

FITOEXTRAÇÃO DE SAIS ATRAVÉS DE ESTRESSE SALINO POR *ATRIPLEX NUMMULARIA* EM SOLO DO SEMIÁRIDO PARAIBANO

Ozires Talysson Batista de Lima Pequeno¹, Jéssika Lorena Bandeira Cruz da Silva² Ilza Maria do Nascimento Brasileiro^{3*}

¹Discente do curso de Engenharia de Biotecnologia e Bioprocessos da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). E-mail: ozirestalysson@gmail.com

²Bolista PIBIC/CNPq/UFCG, Discente do curso de Engenharia de Biotecnologia e Bioprocessos da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

³Professora Doutora, Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido, Universidade Federal de Campina Grande.

*Correspondência: Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina Grande (CDSA - UFCG), Rua Luiz Grande, CEP 58540-000, Sumé, Paraíba, Brasil. e-mail: ilzabras@hotmail.com.

RESUMO

O solo é um sistema de fundamental importância para o planeta, pois é vital para qualquer cadeia alimentar, para a qualidade do ar e da água, mas nas últimas décadas é afligido por ações adversas, como o acúmulo de sais no solo, prejudicando a produtividade e o equilíbrio ambiental. A *Atriplex nummularia* da família Chenopodiaceae originária da Austrália, surge como fonte de salvação desses solos contaminados, pois se utiliza de técnicas como a fitoextração para retirar do solo esses sais. O presente trabalho tem por objetivo principal realizar uma revisão bibliográfica que aborda como avaliar o potencial da *Atriplex nummularia* como planta fitoextratora de sais no solo do semiárido paraibano através de estresse hídrico. A salinidade é um dos principais problemas que as plantas enfrentam isso reflete significativamente na queda do rendimento da cultura, estes tipos de problemas são originários em solos que foram utilizados de forma inadequada no manejo na irrigação. Existem técnicas aplicadas à recuperação de solos salinos, a fitoextração consiste na transferência do sal no solo pelas raízes até a parte superior da planta, onde é removida do ambiente poluído. As plantas halófitas, elas desenvolvem em solos que tenha concentrações de sais, o gênero *Atriplex* é uma espécie que tem essa adaptação a solos semiáridos, além de ser utilizada como fonte secundária de forragem para o gado. Por meio dessa revisão literária foi possível observar que a utilização de plantas halófitas, como a do gênero *Atriplex*, se torna possível e de extrema importância para a região semiárida.

Descritores: Salinidade, *Atriplex*, plantas, fitorremediação.

PHYTOEXTRACTION OF SALT THROUGH THE SALINE STRESS BY *ATRIPLEX NUMMULARIA* IN THE SOIL OF THE SEMI-ARID OF PARAIBA

ABSTRACT

The soil is a system of fundamental importance for the planet, it is vital for any food chain, to the quality of air and water, but in recent decades is afflicted by adverse actions, such as the accumulation of salts in the soil, which harm productivity and environmental balance. The *Atriplex nummularia* typical family of Chenopodiaceae Australia arises as a source of salvation these contaminated soils, which uses techniques such as phytoextraction to remove soil such salts. This study's main objective is to review literature that addresses how to assess the potential of *Atriplex nummularia* as plant fitoextratora of salts in the soil of semiarid Paraíba by water stress. Salinity is a major problem that plants face, that significantly reflects the drop in crop yield; these types of problems originate in soils that were used inappropriately for irrigation management. There are techniques used to recover saline soils, phytoextraction is the transfer of the salt into the soil by the roots to the upper parts of the plant where it is removed from the polluted environment. The halophytes, they thrive in soil that has concentrations of salts, the genus *Atriplex* is a species that has adapted to this semi-arid soils, besides being used as a secondary source of fodder for livestock. Through this literature review it was observed that the use of halophytes such as the *Atriplex* genus becomes possible and extremely important for the semiarid region.

Keywords: Salinity, *Atriplex*, plants, phytoremediation.

INTRODUÇÃO

O solo deve ser compreendido como um sistema vivo e vital à manutenção de qualquer cadeia alimentar. A saúde do solo está atrelada a sua capacidade em fornecer nutrientes que, dentro dos limites dos ecossistemas e do uso da terra, possam sustentar a produtividade vegetal e animal, mantendo ou melhorando a qualidade do ar e da água. Entretanto, devido a condições naturais específicas combinadas ou a ações antrópicas mal implementadas, esse potencial mantenedor do solo fica comprometido, causando improdutividade e desequilíbrio ecológicos, por vezes irreversíveis (1). Entre os inúmeros processos responsáveis pelo desequilíbrio do meio ambiente, aqueles que contaminam o solo figuram como os principais. Existe uma variedade de agentes de contaminação entre os quais estão os sais, que ocorrem em excesso predominantemente nas regiões áridas e semiáridas (2).

A salinização do solo é um dos problemas mais graves que tem crescido substancialmente no mundo, em especial nas regiões áridas e semiáridas, cuja principal causa é o manejo incorreto da água de irrigação. De acordo com dados da FAO (3), estima-se que aproximadamente dos 230 milhões de hectares de terras irrigadas no mundo, 44 milhões de hectares são afetados por sais (19,55%). No Brasil, estes solos são comumente encontrados no Nordeste, onde 20 a 25% das áreas irrigadas apresentam problemas de salinidade e/ou drenagem (4). Os problemas de excesso de sais em solos são conhecidos há muito tempo, mas sua magnitude e intensidade têm aumentado, resultando na expansão alarmante da área de solos degradados por salinidade e sodicidade. Estes problemas são consequências do uso de terras marginais e do manejo inadequado da irrigação (5). Os efeitos da salinidade e da sodicidade são responsáveis pela degradação ambiental em regiões de baixo aporte hídrico e altas temperaturas, pois prejudicam e/ou alteram as características do solo, como também o desenvolvimento dos vegetais (6). Implicações práticas dos efeitos danosos dos altos teores de sais sobre os solos são a perda da fertilidade e das propriedades físicas (7). Com isso, a produtividade agrícola está intimamente atrelada às condições físico-químicas dos mais diversos tipos de solo. Assim, altas concentrações de sais solúveis e/ou sódio prejudicam e interferem na movimentação de sais e água no sistema solo-planta, devido à ação direta sobre o potencial osmótico e íons potencialmente tóxicos (8-11).

