de Mg nos constituintes da planta de acordo com as diferentes doses de hidrogel.



Fonte – Autor, 2018.

Existe relação de competição entre os íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{Mg}^{2+}$  (MIRANDA *et al.*, 2011). Contudo as diferentes quantidades de acúmulo de  $\text{Na}^+$  na folha e caule não foram suficientes para reduzir o acúmulo de  $\text{Mg}^{2+}$  na folha e caule. Este resultado é contrastante com Santos *et al.* (2013) no qual relata que o antagonismo entre  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Na}^+$  são afetados ao longo do tempo pelos efeitos da fitorremediação com *A. nummularia*.

### 4.3 Parâmetros biométricos

Tabela 6 – Resumo da ANOVA para Altura e diâmetro do caule de *A. nummularia*.

FV	GL	Altura da planta aos 34 dias	Altura da planta aos 69 dias	Altura da planta aos 98 dias
Doses de hidrogel	4	0,914 <sup>ns</sup>	0,572 <sup>ns</sup>	0,432 <sup>ns</sup>
Resíduo	15	104,835	58,03	59,91
Total	19	129,54	101,63	120,63
FV	GL	Diâmetro da planta aos 34 dias	Diâmetro da planta aos 69 dias	Diâmetro planta aos 98 dias
Doses de hidrogel	4	0,41 <sup>ns</sup>	0,17 <sup>ns</sup>	0,33 <sup>ns</sup>
Resíduo	15	0,83	0,42	0,26
Total	19	1,7	1,19	0,58

FV - Fonte de variação; GL - Grau de liberdade; Resíduo - Quadrado médio do resíduo; Total – Total do resíduo; \* - Significativo a 5% de probabilidade; <sup>ns</sup> – Não significativo a 5% de probabilidade.

Fonte – Autor, 2018.

No tocante as avaliações da altura da planta de *A. numulária*, com base na Tabela 6 é valido destacar que não houve diferença significativa a 5 % de probabilidade na altura da planta quando comparado as diferentes doses de hidrogel ao longo do experimento, o mesmo ocorreu para o diâmetro do caule.

Contudo, com o acúmulo de biomassa na folha houve diferença significativa a 5% de probabilidade, com base na Tabela 7

Tabela 7 – Resumo da ANOVA para biomassa de *A. nummularia*.

FV	GL	Biomassa total	Biomassa da folha	Biomassa do caule	Biomassa da raiz
Doses de hidrogel	4	0,245 <sup>ns</sup>	<0,001*	0,948 <sup>ns</sup>	0,513 <sup>ns</sup>
Resíduo	15	28,221	1,308	7,466	2,474
Total	19	71,282	17,67	8,76	4,53

FV - Fonte de variação; GL - Grau de liberdade; Resíduo - Quadrado médio do resíduo; Total – Total do resíduo;

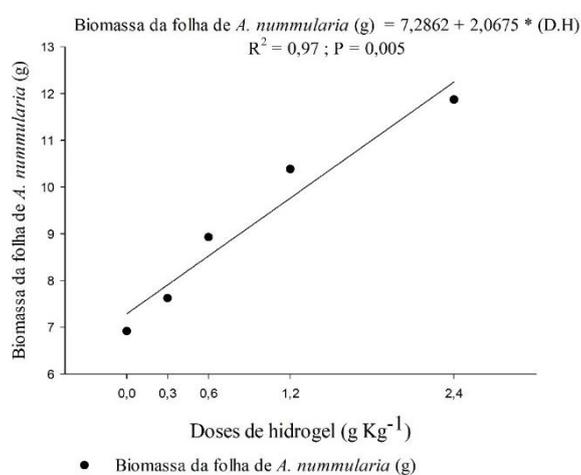
\* - Significativo a 5% de probabilidade; <sup>ns</sup> – Não significativo a 5% de probabilidade.

Fonte – Autor, 2018.

Pode – se vincular o maior acúmulo de biomassa na folha de *A. nummularia* (Figura 20) pelo fato de a planta ter tido o maior acúmulo de cátions na folha a medida que acrescentou hidrogel no solo, devido o aumento da umidade no solo, isso corroborou para o aumento de biomassa da folha, outro fato que pode estar associado ao aumento que a planta pode ter emitido um maior número de folhas com o aumento das doses de hidrogel.

Resultados similares foram obtidos no trabalho de Souza *et. al.* (2017), no qual relata que o acúmulo de sódio na biomassa de *A. nummularia* cresceu com o aumento da umidade no solo. O mesmo autor relata no trabalho que a folha foi a maior fonte de acúmulo de biomassa, principalmente devido a fitoextração de sais do solo.

Figura 20 - Acúmulo de biomassa na folha de *A. nummularia* de acordo com as diferentes doses de hidrogel.



Fonte – Autor, 2018.

#### 4.4 Trocas gasosas

Em relação as avaliações fisiológicas de trocas gasosas em *A. nummularia* houve diferença estatística a 5% de probabilidade em resposta às doses de hidrogel na fotossíntese líquida nas três épocas analisadas (Tabela 7).

Tabela 8 – Resumo da ANOVA para fotossíntese, Condutância estomática, Transpiração, EIC e EUA de *A. nummularia* em resposta às doses de hidrogel e em diferentes datas de avaliação.

FV	GL	Fotossíntese aos 34 dias	Fotossíntese aos 69 dias	Fotossíntese aos 98 dias
Doses de hidrogel	4	<0,001*	<0,001*	<0,001*
Resíduo	15	5,151	1,2	1,74
Total	19	63,94	21,38	32,44

FV	GL	Fotossíntese aos 34, 69 e 98 dias		
Data de Avaliação	2	0,008*		
Resíduo	12	9,14		
Total	14	76,07		

FV	GL	Condutância estomática aos 34 dias	Condutância estomática aos 69 dias	Condutância estomática aos 98 dias
Doses de hidrogel	4	0,012*	0,005*	0,03*
Resíduo	15	0,004	0,002	0,012
Total	19	0,006	0,004	0,019

FV	GL	Condutância estomática aos 34, 69 e 98 dias		
Data de Avaliação	2	0,001*		
Resíduo	12	0,002		
Total	14	0,052		

FV	GL	Transpiração aos 34 dias	Transpiração aos 69 dias	Transpiração aos 98 dias
Doses de hidrogel	4	0,017*	0,023*	0,005*
Resíduo	15	0,03	0,009	0,002
Total	19	0,07	0,01	0,001

FV	GL	Transpiração aos 34,69 e 98 dias		
Data de Avaliação	2	0,132 <sup>ns</sup>		
Resíduo	12	0,481		
Total	14	1,350		
FV	GL	EIC aos 34 dias	EIC aos 69 dias	EIC aos 98 dias
Doses de hidrogel	4	<0,001*	0,002*	<0,001*
Resíduo	15	0,0003	0,0001	0,00002
Total	19	0,006	0,0009	0,0004
FV	GL	EIC aos 34,69 e 98 dias		
Data de Avaliação	2	0,002*		
Resíduo	12	0,0006		
Total	14	0,007		
FV	GL	EUA aos 34 dias	EUA aos 69 dias	EUA aos 98 dias
Doses de hidrogel	4	<0,001*	<0,001*	<0,001*
Resíduo	15	0,482	2,253	1,221
Total	19	5,5	32,5	12,7
FV	GL	EUA aos 34,69 e 98 dias		
Data de Avaliação	2	0,202 <sup>ns</sup>		
Resíduo	12	3,89		
Total	14	9,57		