Desse modo, fomentar formas de recuperação desses solos contribui para a melhoria da produtividade e sustentabilidade dos sistemas de manejo (12). Assim, práticas de manejo mais apropriadas para controlar a salinidade dos solos em longo

prazo tornam-se fundamentais em um programa de cultivo de solos afetados por sais, principalmente visando à sustentabilidade, além de constituírem alternativas de uso e recuperação do solo. As práticas de recuperação e de manejo eficientes devem ser adotadas, já que o uso desses solos para a agricultura é valioso e não pode ser negligenciado (13). Dentre as técnicas de recuperação de solos salino-sódicos, a aplicação de corretivos químicos e a lavagem do solo são bastante utilizadas, por atuarem diretamente na correção dos problemas desses solos em relação às plantas (14,15). Possíveis alternativas fornecidas por (16) para recuperação, como o uso de vegetação halófitas, aplicação de corretivos químicos e orgânicos e remediação mecânica, utilizando escavação e remoção do solo afetado por sais.

O uso de vegetação halófitas fundamenta-se na fitoextração, que é uma técnica de fitorremediação que utiliza espécies de plantas que absorvem e acumulam o sódio na parte aérea, a qual pode ser removida e usada para fins. Segundo (13) afirmam que a fitoextração é uma estratégia eficiente de recuperação de solos salinos sódicos, com desempenho comparável à utilização de corretivos químicos. Dessa forma, a fitoextração de sais solúveis utilizando plantas halófitas é uma alternativa de baixo custo para recuperação de solos salinos (17). Segundo conclusões de (18) a fitoextração revela efeitos de recuperação comparáveis aos da aplicação de gesso, esterco de curral ou água de irrigação tratada com ácido sulfúrico.

As pesquisas acerca da salinidade dos solos, bem como sobre o aproveitamento dos recursos hídricos em áreas áridas e semiáridas não podem se tornar uma fenda, haja vista a necessidade de maiores estudos e intervenções a respeito de como promover a remediação e a implementação de culturas em territórios propensos a estresses abióticos (1). Diante do exposto, o presente trabalho tem por objetivo principal realizar uma revisão bibliográfica que aborda como avaliar o potencial da *Atriplex nummularia* como planta fitoextratora de sais no solo do semiárido paraibano através de estresse hídrico.

DESENVOLVIMENTO

Característica e a causa da Salinidade

A salinidade ocorre com mais frequência em regiões áridas e semiáridas, caracterizadas pelo baixo índice de precipitação e pela alta taxa de evapotranspiração (19-21). As áreas salinas no Brasil localizam-se principalmente no Nordeste, especificamente nos perímetros de irrigação, perfazendo 56% da área total da região semiárida (22,23).

Ambientes salinos são caracterizados por elevadas concentrações de sais solúveis (24). Podendo ser ambientes aquáticos, como os oceanos e lagos, ou terrestres, tanto em áreas úmidas e áridas costeiras ou continentais que podem ser de origem natural ou antropogênica (25). O termo salinidade refere-se à existência de sais solúveis no solo que podem prejudicar significativamente o rendimento das plantas cultivadas (26-29). Os sais acumulam-se na zona radicular, em concentrações elevadas, suficientes para restringir a absorção de água pela planta. Isso pode provocar estado de deficiência hídrica, e causar sintomas muito semelhantes aos provocados pela estiagem (30,31).

A Salinidade do Solo

A salinidade do solo, é resultante de processos naturais ligados às suas características físico-químicas e das técnicas de manejo a ele aplicado, ocorre em aproximadamente 10% da superfície terrestre. É comum o surgimento em áreas irrigadas onde as técnicas não visam à aplicação suficiente de água e conservação da capacidade produtiva dos solos bem como a aplicação excessiva de fertilizantes (19,21,32). O excesso de sais de sódio, afeta as propriedades físicas e químicas do solo, pois o íon Na^+ reduz a atração eletrostática entre as partículas do solo, aumenta a espessura da dupla camada iônica difusa, proporcionando a fragmentação das partículas, causando a expansão e dispersão da argila (6,13,33-35).

O efeito dos sais sobre o solo ocorre basicamente pela interação eletrolítica existente entre os sais e a argila. A característica principal deste efeito é a dispersão da argila, devido à predominância de cargas negativas, de íons sódio e das forças repulsivas na dupla camada difusa. Este fenômeno reduz a floculação e a estabilidade de agregados do solo, reduzindo sua porosidade e capacidade de retenção e infiltração de água no solo (36). Com isso, os solos salino-sódicos e solos sódicos, por serem ricos em sódio trocável, não devem ser recuperados apenas com a lavagem (37). Para a utilização de solos com excesso de sais, com vistas à produção agrícola ou florestal, é necessária a aplicação de práticas de correção, que podem se constituir na lixiviação de sais e/ou, na aplicação de corretivos químicos (38). Nesse sentido, a recuperação dos solos sódicos e salino-sódicos tem como finalidade transformá-los em solos salinos e em seguida, em solos normais ou não salinos, isto é, que não ofereçam riscos de sais ao ponto de prejudicarem severamente a germinação das sementes, o crescimento e a produção das plantas cultivadas (37).

A utilização de culturas no melhoramento de solos salinos e/ou salino-sódicos representa uma alternativa econômica e sustentável, porque além de reduzir níveis críticos de sais no solo podem ser aproveitados para outras funções como a proteção contra erosão do solo e produção de ração para animais (13,17,39-42). Os mecanismos de melhoramento de solos poluídos com altos teores de sais, mediante o uso de espécies estão baseados no potencial que apresentam as raízes de algumas espécies para hiperacumular determinados íons, removendo-lhes do solo (41).

O Efeito da Salinidade nas Plantas

O solo salino, dependendo do grau de salinização e do tipo de planta, pode impedir a sobrevivência da mesma. Os efeitos da salinidade sobre o crescimento das plantas refletem-se principalmente sobre a altura, a área foliar e o acúmulo de matéria fresca e matéria seca tanto da parte aérea como das raízes, os quais, em conjunto podem inclusive levar a morte das mesmas. Tais efeitos são reflexos, dentre outros fatores, de reduções na fotossíntese, respiração, transpiração e translocação, além de um desbalanço hídrico e/ou iônico no interior da planta (25,43). Como resultado, ocorrem decréscimos no crescimento e na produtividade, no desenvolvimento de vacúolos, modificações no retículo endoplasmático, diminuição das cristas mitocôndrias, fragmentação do tonoplasto e degradação do citoplasma, devido à combinação do meio vacuolar com o citoplasmático (44). A salinidade pode inibir o crescimento das plantas através do acúmulo excessivo de íon no tecido vegetal, ocasionando toxicidade iônica, desequilíbrio nutricional e mudanças nas relações hídricas, essa por sua vez, pode causar dois tipos de estresse nos tecidos das plantas: osmótico e iônico (19,45). A inibição do crescimento por longos períodos de exposição pode resultar de efeitos osmóticos sobre a disponibilidade hídrica, redução na assimilação líquida de CO₂, efeitos iônicos específicos, ou desbalanço iônico devido à interferência na absorção de íons nutrientes essenciais (25).

As plantas superiores podem ser classificadas basicamente em dois tipos: halófitas, plantas que se desenvolvem naturalmente em solos com elevada concentrações salina; e glicófitas, aquelas que não são capazes de crescer e se desenvolver em elevadas concentrações salinas (46). A espécie halófita tem sido estudada principalmente no âmbito de tolerância à salinidade do solo; no entanto, pela característica de adaptação a ambientes de clima árido e semiárido, faz-se necessário avaliar, também, o desempenho dessa espécie quanto à tolerância a baixos teores de água no solo (12).

Características da Erva-Sal (*Atriplex nummularia* Lindl.)

A família Chenopodiaceae compreende mais de 100 gêneros e 1.490 espécies, incluindo ervas e arbustos anuais ou perenes, às vezes lenhosos (47). Essas espécies são nativas em quase todo o mundo, mas sua ocorrência é mais acentuada em regiões áridas e salinas, incluindo mangues, zonas de maresia ou rochedos marinhos. Sua distribuição é espontânea com ocorrência em todos os continentes e muitas ilhas. Além disso, mais de 68 gêneros estão distribuídos em regiões litorâneas e desertos (48), sendo a *Atriplex nummularia* uma das espécies pertencentes ao gênero (49).

Taxonomicamente esta espécie apresenta a seguinte classificação (50):

- ✓ Reino: Eukaryota
- ✓ Divisão: Magnoliophyta
- ✓ Classe: Magnoliopsida
- ✓ Ordem: Caryophyllales
- ✓ Família: Chenopodiaceae
- ✓ Gênero: *Atriplex*
- ✓ Espécie: *A. nummularia* Lind.

A *Atriplex nummularia* é uma espécie originária da Austrália que tem se adaptado muito bem nas regiões semiáridas da América do Sul, em particular da Argentina, Chile, e aqui no Brasil, no Nordeste (51). As espécies do gênero *Atriplex* são de hábito arbustivo (6) apresenta folhas de 2-7 cm de comprimentos e 1-4 cm de largura, alternas, de forma arredondada. Tolerar temperaturas entre -8 e 35 °C, no entanto, temperaturas inverniais próximas ao limite podem causar a sua morte, da mesma forma, tolera valores de precipitação anual entre 49-590 mm e não tem inconvenientes em desenvolver-se em qualquer textura do solo, atingem alturas superiores a 2 metros, possui inflorescência nos terminais dos ramos, folhas verdes acinzentadas, alternas, pecioladas, ovais e arredondadas (52), com tricomas vesiculares esbranquiçados acumuladores de sal (53).

Dentre as espécies da família Chenopodiaceae aproximadamente 15% delas interessam à produção animal, sendo a *Atriplex nummularia*, a erva-sal, nome popular dado, no Brasil, às plantas do gênero *Atriplex*, uma das mais importantes como forrageira (49). A Erva-sal destaca-se pelo potencial forrageiro (54), constituindo-se como fonte alternativa de alimentos (55), podendo ser incorporado à alimentação animal na forma de feno, e com a finalidade de garantir o consumo e promover a neutralização do sal, sendo que o fornecimento deve ser aliado a outro tipo de ração (56). Sua

composição nutricional apresenta altos valores de proteína e cinza, de fácil digestão pelo bovino, ovino e caprino (52), como outros valores úteis expostos na tabela 1.