FV - Fonte de variação; GL - Grau de liberdade; Resíduo - Quadrado médio do resíduo; Total – Total do resíduo;

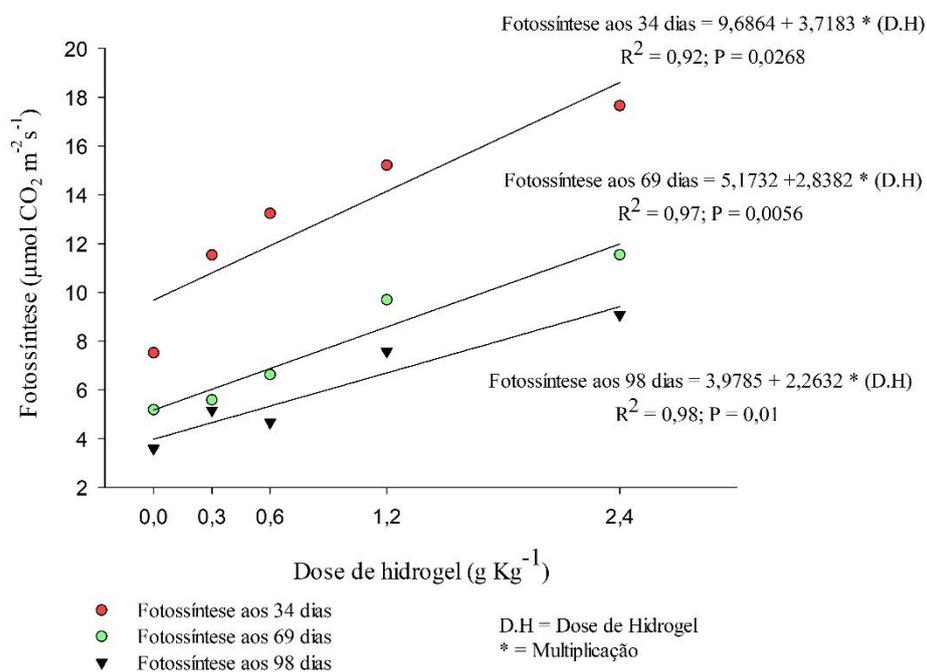
\* - Significativo a 5% de probabilidade; <sup>ns</sup> – Não significativo a 5% de probabilidade

Fonte – Autor, 2018

Em relação a fotossíntese líquida (A), houve redução com o passar do tempo. Contudo, o efeito de tratamento foi positivo, tendo em vista que houve ao longo do tempo resposta linear crescente para o aumento da fotossíntese da planta. Isso provavelmente ocorreu devido ao ajustamento osmótico da planta ao Na<sup>+</sup>. A primeira resposta da planta ao estresse hídrico induzido pela salinidade geralmente é o fechamento estomático (Chaves *et al.*, 2003), contudo o hidrogel possibilitou maior retenção de água no solo para disponibilizar à planta e, conseqüentemente, diminuir o fechamento estomático, proporcionando, assim, maior

fotossíntese. Segundo Oliveira (2017), as plantas de *A.nummularia* que são submetidas a níveis maiores de umidade no solo, aumentam consideravelmente os índices de fotossíntese líquida.

Figura 21 – Fotossíntese líquida em *A. nummularia* de acordo com as doses de hidrogel ao longo do tempo

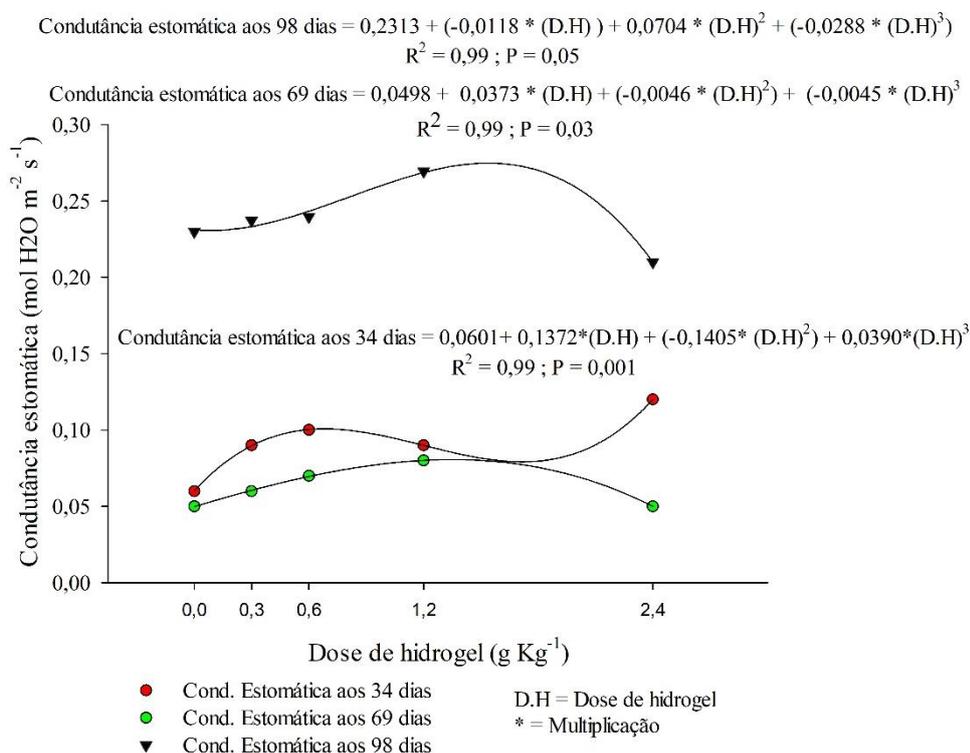


Fonte – Autor, 2018.

A redução da fotossíntese ao longo do tempo (Figura 21) pode ser atribuída às limitações não estomáticas que pode ter reduzido a eficiência de carboxilação devido ao acúmulo de sais no mesófilo. O acúmulo de sais é verificado na Figura 14, resultando em alterações na concentração intracelular de  $CO_2$  e, conseqüentemente, na fotossíntese (LARCHER, 2004).

A condutância estomática (gs), tanto nos 34 como nos 69 DAT, teve maior controle da abertura estomática (Figura 22). Contudo, se obteve maiores taxas da eficiência instantânea de carboxilação (EiC) (Figura 24) que demonstram que houve maiores taxas de assimilação de  $CO_2$ .

Figura 22 – Condutância estomática de *A.numularia* de acordo com as doses de hidrogel ao longo do tempo



Fonte – Autor, 2018.

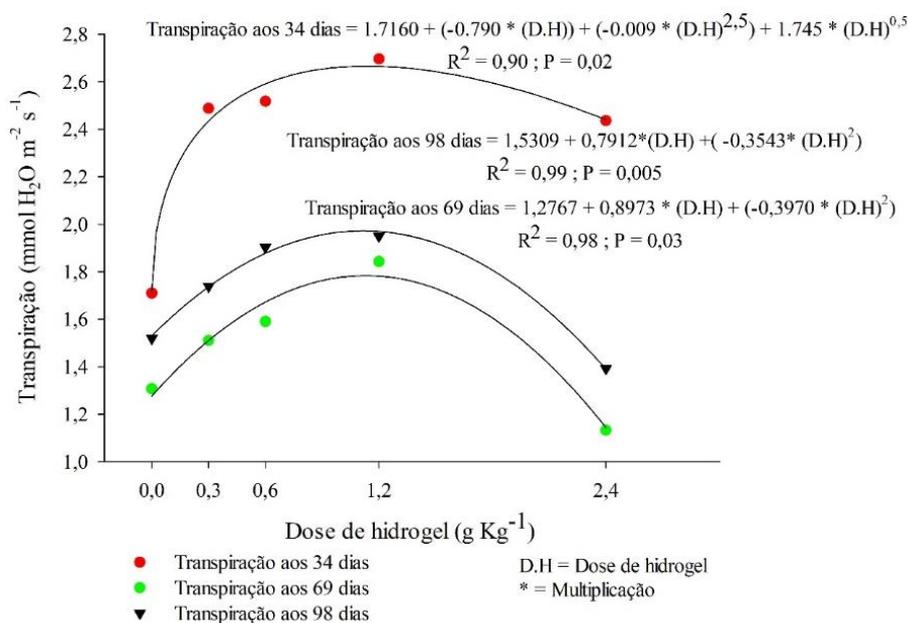
Aos 98 DAT, época em que a planta estava com seu ciclo fenológico mais adiantado, houve maior abertura estomática, acompanhada das menores taxas de fotossíntese. Isso ocorreu, muito provavelmente, pelo fato de que aos 98 dias a concentração de Na<sup>+</sup> nas folhas foi maior em relação àquelas observada na fase inicial do experimento devido a capacidade da planta em acumular sais. Também é válido ressaltar que na mesma época os valores da Eficiência instantânea de carboxilação (EiC) e eficiência do uso da água (EUA) foram menores. Resultados semelhantes foram obtidos no trabalho de Oliveira (2017), relatando que maiores índices de sais na folha colaboram para a redução da condutância estomática.

Em relação a variável transpiração (*E*) houve aumento em todos os períodos quando comparado ao tratamento com a dose zero de hidrogel até a dose 1,2 gKg<sup>-1</sup>, havendo queda significativa na transpiração na dose de hidrogel de 2,4 g Kg<sup>-1</sup>. O fato da transpiração ter sido crescente até a dose 1,2 g Kg<sup>-1</sup> pode ser pelo fato de que provavelmente na fase inicial de crescimento houve maior formação de biomassa e a dose 1,2 g Kg<sup>-1</sup> de hidrogel não representou

excesso de água. Contudo o passar do tempo, as plantas foram encontrando mais limitações ao crescimento, o que está relacionado ao excesso de sais acumulado na folha vinculado a maior dose de hidrogel.

Outro fato é que há a capacidade de aumentar a eficiência do uso da água em resposta aos sais, minimizando a quantidade de água que deve ser transpirada para cada unidade de carbono assimilada, resultando em maior eficiência de crescimento (GLENN; BROWN; BLUMWALD, 1999). Possivelmente a dose de hidrogel 2,4 g Kg<sup>-1</sup> pode estar indisponibilizando a água retida no solo, o que pode ocasionar a queda acentuada na transpiração nessa dose.

Figura 23 - Transpiração de *A. numularia* de acordo com as diferentes doses de hidrogel ao longo do tempo



Fonte – Autor, 2018.

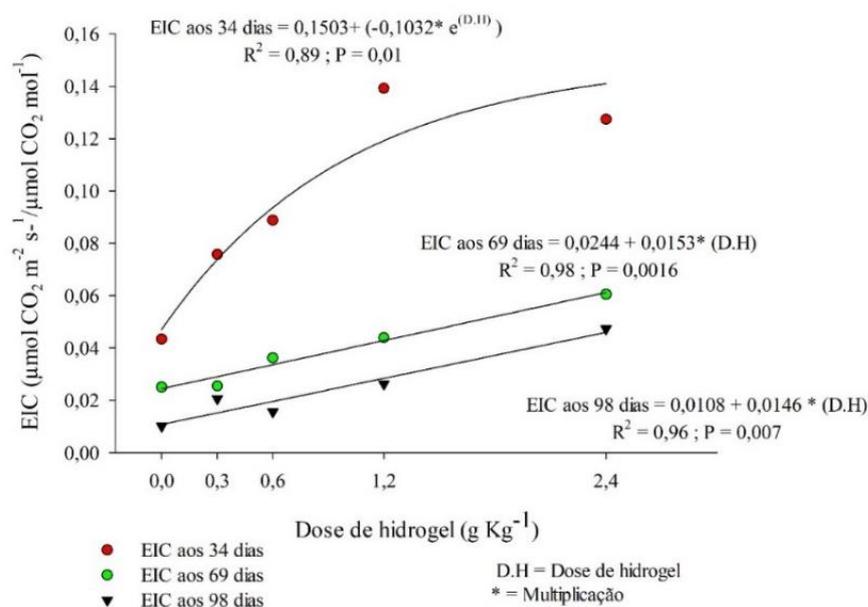
Oliveira *et al.*, (2017) afirmam que a redução da transpiração é uma consequência da diminuição da condutância estomática, resultando em menor perda de água pela planta, que tem dificuldade em absorvê-la devido à redução do potencial hídrico do solo. Na dose 2,4 g Kg<sup>-1</sup> o hidrogel pode ter indisponibilizado a água para a planta de modo a promover o excesso de água no solo, o que dificultou a absorção de água pelas raízes, reduzindo assim a transpiração.

A regulação da taxa de transpiração exerce papel importante no controle da acumulação de íons na parte aérea das plantas, devido ao transporte de sais ocorrer através do fluxo de transpiração (BENZARTI *et al.*, 2012). De tal modo que a alta concentração de sais acumulados

nas folhas (Figura 14) na dose 2,4 g Kg<sup>-1</sup> também pode ter corroborado para a redução da transpiração na mesma dose. A redução da transpiração de plantas de *Atriplex nummularia* sob alta concentração de sais na folha também foi reportada por Geissler *et al.* (2015).

A eficiência instantânea de carboxilação (EiC; A/Ci) reduziu ao longo do tempo, porém pode-se observar que com as doses de hidrogel, houve aumento da EiC (Figura 24), o mesmo ocorreu com a eficiência do uso da água (EUA; A/E). A redução da eficiência da utilização do carbono está atrelada, principalmente, ao fato de que com o passar do tempo, houve acúmulo de cristais de Na<sup>+</sup> na superfície foliar, o que corroborou para a obstrução da conversão de concentração de carbono interna para a transformação de fotossíntese líquida.

Figura 24 – Eficiência instantânea de carboxilação (EIC) de *A.nummularia* de acordo com as doses de hidrogel ao longo do tempo



Fonte – Autor, 2018.

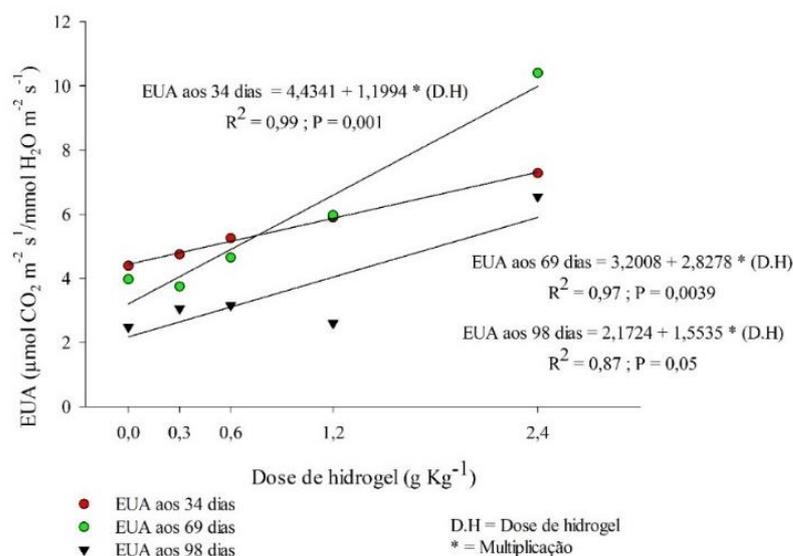
Plantas halófitas de metabolismo C4 (OBRAS, 1938) tem a característica de aumentar a eficiência do uso de água em ambientes salinos e, para isso, reduzem a condutância estomática (gs) (Figura 22). Isto leva, também, a uma conseqüente diminuição nas taxas de transpiração e da fotossíntese (Figura 23 e 21 respectivamente), mas não em proporção direta, resultando em aumento da EUA (Figura 25), assim como ocorre a manutenção da EiC (Figura 24) (OSMOND *et al.*, 1980; GLENN *et al.*, 1999).