Tabela 1 – Valores nutricionais da *Atriplex nummularia*.

| Parâmetros | Valor (g/kg) |
|------------|--------------|
| Na | 69,7 |
| Ca | 5,5 |
| K | 20,3 |
| Mg | 4,6 |
| P | 2 |
| Cinza | 230 |
| Proteína | 103 |
| Fibra | 445 |
| Lignina | 90 |
| Gordura | 21,5 |

Fonte:(52).

Um fator importante quanto às espécies do gênero *Atriplex*, é que várias espécies são capazes de completar seu ciclo de vida em condições ambientais bastante prejudiciais, como a seca, altas temperaturas e alta salinidade (57), as plantas do gênero *Atriplex* são consideradas como “halófitas autênticas”, ou seja, precisam de sais (NaCl, KCl, MgCl, NaSO₄ entre outros) no solo para completarem seu ciclo de vida (58).

O desenvolvimento da Erva-sal em ambientes de característica adverso (59) é devido à sua fisiologia, que possui dois mecanismos de tolerância à salinidade, sendo capaz de acumular sais no interior das células e eliminá-los através das folhas, por meio de vesículas especializadas localizadas em sua superfície (6,53).

Teor de salinidade do solo e o Estresse salino por *Atriplex nummularia*

A salinidade é um dos estresses abióticos que mais limita o crescimento e a produtividade das plantas em todo mundo (60). Este problema é mais acentuado em regiões áridas e semiáridas (26), onde está inserida a região de escassez de água do Nordeste brasileiro, que ocupa uma extensão de 149 milhões de hectares, e possuem condições favoráveis à ocorrência de solos afetados por excesso de sais (61). Salinidade é um termo que qualifica uma situação de excesso de sais solúveis no solo ou no ambiente radicular onde as plantas estão crescendo (13,22), neste grupo de solos estão os solos salino-sódicos e solos sódicos (62,64). A classificação tradicional para estes solos foi proposta por (62), de acordo com as características de condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes), ph da pasta saturada e percentagem de sódio trocável (PST). Esta classificação apresenta os seguintes limites, como mostrado na tabela 2:

Tabela 2 – Tipos de solos e suas classificações quando a CEes, pH e PST.

| | Solos Normais | Solos Salinos | Solos Salino-Sódicos | Solos sódicos |
|-------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------|
| CEes | < 4 dS m ⁻¹ | >= 4 dS m ⁻¹ | >= 4 dS m ⁻¹ | < 4 dS ⁻¹ |
| pH | < 8,5 | < 8,5 | >= 8,5 | >= 8,5 |
| PST | <15 % | <15 % | >15 % | >= 15 % |

Fonte: (63).

O excesso de sais no solo, suscitando em um estresse salino, é reconhecidamente responsável pela promoção de efeitos negativos ao desenvolvimento da maioria das culturas (65), afetando virtualmente todos os aspectos da fisiologia e metabolismo das plantas (44).

Diante disso, as plantas podem se comportar de forma variada em relação aos limites de tolerância a salinidade (66), havendo variação de resposta de acordo com os níveis e tipos de sais, assim como entre e dentro das espécies vegetais (67). Nesse contexto, o entendimento da tolerância das plantas ao estresse salino requer uma abordagem integrada das séries de mudanças envolvendo os sistemas celular e metabólico, onde o estudo da fisiologia de plantas halófitas é importante na busca de soluções dos problemas da salinidade nos solos agrícolas (68). A tolerância das halófitas à salinidade é comentada segundo (69) que a literatura ainda é escassa em evidenciar o efeito conjunto da salinidade e do estresse hídrico no crescimento dessas plantas, já que esse efeito interativo e o entendimento de algumas respostas ecofisiológicas contribuem para o desenvolvimento de um manejo eficiente em ambientes salinos que ocorrem, especialmente, em regiões áridas e semiáridas (69).

Fitorremediação

O processo de salinização dos solos muitas vezes está relacionado com o manejo inadequado do mesmo, em especial da irrigação. Diante da necessidade de produção, diferentes técnicas podem ser aplicadas no processo de recuperação (70). Uma alternativa que vem surgindo para a recuperação de solos afetados por sais é a fitorremediação utilizando culturas halófitas (15). A fitorremediação é uma estratégia de biorremediação que consiste de procedimentos que envolvem emprego de plantas e sua microbiota associada e de amenizantes do solo, além de práticas agronômicas que se aplicadas em conjunto, removem, imobilizam ou tornam os contaminantes inofensivos ao ecossistema (71). A fitorremediação é uma estratégia eficiente de recuperação de solos salino-sódicos, com desempenho comparável à utilização de amenizantes químicos. Avaliando a fitorremediação de solos salino-sódicos chegaram

à conclusão que esta possui efeitos de recuperação comparáveis à aplicação de gesso, esterco de curral ou água de irrigação tratada com ácido sulfúrico. Concluíram ainda que a fitorremediação necessita de emprego mínimo de capital, porque nenhum investimento inicial foi realizado, diferindo dos tratamentos com melhoradores (18).