A maioria das espécies que utilizam as rotas C4 de fixação de carbono requer íons  $\text{Na}^+$ , por este estar envolvido na transferência de metabólitos entre os cloroplastos das células do mesófilo e da bainha vascular das plantas (KORNDORFER, 2007). Desta forma, o sódio é fundamental para a entrada de piruvato nas células do mesofilo (parênquima radiado), onde atua na regeneração do fosfoenolpiruvato (PEP) que é o substrato da enzima PEPCase (fosfoenolpiruvato carboxilase), que por sua vez, atua na primeira etapa da via C4, a fixação do carbono (TAIZ; ZEIGER, 2013). Na medida em que a planta aumentou o acúmulo de  $\text{Na}^+$  com o aumento das doses de hidrogel, houve aumento significativo na eficiência de carboxilação (Figura 24)

Contudo com o passar o tempo houve uma redução na eficiência instantânea de carboxilação, no qual pode estar atrelada ao fato de houve grande acúmulo de  $\text{Na}^+$  na folha e isso colaborou para a obstrução parcial dos estômatos, havendo assim a redução da EIC.

O aumento das doses de hidrogel aumentou a eficiência do uso da água pelas plantas, pelo fato de que a umidade no solo deve ter sido maior de acordo com o aumento das doses de hidrogel, havendo assim uma redução na transpiração na dose 2,4  $\text{g Kg}^{-1}$  (Figura 23)

Figura 25 – Eficiência de uso da água (EUA) de *A.numularia* de acordo com as doses de hidrogel ao longo do tempo



Fonte – Autor, 2018.

Segundo Jaimez et al. (2005), a relação entre a fotossíntese e a transpiração indica a eficiência no uso de água (*EUA*), em que os valores obtidos denotam a relação entre a quantidade de carbono que a planta fixa por cada unidade de água que perde. Desta forma, observa-se que com o aumento das doses de hidrogel a planta teve o aumento da capacidade da fotossíntese ao invés da transpiração (Figura 25).

Quando as plantas são submetidas a estresses de diversas naturezas, tais como o hídrico e o salino, tendem a reduzir a transpiração em resposta a menor abertura estomática (Figura 22), a redução da abertura estomática pode estar relacionada com a formação de cristais de Na folha, reduzindo também a eficiência de carboxilação (Figura 24).

Em plantas no qual existem o mecanismo de redução da fotorrespiração devido aos mecanismos de concentração de CO<sub>2</sub> no sítio de carboxilação da rubisco, há maximização da eficiência do uso da água (VON CAEMMERER; FURBANK, 2003; SAGE, 2004). Essa vantagem está relacionada ao fato do metabolismo C4 ser menos dependente de altas concentrações de CO<sub>2</sub>. Com isso, as plantas com essa via, em ambientes áridos ou salinos, podem reduzir a abertura dos estômatos sem grandes perdas metabólicas, e, portanto, diminuir as taxas de transpiração (SAGE, 2004), conseqüentemente aumento a eficiência do uso da água.

#### 4.5 Avaliações dos pigmentos fotossintéticos

Tabela 9 – Resumo da ANOVA para clorofila a, clorofila b e carotenoides de *A. nummularia* em resposta às doses de hidrogel e em diferentes datas de avaliação.

FV	GL	Clorofila a aos 34 dias	Clorofila a aos 98 dias
Doses de hidrogel	4	0,03*	0,002*
Resíduo	15	6,9	5,717
Total	19	13,2	12,6
FV	GL	Clorofila a aos 34 e 98 dias	
Data de avaliação	1	0,38 <sup>ns</sup>	
Resíduo	8	6,11	
Total	9	11,05	
FV	GL	Clorofila b aos 34 dias	Clorofila b aos 98 dias

Doses de hidrogel	4	0,006*	0,007*
Resíduo	15	6,983	2,545
Total	19	12,14	15,03
FV	GL	Clorofila b aos 34 e 98 dias	
Data de avaliação	1	0,447 <sup>ns</sup>	
Resíduo	8	2,45	
Total	9	4,05	
FV	GL	Carotenoides aos 34 dias	Carotenoides aos 98 dias
Doses de hidrogel	4	0,002*	0,003*
Resíduo	15	0,547	0,267
Total	19	6,12	3,02
FV	GL	Carotenoides aos 34 e 98 dias	
Data de avaliação	1	0,18 <sup>ns</sup>	
Resíduo	8	0,23	
Total	9	0,72	

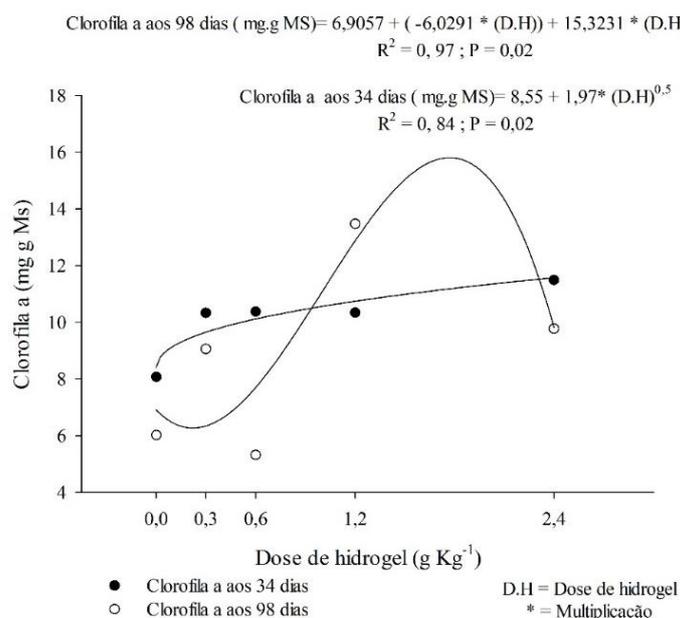
FV - Fonte de variação; GL - Grau de liberdade; Resíduo - Quadrado médio do resíduo; Total – Total do resíduo;

\* - Significativo a 5% de probabilidade; <sup>ns</sup> – Não significativo a 5% de probabilidade

Fonte – Autor, 2018.

Pode-se observar que o hidrogel possibilitou o aumento de forma linear da clorofila *a*. O mesmo aumento foi observado aos 98 dias após o transplante, contudo como a dose 2,4 g Kg<sup>-1</sup> de hidrogel na mesma época foi a que registrou o maior acúmulo de Na<sup>+</sup> na folha (Figura 14), isso colaborou para a redução da clorofila *a* na mesma dose e período. Resultados similares são observados no trabalho de Oliveira (2017), no qual foi observada redução da clorofila *a* nas plantas que foram submetidas a estresse salino durante longo período. Esse menor teor de clorofila *a* pode estar relacionado com a maior senescência das folhas nessa fase e menor fotossíntese líquida.

Figura 26 – Clorofila “a” de *A. nummularia* de acordo com as doses de hidrogel



Fonte – Autor, 2018.

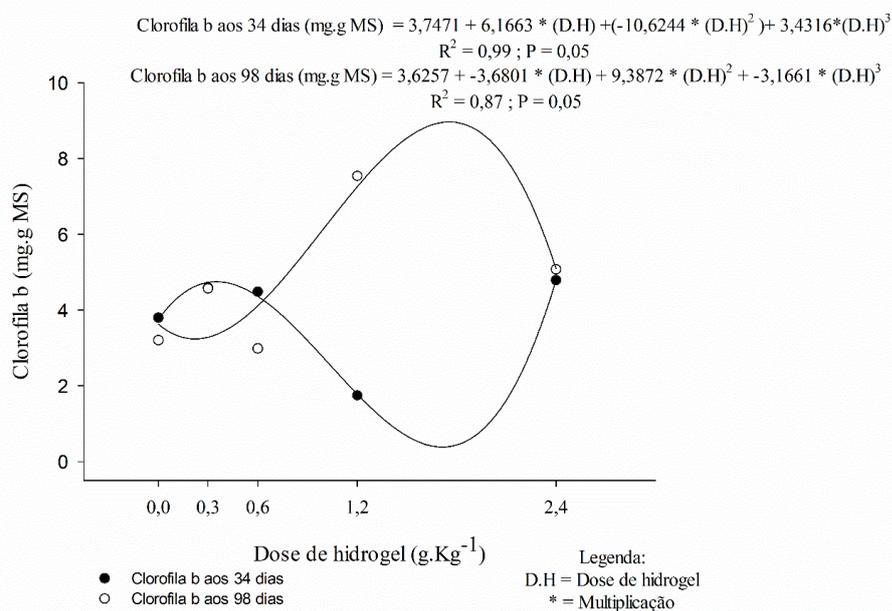
Segundo Heaton; Marangoni (1996) a etapa inicial da degradação da clorofila é iniciada por fatores externos, como por exemplo a falta de oxigênio e estresse na planta. Esse fato pode ter ocorrido aos 98 DAT, devido na dose 2,4 haver uma grande quantidade de hidrogel que possa ter comprometido a aeração dos poros.

Outro fator é que Segundo Taiz; Zeiger (2013) há a inibição da síntese de clorofila “a” na medida em que há alta concentração de sais na folha. Caso não haja inibição, há aceleração da sua degradação, justificando assim a queda das quantidades de clorofila aos 98 dias (Figura 26). Aos 98 dias na dose 2,4 g Kg<sup>-1</sup> foi onde se obteve o maior acúmulo de Na na folha, havendo assim a inibição da síntese de clorofila a, justificando a drástica redução.

Aos 34 dias há redução da clorofila “b” até a dose de hidrogel 1,2 g Kg<sup>-1</sup> com posterior aumento (Figura 27). Essa resposta pode ser explicada pelo fato de que a planta iniciou o acúmulo de Na<sup>+</sup> na folha e, com isso, houve a inibição da clorofila “b”, porém a partir da dose 2,4 g Kg<sup>-1</sup> a planta iniciou um processo de adaptação ao estresse acarretado pelo Na na folha, com isso aumentando a quantidade de clorofila b. Autores como (IBARRA; MAITI, 1995) relatam que a elevada concentração de sais leva à degradação de clorofilas via atividade clorofilase e, conseqüentemente, diminui a sua síntese em virtude da competição por nitrogênio com outros compostos, como prolina.

Segundo Costa (2014) Sob condições de estresse, as plantas podem sofrer mudanças no conteúdo dos pigmentos fotossintéticos (clorofila a,b e carotenoides), através da indução de mecanismos bioquímicos e estruturais de resistência nas plantas. Provavelmente foi o que ocorreu aos 34 dias na dose 2,4 g Kg<sup>-1</sup>, ocorrendo a adaptação das plantas de *A. nummularia* ao estresse do Na na folha, possibilitando assim o aumento de clorofila b.

Figura 27 – Clorofila b de *A. nummularia* de acordo com as diferentes doses de hidrogel



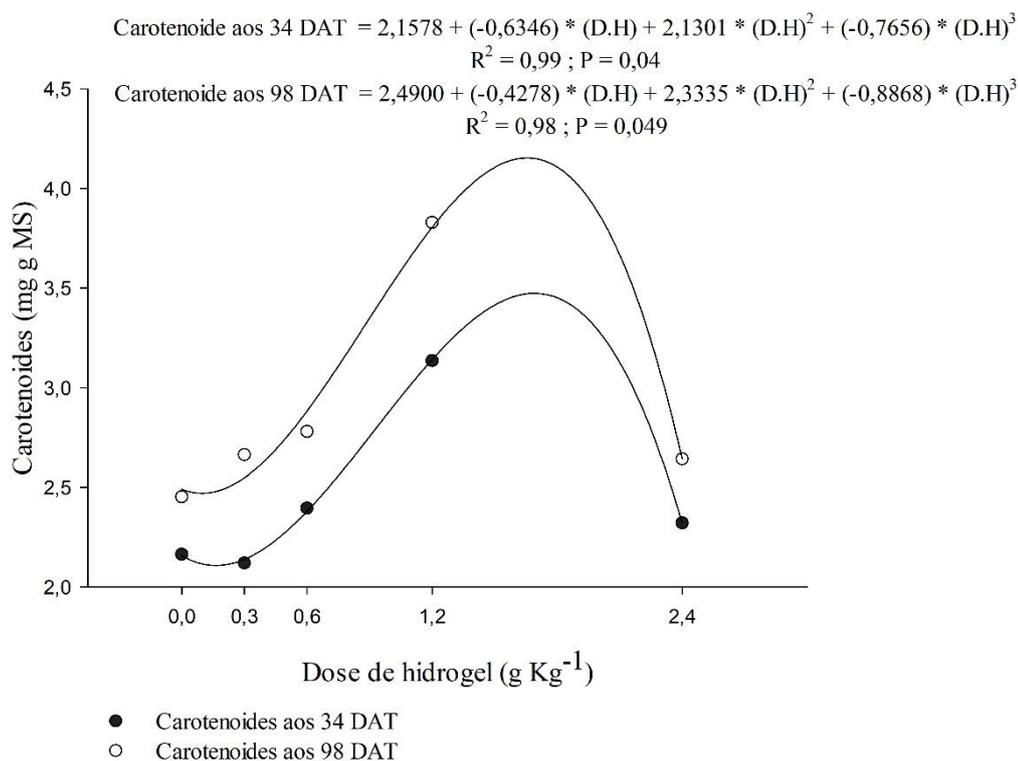
Fonte – Autor, 2018.

O aumento da clorofila “b” aos 98 dias pode ser explicado pelo fato da *A. nummularia* fazer o ajustamento osmótico de Na<sup>+</sup> no mesofilo foliar. Contudo, o acúmulo de Na<sup>+</sup> nas plantas na dose de hidrogel 2,4 g Kg<sup>-1</sup> foi o maior (Figura 14) e, com isso, pode ter afetado a capacidade da planta em fazer este ajuste, acarretando a redução da clorofila “b” (Figura 27).

Segundo Silveira et al. (2010), a redução na biossíntese de clorofilas também pode ser uma resposta aclimatativa ao estresse no sentido de economia de energia e menor captação de energia luminosa. Tendo em vista que as folhas, na dose 2,4 g Kg<sup>-1</sup> aos 98 dias após o transplântio, foram obstruídas pelos cristais de Na acumulado no limbo foliar, houve a redução na biossíntese de clorofila b nesta dose.