A fitorremediação pode ser compreendida em: fitoestimulação, onde as raízes em crescimento promovem a proliferação de microrganismos degradativos na rizosfera que usam os metabólitos exudados da planta como fonte de carbono e energia (72,73); Rizofiltração, mecanismo no qual se empregam plantas terrestres para absorver, concentrar e/ou precipitar os contaminantes de um meio aquoso, particularmente metais pesados ou elementos radioativos, através do seu sistema radicular (72); Fitovolatilização, onde alguns sais ou complexos de Hg, Se e As são absorvidos pelas raízes, e são convertidos em formas gasosas não tóxicas e após liberados para a atmosfera (72,71); Fitodegradação, onde os contaminantes orgânicos são degradados ou mineralizados nas células vegetais por enzimas específicas; Fitoestabilização, os contaminantes orgânicos ou inorgânicos são incorporados à lignina da parede vegetal ou a matéria orgânica do solo precipitando os metais sob formas insolúveis, sendo posteriormente complexados; E, o mecanismo mais utilizado é a fitoextração, para que se tenha sucesso a fitoextração em solos afetados por sais está sujeita a características da espécie utilizada no processo, esta deve apresentar alta taxa de acumulação de sais, preferencialmente na parte aérea, visando facilitar sua retirada quando a planta for colhida.

Para o emprego da fitoextração de solos salinos, é necessário o uso de plantas que apresentem alta taxa de acumulação de sais, preferencialmente na parte aérea, visando facilitar sua retirada quando a planta for colhida. A planta deve apresentar ainda tolerância ao excesso de sais e alta taxa de crescimento e de produção de biomassa (17). As halófitas são plantas adaptáveis aos altos níveis de salinidade presentes no sistema solo-água e com capacidade de acumular quantidades significativas de sais em seus tecidos (52), constituindo-se em alternativas para recuperação de solos degradados, devido ao seu mecanismo de extração de sais do solo (74). A *Atriplex nummularia* possui elevada potencialidade de acumulação de biomassa sob condições limitadas, além de ser altamente tolerante à seca e a salinidade (75,76), tendo, portanto, potencial utilização em procedimentos de fitoextração.

Fitoextração

A fitoextração é uma técnica emergente que tem por objetivo extrair contaminantes do solo utilizando plantas com a capacidade de transferir os metais do solo das raízes para a parte aérea e, desta forma, podendo ser removida do ambiente poluído. O processo de extração depende da habilidade da planta selecionada em acumular o metal em sua parte aérea sob condições de solo e de clima específicos do ambiente a ser remediado. Vários fatores contribuem para o sucesso da fitoextração, como a biodisponibilidade do metal e a capacidade da planta em acumular metais (77). Portanto, o intuito de um processo de fitoextração é que os metais absorvidos sejam translocados das raízes para a parte aérea das plantas, podendo ser realizada a colheita utilizando métodos da agricultura tradicional. A recuperação do contaminante na biomassa da planta é um fato atraente financeiramente e ecologicamente, e tem recebido atenção crescente nos últimos anos, pela possibilidade de resposta ao crescente mercado de produtos da fitorremediação, como a reciclagem dos metais extraídos (78).

Para que o processo de fitoextração em solo salino sódico seja eficiente é recomendável que a espécie cultivada seja hipercumulada de sais (especialmente NaCl) e que produza grande quantidade de biomassa para que a extração e retirada de sais seja satisfatória. A *Atriplex nummularia* encaixa-se neste perfil, haja vista a produção de biomassa e a afinidade na absorção de Na^+ e Cl^- . Pesquisas que abordam especificamente o uso de halófitas com o objetivo de fitorremediação ainda são incipientes na literatura, podendo-se citar alguns trabalhos desenvolvidos em casa de vegetação (16,17,79).

Ajuste Osmótico

Um dos mecanismos utilizados pelas plantas para tolerar o efeito da salinidade é a acumulação de compostos que minimizem o desbalanço iônico e osmótico (46,43). Dessa maneira, as plantas reduzem o potencial osmótico de suas células ao acumular íons do meio externo, ou pela mobilização de seus próprios constituintes orgânicos, sendo tal processo denominado de ajustamento osmótico ou osmorregulação (80). Muitas das plantas que toleram o efeito do estresse salino fazem o ajustamento osmótico através da síntese de compostos orgânicos, conhecidos como solutos compatíveis (81).

Em plantas do gênero *Atriplex*, a acumulação de íons durante o ajustamento osmótico das folhas, parece ocorrer principalmente nos vacúolos e estruturas da

superfície das folhas, onde os íons salinos são impedidos de entrar em contato com enzimas citosólicas e de organelas. Dessa maneira, a compartimentalização de íons salinos (Na^+ e Cl^-) nos vacúolos somente pode ser realizada se o Na^+ e Cl^- forem transportados ativamente para dentro dos vacúolos e se a permeabilidade do tonoplasto para esses íons for suficiente para sustentar a gradiente de concentração iônica e o extenso gasto de energia (82).

Como resposta aos estresses hídrico e salino, algumas espécies vegetais recorrem ao ajustamento osmótico para tolerar a desidratação severa e manter ativos processos biológicos importantes. Observaram que os íons Na^+ e Cl^- são os solutos mais importantes no ajustamento osmótico de folhas e raízes de *Atriplex nummularia*, e que K^+ tem sua contribuição diminuída intensamente pela salinidade (65).

Aplicação da *Atriplex* no Semiárido

Podemos citar como a aplicação do gênero *Atriplex*, dentro da instituição da Universidade Federal de Campina Grande, no Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido-CDSA em Sumé na Paraíba, encontra-se um parreiral, em que a antiga produção contava com um sistema de irrigação com água salobra de poço artesiano, mas a alta salinidade da água de irrigação fez com que o parreiral fosse prejudicado e desativado (83). Tentando amenizar a alta salinidade do solo irrigado, o projeto da professora Ilza Maria do Nascimento Brasileiro propõe um sistema de produção integrada de uva com a erva-sal como agente dessalinizante do solo irrigado com água salobra.