Tanto aos 34 dias após o transplântio como aos 98 DAT houve aumento de carotenoides na *A. nummularia*, havendo redução na dose de hidrogel 2,4 g Kg<sup>-1</sup> (Figura 28).

Figura 28 – Carotenoides de *A. nummularia* de acordo com as doses de hidrogel.



Fonte – Autor, 2018.

Segundo Melo (2017) o aumento na produção de carotenoides está associado a mecanismos de proteção do complexo da antena, devidos eles atuarem como agentes protetores de reações oxidativas nas clorofilas. O comportamento da figura 28 pode ser explicado pelo fato de que com o excesso de Na acumulado na folha (Figura 14), visando manter os níveis de clorofila elevado, houve um aumento na produção de carotenoides. Segundo Munns e Tester (2008), o estresse salino provoca degradação do betacaroteno proporcionando decréscimo no teor de carotenoides. Na dose 2,4 g Kg<sup>-1</sup> tendo em vista que a concentração de Na<sup>+</sup> foi alta, ocorreu a degradação dos carotenoides tanto aos 34 como 98 dias após o transplantio.

## 5 CONCLUSÕES

1 – A utilização do hidrogel possibilitou o aumento na capacidade de fitoextração da *A. nummularia*, refletindo na redução da CE do solo. Contudo, parâmetros como PST e Na no solo não foram afetados pelas doses de hidrogel.

2 – A dose de hidrogel que permitiu maior fitoextração e acúmulo de cátions na biomassa da *A. nummularia* foi a de 2,4 g Kg, com destaque para o Na que foi o cátion que teve maior acúmulo nas folhas nesta dose.

3 - O aumento das doses de hidrogel não possibilitou aumento na altura da planta e no diâmetro do caule de *A.nummularia*, contudo houve o aumento da biomassa foliar.

4 – A dose 2,4 g Kg<sup>-1</sup> de hidrogel possibilitou a maior adaptação da *A. nummularia* ao estresse salino e, conseqüentemente, houve melhor desempenho em parâmetros de fisiológicos como fotossíntese líquida (*A*), eficiência do uso da água (*EUA*), eficiência instantânea de carboxilação (*EIC*). Contudo, a dose 1,2 g Kg<sup>-1</sup> foi a que resultou em melhor desempenho para a condutância estomática (*gs*) e transpiração (*E*).

5 – A dose 1,2 g Kg<sup>-1</sup> foi a que atenuou mais os efeitos deletérios do Na<sup>+</sup> nas clorofilas “a” e “b”, bem como nos carotenoides.

## 6 REFERÊNCIAS

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, S. *Atriplex nummularia* (Old Man Saltbush): A potential forage crop for arid regions of Botswana. *Pakistan Journal of Nutrition*, v.2, n.2, p.72-75, 2003

AGUIAR, M. J. N.; VIANA; T. V. A.; AGUIAR, J. V.; LIMA, J. B.; CRISÓSTOMO JÚNIOR, R. R.; AQUINO, F. C.; CARNEIRO, F. A.; BARRETO, J. H. C. Dados Climatológicos: Estação de Fortaleza, 2001. Embrapa Agroindústria Tropical. Fortaleza, n. 61, 2002.

ALMEIDA, B. G. Métodos alternativos de determinação de parâmetros físicos do solo e uso de condicionadores químicos no estudo da qualidade do solo. Piracicaba: ESALQ/USP, 2008. 105p. Tese Doutorado

ALVES, J. N.; ARAÚJO, G. G. L.; PORTO, E. R.; CASTRO, J. M.; SOUZA, L. C. Feno de erva sal (*Atriplex nummularia* Lindl.) e palma forrageira (*Opuntia ficul* Mill.) em dietas para caprinos e ovinos. *Revista científica de produção animal*, v.9, n.1, p.9- 16, 2007.

AMORIM, J. R. DE A.; FERNANDES, P. D.; GHEYI, H. R.; AZEVEDO, N. C. de. Efeito da salinidade e modo de aplicação da água de irrigação no crescimento e produção de alho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.37, p.167- 176, 2002.

AOUADA, F. A.; MOURA, M. R.; MENEZES, E. de A.; NOGUEIRA, A. R. de A.; MATTOSO, L. H. C. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, V. 32, N. 4, p. 1643-1649, 2008.

ARAÚJO, S. A. M.; SILVEIRA, J. A. G.; ALMEIDA, T. D.; ROCHA, I. M. A.; MORAIS, D. L.; VIÉGAS, R. A. Salinity tolerance of halophyte *Atriplex nummularia* L. grown under increasing NaCl levels. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 10, n. 4, p. 848-854, 2006.

ASHRAF, M. Biotechnological approach of improving plant salt tolerance using antioxidants as markers. *Biotechnology Advances*, v.27, p.84-93, 2009

ASHRAF, M.; AKRAM, N. A. Improving salinity tolerance of plants through conventional breeding and genetic engineering: An analytical comparison. *Biotechnology Advances*, v.27, p.744-752, 2009.

AZEVEDO, T. L. F.; BERTONHA, A.; GONÇALVES, A. C. A. Uso do hidrogel na agricultura. *Revista do Programa de Ciências Agro-Florestais, Alta Floresta*, v. 1, n. 1, p. 23-31, 2002.

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

BARROSO, D.D.; ARAÚJO, G.G.L.; SILVA, D.S.; MEDINA, F.T. Resíduo desidratado de vitivinícolas associado a diferentes fontes energéticas na alimentação de ovinos: consumo e digestibilidade aparente. *Revista Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v.30, n.4, p.767-773, jul./ago. 2006.

BARVENIK, F. W. Polycrylamide characteristics related to soil applications. *Soil Science*, v.158, p.235-243, 1994.

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*, Amsterdam, v. 51, p. 65-73, 2004.

BENZARTI, M.; REJEB, K. B.; DEBEZ, A.; MESSEDI, D.; ABDELLY, C. Photosynthetic activity and leaf antioxidative responses of *Atriplex portulacoides* subjected to extreme salinity. *Acta Physiologiae Plantarum*, v. 34, p. 1679-1688, 2012.

BERNARDO, S. Manual de irrigação. 6ª ed. rev. e ampl. Viçosa: UFV, Imprensa Universitária, 1995, 657 p.

BONILLA, O. H.; TABOSA, J. N.; GALINDO, F. A. T.; AZEVEDO NETO, A. D. de. *Atriplex* – Nova forrageira para solos salinizados no semiárido nordestino. Recife: IPA, 2000. 25p.

CAVALCANTE, L. F. et al. Fontes e níveis da salinidade da água na formação de mudas de mamoeiro cv. Sunrise solo. *Semina: Ciências Agrárias*, v.31, p.1281- 1290, 2010.

CHAVES, M.M.; MAROCO, J.P.; PEREIRA, J.S. Understanding plant responses to drought – from genes to the whole plant. *Functional Plant Biology*, v. 30, p. 239-264, 2003.

COSTA, N.A. Respostas ecofisiológicas e bioquímicas da erva-sal (*Atriplex nummularia* Lindl.) ao estresse salino, 81 p. São Cristóvão, 2014.

COUTINHO, H. D.; BARBOSA, A. R. Fitorremediação: Considerações gerais e características de utilização. *Silva Lusitana*, v.5, n.1, p.103-117, 2007.

D'ALMEIDA, D. M. B. A. D.; et al. Importância relativa dos íons na salinidade de um Cambissolo na Chapada do Apodi, Ceará. *Engenharia Agrícola*, v.25, n.3, p.615- 621, 2005.

GEISSLER, N.; HUSSI, S.; EL-FAR, M. M. M.; KOYRO, H. W. Elevated atmospheric CO<sub>2</sub> concentration leads to different salt resistance mechanisms in a C3 (*Chenopodium quinoa*) and a C4 (*Atriplex nummularia*) halophyte. *Environmental and Experimental Botany*, v. 118, p. 67-77, 2015.

MANUAL DE MÉTODOS DE ANÁLISE DE SOLO / PAULO CÉSAR TEIXEIRA et al., editors técnicos. – 3. ed. rev. e ampl. – Brasília, DF : Embrapa, 2017.

ERDEI, L.; KUIPER, P. The effect of salinity on growth, cation content, Na uptake and translocation in salt-sensitive and salt-tolerant *Plantago* species. *Plant Physiology*, Rockville, v.47, n.1, p.95-99, 1979.

FERREIRA, R. G.; et al. Distribuição da matéria seca e composição química das raízes, caule e folhas de goiabeira submetida a estresse salino. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 36, n. 1, p. 79-88, 2001.

FLOWERS, T. J.; COLMER, T. D. Salinity tolerance in halophytes. *New Phytologist*, v.179, p.945-963, 2008

FREIRE, M. B. G. S. & FREIRE, F. J. Fertilidade do solo e seu manejo em solos afetados por sais. In: NOVAIS, R. F.; et al. (ed.). *Fertilidade do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p. 929-954. 2007.

FREIRE, M.G.S.; SOUZA, E.R.; FREIRE, F.J. Fitorremediação de solos afetados por sais. In: Gheyi, H.R.; Dias, N.S.; Lacerda, C.F. *Manejo da salinidade na agricultura*. Fortaleza,

INCT Sal, 2010.472 p.

FREIRE, M. B. G. S.; SOUZA, E. R.; FREIRE, F. J. Fitorremediação de solos afetados por sais. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados. Fortaleza, INCT Sal, 2010. p. 472.

GLENN, E. P.; BROWN, J. J.; BLUMWALD, E. Salt tolerance and crop potential of halophytes. *Critical Reviews in Plant Sciences*, v. 18, n. 2, p. 227-255, 1999.

GLENN, E.; MIYAMOTO, M.; MOORE, D.; BROWN, J.J.; THOMPSON, T.L.; BROWN, P. Water requirements for cultivating *Salicornia bigelovii* Torr. on sand in a coastal desert environment. *Journal on Arid Environment*, Tucson, v.36, n.3, p.711-730,1997.

GREENWAY. H.: MUNNS. R. Mechanism of salt tolerance in nonhalophytes. *Annual review of plant physiology*, v. 20, p.149 – 155, 1980.

HENDERSON, J.C.; HENSLEY, D.L. Efficacy of a hydrophilic gel as a transplant aid. *Horticulture Science*, v.21, n.4, p.991-992, 1986.

HEATON, J.W.; MARANGONI, A.G. Chlorophyll degradation in processed foods and senescent plant tissues. *Trends in Foods Science & Technology*, v.7, p.8-15, 1996.

JAIMEZ, R. E. et al. Seasonal variations in leaf gas exchange of plantain cv. 'Hartón' (Musa AAB) under different soil water conditions in a humid tropical region. *Scientia Horticulturae*, Amsterdam, v. 104, n. 1, p. 79-89, 2005.

KAEWPIROM, S.; BOONSANG, S. Electrical response characterisation of poly (ethylene glycol) macromer (PEGM)/chitosan hydrogels in NaCl solution. *European Polymer Journal*. v.42, p.1609-1616, 2006.

KELLY, H. J. The cultivation of salt-bush for fodder in time of drought. *Agricultural Gazette of New South Wales*, v.14, p.1001-1002, 1982.

KORNDORFER, G. H. Elementos benéficos. In: Fernandes, M. S. Nutrição mineral de plantas. Viçosa: SBCS, 2007. cap.14, p.355-370

KRUŠIĆ, K.; MILOSAVLJEVIĆ, N. B.; FILIPOVIĆ, J. M. Preparation and characterization of pH-sensitive hydrogels based on chitosan, itaconic acid and methacrylic acid. *Polymer International*, Londres, v. 60, n. 3, p. 443-452, 2011.

LAMONT, G.P.; O'CONNELL, M.A. Shelf-life of bedding plants as influenced by potting media and hydrogels. *Scientia Horticulturae*, v.31, p.141-149, 1987.

LARCHER, W. *Ecofisiologia vegetal*. 1.ed. São Carlos: Rima, 2006. 531 p.

LARCHER, Walter. *Ecofisiologia vegetal*. 3. ed. São Carlos: RiMa, 2004. 531p.

LEAL, I. G. et al. Fitorremediação de solo salino sódico por *Atriplex nummularia* e gesso de jazida. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, n. 03, p. 1065-1072, 2008

LINDLEY, J.; MITCHELL, T. L. *Atriplex nummularia* Lindl. *Journal of an Expedition into the Interior of Tropical Australia*, n. 6132, 1848.

MANUAL DE MÉTODOS DE ANÁLISE DE SOLO / PAULO CÉSAR TEIXEIRA ... [et al.], editores técnicos. – 3. ed. rev. e ampl. – Brasília, DF : Embrapa. 573p, 2017.

MARQUES, P. A. A.; BASTOS, R. O. Uso de diferentes doses de hidrogel para produção de mudas de pimentão. *Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia*, Londrina, v. 3, n. 2, p. 53-57, 2010.

MATTOS, C. W. Associação de palma forrageira (*Opuntia fícus-indica* Mill.) e feno de erva-sal (*Atriplex nummularia* L.) em dietas para cordeiros Santa Inês em confinamento. 101f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2009.

MELO, H. F. DE; SOUZA, E. R. DE; CUNHA C. J. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v.21, n.4, p.232-237, 2017

MIRANDA, M. A.; OLIVEIRA, E. E. M. DE, SANTOS, K. C. F. DOS; FREIRE, M. B. G. S.; ALMEIDA, B. G. de. Condicionadores químicos e orgânicos na recuperação de solo salino-sódico em casa de vegetação. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.15, p.484-490, 2011.

MONTENEGRO, S.M.G.L; COSTA,W.D. Água subterrânea: Aquíferos costeiros e aluviões, vulnerabilidade e aproveitamento. Tópicos especiais em recursos hídricos. Recife, Universidade Federal de Pernambuco, 2004. v.4. 447p

MUNNS, R. Comparative physiology of salt and water stress. Plant, Cell and Environment. v. 25. p.239-250, 2002

MUNNS, R. and TESTER, M. (2008) Mechanisms of Salinity Tolerance. Annual Review of Plant Biology, 59, 651-681, 2008.

OBRAS contra as secas: objetivos, programas, ação da Inspeção, resultados. Boletim da Inspeção Federal de Obras Contra as Secas, Rio de Janeiro, v. 10, n. 2, p. 157- 197, 1938.

OH, D-H.; GONG, Q.; ULANOV, A.; ZHANG, Q.; LI, Y.; MA, W. YUN, D-J.; BRESSAN, R. A.; BOHNERT, H. J. Sodium stress in the halophyte *Thellungiella halophila* and transcriptional changes in a thsos1-RNA interference line. Journal of Integrative Plant Biology, v.49, p.1484- 1496, 2007.

OLIVEIRA, A, S. Trocas gasosas e crescimento de *Atriplex nummularia* Lindl. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 21, n. 1, p. 32-37, 2017.