Segundo a Organização Internacional para Controle Biológico e Integrado contra os Animais e Plantas Nocivas (OICB), a produção integrada é um sistema de exploração agrária, que produz alimentos e outros produtos de alta qualidade, mediante o uso dos recursos naturais e de mecanismos reguladores para minimizar o uso de insumos e contaminantes, assegurando uma produção agrária sustentável. Através dela se equilibram cuidadosamente o uso de métodos biológicos, químicos e técnicos, considerando a produção e o meio ambiente, a rentabilidade e as demandas sociais (84).

CONCLUSÃO

As técnicas de recuperação de solos salinos são de fundamental importante, pois uma vez, que possibilitam o retorno desse solo ao processo de produção, entre essas técnicas destaca-se a fitoextração, que utiliza espécies de plantas que absorvem

e acumulam o sal na parte aérea (folhas), como a *Atriplex nummularia*, planta originária da Austrália que apresenta característica e desenvolvimento em regiões áridas e semiáridas, conhecida popularmente no Brasil, por Erva-sal, que pode atingir cerca de 2 metros de alturas, possuindo folhas acinzentadas e arredondas.

Por meio dessa revisão literária foi possível observar que a utilização de plantas halófitas, como a do gênero *Atriplex*, se torna possível e de extrema importância para regiões semiáridas, devido às características apresentadas no presente trabalho como o desenvolvimento da planta em altas temperaturas, baixa pluviosidade, dentre outras e pelos benefícios que a mesma realiza perante o ambiente, por meio de técnicas, por exemplo, a fitoextração.

Em relação às informações básicas sobre a espécie vegetal, (*Atriplex nummularia*) vem sendo o objeto de estudo que evidencia o papel importante e o desenvolvimento de pesquisa no Nordeste Brasileiro, utilizando a fitoextração de solos salinos a fim de viabilizar áreas anteriormente agricultáveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Souza ER. Fitorremediação de Neossolo Flúvico sódico salino de Pernambuco com *Atriplex nummularia* Tese de doutorado. Recife: Departamento de Agronomia, Universidade Federal Rural de Pernambuco; 2010.
2. Santos MA. Dinâmica de íons em solo salino-sódico sob fitorremediação com *Atriplex nummularia* e aplicações de gesso. Departamento de Agronomia. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2013.
3. FAO – Land and Plant nutrition management service. FAO: Extent and Causes of Salt-affected Soils in Participating Countries. [Internet]. 2008. [cited 17 set. 2014]. Available from: <http://www.fao.org/ag/agl/agll/spush/topic2.htm#top>
4. Extent and Causes of Salt-affected Soils in Participating Countries. FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. [Internet]. 2008 [cited 15 set. 2014]. Available from: <http://www.fao.org/ag/agl/agll/spush/topic2.htm>
5. Ribeiro MR, Freire FJ, Montenegro AAA. Solos halomórficos no Brasil: Ocorrência, gênese, classificação, uso e manejo sustentável. In: Curi, M, Marques JJ, Guilherme LRG, Lima JM, Lopes AS, Alvarez V, editores. Tópicos em ciência do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; 2003. v. 3. p. 165-208.
6. Freire MGS, Souza ER, Freire FJ. Fitorremediação de solos afetados por sais. In: Gheyi HD, Dias NS, Lacerda CF, editores. Manejo da salinidade na agricultura. Fortaleza: INCT Sal; 2010. p. 461.
7. Dias NS, Blanco FF. Efeitos dos sais no solo e na planta. In: Gheyi HR, Dias NS, Lacerda CF, editores. Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicações. Fortaleza: INCT Sal; 2010. p. 461.
8. Cavalcante LF. Sais e seus problemas nos solos irrigados. [Tese de Mestrado]. Areia: Centro de Ciências Agrícolas, Universidade Federal da Paraíba; 2000.
9. Rengasamy P. World salinization with emphasis on Australia. *Journal of Experimental Botany*, Adelaide, 2006; (57 Pt 5): 1017-23.
10. Silva MO, Freire MGS, Mendes AMS, Freire FJ, Duda GP, Sousa CES. Risco de Salinidade em quatro solos do Rio Grande do Norte sob irrigação com águas salinas. Recife: Revista Brasileira de Ciências Agrárias. 2007; (2 Pt 1): 8-14.

11. Gonçalves IVC, Freire MBGS, Santos MA, Freire, FJ. Alterações químicas de um Neossolo Flúvico irrigado com águas salinas. Fortaleza: *Revistas Ciência Agronômica*. 2011; (42 Pt 3): (589-96).
12. Souza ER, Freire MBGS, Nascimento CWA, Montenegro AAA, Freire FJ, Melo HF. Fitoextração de sais pela *Atriplex nummularia* Lindl. sob estresse hídrico em solo salino sódico. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 2011; (15): (1-10).
13. Qadir M, Oster JD, Schubert S, Noble AD, Sahrawat KL. Phytoremediation of sodic and saline-sodic soils. *Advances in Agronomy*. 2007; (96): (197-46).
14. Qadir M, Qureshi RH, Ahmad N. Reclamation of a saline-sodic soil by gypsum and *Leptochloa fusca*. *Geoderma*. 1996; (72): (207-17).
15. Montenegro AAA, Montenegro SMG. Aproveitamento sustentável de aquíferos aluviais no semiárido. In: Cabral JSP, Ferreira JPCL, Montenegro SMGL, Costa WD. *Água subterrânea: Aquíferos costeiros e aluviões, vulnerabilidade e aproveitamento*, editores. Tópicos especiais em recursos hídricos. Recife: Universidade Federal de Pernambuco; 2004, p. 447.
16. Ravindram KC, Venkatesan K, Balakrishnan V, Chellappan KP, Balasubramanian T. Restoration of saline land by halophytes for Indian soils. *Soil Biology and Biochemistry*. 2007; (39): (2661-64).
17. Leal IG, Acicioly AMA, Nascimento CWA, Freire MBGS, Montenegro AAA, Ferreira FL. Fitorremediação de Solo Salino Sódico por *Atriplex nummularia* e Gesso de Jazida. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco. 2008; (32): (1065-72), 2008.
18. Qadir M, Ghafoor A, Murtaza G. Use of saline-sodic waters through phytoremediation of calcareous saline-sodic soils. *Agric. Water Mang.* 2008; (50): (197-10).
19. Szabolcs, 1994, Szabolcs I (1994). Soil and salinization. In: *Handbook of Plant and Crop Stress*, editores. New York: Marcel Dekker Inc. 2010. p. 3-13.
20. Pessarakli M, I. Szabolcs, 2010. Soil Salinity and Sodicity as Particular Plant/Crop Stress Factors. In: *Handbook of Plant and Crop Stress, 3rd Edition, Revised and Expanded*. (M. Pessarakli, Ed.), p. 3-21, CRC Press, Taylor & Francis Publishing Company, Florida.
21. Souza Filho APS. Influência da temperatura, luz e estresses osmótico e salino na germinação de sementes de *Leucaena leucocephala*. *Pasturas Tropicais*. 2000; (22 Pt 2): (47-53).
22. Holanda FS, Rodrigues LGN, Rocha IP, Santos TT, Araújo Filho RN, Vieira TRS, Mesquita JB. Crescimento inicial de espécies florestais na recomposição de mata ciliar em taludes submetidos à técnica da bioengenharia de solos. Santa Maria: *Ciência Florestal*. 2010; (20 Pt 1): (157-66).
23. Dantas JP, Marinho FJL, Ferreira MMM, Amorim MSN, Andrade SIO, Sales AL. Avaliação de genótipos de caupi sob salinidade. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 2002; (6 Pt 3): (425-30).
24. Willadino L, Camara TR. Origen y naturaleza de los ambientes salinos. In: Reigosa MJ et al. editores. *La ecofisiología vegetal una ciencia de síntesis*. Madri: Editora Thompson; 2004. p. 303-330.
25. Larcher W, Prado C. *Ecofisiología vegetal*. 1ª Ed. São Carlos: Rima Artes; 2000.
26. Munns R. Comparative physiology of salt and water stress Plant, Cell and Environment [Internet]. 2002 [citad 21 set. 2014]; 239-50. Available from: <http://onlinelibrary.wiley.com/store>
27. Ribeiro JS, Lima AB, Cunha PC, Willadino L, Câmara TR. O estresse abiótico em regiões semi-áridas: respostas metabólicas das plantas. In: Moura NA, Araújo EL, Albuquerque UP, editores. *Biodiversidade, potencial econômico e processos eco & fisiológicos em ecossistemas nordestinos*. Recife: Comunigraf. 2007. p.361.
28. Chinnusamy V, Jagendorf A, Zhu Jiankang. Understanding and improving salt tolerance in plants. *Crop Science*. 2005; (45): 437.
29. Shannon MC, Crieve CM, Francois LE. Whole Plant Response to Salinity. In: *Plant Environment Interactions*. Edited by Robert E. Wilkimen. Ed. Marcel Dekker, New York; 1994. p.199-244.
30. Lannetta M, Colonna M. Salinisation. ENEA. Serie B. Folheto 3. Italia. 2006. p.18.
31. Ayers RS, Westcot DW. A qualidade da água na agricultura. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba. 1999; p.1-53.
32. D'Almeida DMBA, Andrade EM, Meirelles ACM. Importância relativa dos íons na salinidade de um Cambissolo na Chapada do Apodi, Ceará: *Enh. Agric.* 2005; (425-30).