OLIVEIRA, A. S. L. de Trocas gasosas e crescimento de *Atriplex nummularia* Lindl irrigada com água proveniente de rejeito salino / Aline Sheyla Leal de Oliveira. - Serra Talhada, 2017

OSMOND, C. B.; BJORKMAN, O.; ANDERSON, D. J. Physiological Processes in Plant Ecology: Toward a Synthesis with *Atriplex*. Springer-Verlag, New York, v. 36, 1980.

PARIDA, A.K.; DAS, A.B. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review.  
PORTO E. R.; ARAÚJO G. G. Uso da Erva-Sal (*Atriplex nummularia*) como forrageira irrigada com água salobra. EMBRAPA SEMIÁRIDO. (Circular Técnica nº 53). Petrolina, PE. 2005.

PORTO, E. R. *et al.* Rendimento da *Atriplex nummularia* irrigada com efluentes da criação de tilápia em rejeito da dessalinização de água. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 10, n. 01, p. 97-103, 2006.

PORTO, E. R.; AMORIM, M. C. C. de; DUTRA, M. T.; PAULINO, R. V.; BRITO, L. T. L.; MATOS, A. N. B. Rendimento da *Atriplex nummularia* irrigada com efluentes da criação de tilápias em rejeito da dessalinização de água. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.10, n.1, p.97-103, 2006.

PORTO E. R; ARAÚJO G. G. L. Uso da Erva-Sal (*Atriplex nummularia*) como forrageira irrigada com água salobra. Petrolina, PE: Embrapa Semiárido, 2000.

QADIR, M.; GHAFOR, A. & MURTAZA, G. Use of saline- sodic waters through phytoremediation of calcareous saline-sodic soils. Agric. Water Manag., 50:197-210, 2001.

QADIR, M.; OSTER, J. D.; SCHUBERT, S.; NOBLE, A. D.; SAHRAWAT, K.L. Phytoremediation of sodic and saline-sodic soils. Advances in Agronomy, v.96, p.197-247, 2007.

QADIR, M.; QURESSHI, R.H. & AHMAD, N. Horizontal flushing: A promising ameliorative technology for hard saline-sodic and sodic soils. Soil Till. Res., 45:119-131, 1998

RAVINDRAM, K. C.; VENKATESAN, K.; BALAKRISHNAN, V.; CHELLAPPAN, K. P.; Balasubramanian, T. Restoration of saline land by halophytes for Indian soils. *Soil Biology and Biochemistry*, v.39, p.2661-2664, 2007.

RIBEIRO, M. R.; BARROS, M. F. C.; FREIRE, M. B. G. S. Química dos solos salinos e sódicos. In: MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. (eds.). *Química e mineralogia do solo. Parte II – Aplicações*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.449-484, 2009.

RICHARDS, L. A. Physical conditions of water in soil. In: BLACK, C. A.; EVANS, D. D.; ESNMINGER, L. E.; CLARK, F. E. (Ed.). *Methods of soil analysis: part 1: physical and mineralogical properties*. Madison: American Society of Agronomy, 1965. p. 128-152.

SAGE, R. F. The evolution of C4 photosynthesis. *New Phytologist*, v.161, p.341-370, 2004.

SANTOS, M. A., FREIRE, M. B. G. S., ALMEIDA, B. G., LINS, C. M. T., SILVA, E. M. Dinâmica de íons em solo salino-sódico sob fitorremediação com *Atriplex nummularia* e aplicação de gesso. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.17, n.4, p. 397–404, 2013.

SILVA, J. L. A.; ALVES, S. S. V.; NASCIMENTO, I. B.; SILVA, M. V. T.; MEDEIROS, J. F. 2011. Evolução da salinidade em solos representativos do Agropólo Mossoró-Assu cultivado com meloeiro com água de diferentes salinidades. *Agropecuária Científica no Semiárido*, v.7, n.4, p.26-31.

SILVA, E.C.; NOGUEIRA, R.J.M.C.; ARAÚJO, F.P de.; MELO N.F de.; AZEVEDO NETO, A.D. Physiological responses to salt stress in young umbu plants. *Environmental and Experimental Botany*, v.63, n. 1/3, p. 147-157, 2008.

SILVEIRA, J. A. G.; SILVA, S. L. F.; SILVA, E. N.; VIÉGAS, R. A.; Mecanismos biomoleculares envolvidos com a resistência ao estresse salino em plantas. In: GHEY, H. R.;

DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados, Eds. Fortaleza, INCT Sal, 2010. p. 161-180.

SISTEMA BRASILEIRO DE CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS / HUMBERTO GONÇALVES DOS SANTOS ... [et al.]. – 5. ed., rev. e ampl. – Brasília, DF : Embrapa, 2019.

SMITH, A. P.; CHEN, D.; CHALK, P. M. N<sub>2</sub> fixation by faba bean (*Vicia faba* L.) in a gypsum-amended sodic soil. *Biology and Fertility of Soils*, v.45, p.329-333, 2009.

SOUTO, J. C. R.; ARAÚJO, G. G. L.; SILVA, D. S. Performance of sheep fed diets with increasing levels of herb salt hay (*Atriplex nummularia* Lindl.). *Revista Ciência Agronômica*, Fortaleza, v. 36, p. 376-381, 2005.

SOUZA, E. R.; FREIRE, M. B. G.; DOS S., NASCIMENTO, C. W. A.; MONTENEGRO, A. A. A.; FREIRE, J. F.; MELO, H. F. Fitoextração de sais pela *Atriplex nummularia* Lindl. sob estresse hídrico em solo salino sódico. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, n.5, p.477-483, 2011.

SOUZA, E. R.; MONTENEGRO, A. A. A.; FREIRE, M. B. G. DOS S. Evolução e variabilidade espacial da salinidade em Neossolo Flúvico cultivado com cenoura sob irrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.12, p.584-592, 2008.

SOUZA, E. R. Fitorremediação de Neossolo Flúvico salino sódico de Pernambuco com *Atriplex nummularia*. 2010. 68 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife

SOUZA, E. R. DE FREIRE, MARIA B. G. DOS S. NASCIMENTO, CLÍSTENES W. A. DO MONTENEGRO, ABELARDO A. DE A. FREIRE, F. J. MELO. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* v.15, n.5, p.477–483, 2011

TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia vegetal*. 5 ed. Porto Alegre: ArtMed, 2013. 954 p.

TESTER, M., DAVENPORT, R. Na<sup>+</sup> tolerance and Na<sup>+</sup> transport in higher plants. *Annals of Botany*, v.91, p.503-527, 2003.

VLACH, T.R. Creeping bentgrass responses to water absorbing polymers in simulated golf greens (on line). Wisconsin, Aug. 1991.

VON CAEMMERER, S.; FURBANK, R.T. The C<sub>4</sub> pathway: an efficient CO<sub>2</sub> pump. *Photosynthesis Research*, v.77, p.191-207, 2003.

WANDERLEY, R. A. Salinização de solos sob aplicação de rejeito de dessalinizadores com e sem adição de fertilizantes. 52 f. (Dissertação de Mestrado) – Universidade de Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2009.

WELLBURN, A.R. The Spectral Determination of Chlorophylls a and b, As Well As Total Carotenoids, Using Various Solvents with Spectrophotometers of Different Resolution. *Journal Plant Physiology*, 144, 307-313, 1994.

ZHU, J. K. Plant salt tolerance. *Trends in Plant Science*, v. 06, n. 02, p. 66-71, 2001.