33. Martins CP. Cultivo Hidropônico e bananeira (*Musa sp.*) submetidas ao estresse salino: aspectos fisiológicos e bioquímicos. [Tese de mestrado]. Escola Superior de Agricultura Queiroz, 2007.
34. Meurer EJ. Fundamentos de química do solo. 2ª Ed. Porto Alegre; EVANGRAF; 2006.
35. Santos RV. Correção de um solo salino-sódico e absorção de nutrientes pelo feijoeiro vigna (*Vigna unguiculata* (L.)). [Tese de Doutorado]. Piracicaba: Universidade de São Paulo; 1995.
36. Lima AL. Efeitos de sais no solo e na planta. In: Gheyi HR, Queiroz JE, Medeiros JF, editores. Simpósio "Manejo e Controle da Salinidade na Agricultura Irrigada", Campina Grande: UFPB, 1997. p. 113-136.
37. Leite EM, Cavalcante LF, Diniz A, Santos R, Alves G, Cavalcante IH. Correção da sodicidade de dois solos irrigados em resposta à aplicação de gesso agrícola. Irriga. Botucatu. 2007; (12 Pt 2): p. 168-76.
38. Mendonça AVR, Carneiro JGA, Barroso DG, Santiago AR, Rodrigues LA, Freitas TAS. Características biométricas de mudas de *Eucalyptus sp* sob estresse salino. Revista Árvore. 2007; (31 Pt 3), p. 365-72.
39. Glenn E, Tanner R, Miyamoto S, Fitzsimmons K, Boyer J. Water use, productivity and forage quality of the halophyte *Atriplex nummularia* grown on saline wastewater in a desert environment. Journal of Arid Environments. 1998; (38): p. 45-62.
40. Schmeisky H, Podlacha G. Natural revegetation of saline waste dumps-drought tolerant specialist and halophytes. Landscape and Urban Planning. 2000; (50): p. 159-63.
41. Qadir M, Oster JD. Crop and irrigation management strategies for saline-sodics soils Waters aimed at environmentally sustainable agriculture. Science of the total environment. 2004; (323): p. 1-19.
42. Cerda E, Aldaco R, Montemayor J, Fortis M, Olague J, Villagómez JC. Aprovechamiento y mejoramiento de un suelo salino mediante el cultivo de pastos forrajeros. Técnica Pecuaria em México. 2007; (45 Pt 1): p. 19-24.
43. Zhu JK. Regulation of ions homeostasis under salt stress. Curr. Opin Plant Biol. 2003; (6): 431-45.
44. Mitsuya S, Takeoka Y, Miyake H. Effects of sodium chloride on foliar ultrastructure of sweet potato (*Ipomoea batatas* Lam.) plantlets grown under light and dark conditions in vitro. Journal Plant Physiol. 2000; (156): 661-67.
45. Zhu JK. Plant Salt stress. Encyclopedia of live Science. [Internet]. 2007 [cited 21 set 2014]. Available from: <http://www.faculty.ucr.edu/~jkzhu/articles/2007/ELS%20Zhu.pdf>
46. Naidu BP. Production of hetaine from Australian *Melaleuca* spp. For use in agriculture to reduce plant stress. Journal Exp àgri. 2003; (25): p. 1163-70.
47. Joly AB. Botânica: Introdução à taxonomia vegetal. 4ª ed. Editora Nacional, São Paulo; 1977.
48. Olivares AE, Gasto JC. *Atriplex repanda*. Organização e manejo de Ecossistemas com arbustos forrajeros. Universidade de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias, Veterinarias y Forestales, 1981; p. 300.
49. Obras, contra as secas: objetivos, programas, ação da Inspetoria, resultados. Boletim da Inspetoria Federal de Obras Contra as Secas, Rio de Janeiro. 1938; (10 Pt 2): p. 157-97.
50. Lindley J, Mitchell TL. *Atriplex nummularia* Lindl. Journal of an Expedition into the Interior of Tropical Australia. [Internet] 1848 [cited 19 Set 2014]; (6132 Pt 1). Available from: <http://www.tropicos.org/Publication/7979>
51. Porto ER, Amorim MCC, Silva Júnior LGA. Uso do rejeito da dessalinização de água salobra para irrigação da erva-sal (*Atriplex nummularia*). Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. 2001; (5): p. 111-14.
52. Aganga AA, Mthetho JK, Tshwenyane S. *Atriplex nummularia* (old m saltbush): a potential forage crop for arid regions of Botswana. Pakistan Journal Nutrition. 2003; (2 Pt 2): p.72-75.
53. Porto ER, Amorim MCC, Dutra MT, Paulino RV, Brito LTL, Matos ANB. Rendimento da *Atriplex nummularia* irrigada com efluentes da criação de tilápias em rejeito da dessalinização de água. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. 2006 v. 10, n.1, p.97-103.
54. Souto JCR, Araújo GGL, Silva DS, Porto, ER, Turco SHN, Medeiros AN. Desempenho produtivo de ovinos alimentados com dietas contendo níveis crescentes de feno de erva sal (*Atriplex nummularia* Lindl.). Revista Ciência Agrônômica. 2005; (36 Pt 3): p. 376-81.

55. Ben Salem H, Nefzaoui 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*. 2004; (51): p. 65-73.
56. Porto ER, Araújo GG. Uso da Erva-Sal (*Atriplex nummularia*) como forrageira irrigada com água salobra. Petrolina: Embrapa Semiárido. 2000; (52).
57. Ramos J, Lopez MJ, Benloch M. Effect of NaCl and KCl salts on the growth and solute accumulation of the halophyte *Atriplex nummularia*. *Plant and Soil*. 2004; (258): p. 163-68.
58. Bonilla OH, Tabosa JN, Galindo FAT, Azevedo Neto AD. *Atriplex* – Nova forrageira para solos salinizados no semiárido nordestino. Recife: IPA. 2000; p. 25.
59. Carvalho Júnior SB, Furtado DA, Silva VR, Dantas, RT, Lima ISP, Lima VLA. Produção e avaliação bromatológica de espécies forrageiras irrigadas com água salina. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 2010; (14 Pt 10): p. 1045-51.
60. Vaidyanathan H, Sivakumar P, Chakrabarty R, Thomas G. Scavenging of reactive oxygen species in NaCl-stressed rice (*Oryza sativa* L.) – differential response in salt-tolerant and sensitive varieties. *Plant Science*. 2003; (165): p. 1411-18.
61. Mota FOB, Oliveira JB. Mineralogia de solos com excesso de sódio no estado do Ceará. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 1999; (23 Pt 4): p. 799-06.
62. Richards, L. A. *Diagnosis and Improvement of Saline and alkali Soils*. Washington DC<US Department of Agriculture, 1954. p. 160. (USDA Agricultural Handbook,60).
63. Barros MFC, Fontes MPF, Alvarez VVH, Ruiz HA. Aplicação de gesso e calcária na recuperação de solos salino-sódicos do estado de Pernambuco. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 2005; (3): p. 320-26.
65. Silveira KR, Ribeiro MR, Oliveira LB, Heck RJ, Silveria RR. Gypsum saturated water to reclaim aluvial saline sodic and sodic soils. *Scientiae Agrícola*. 2008; (65): p. 69-75.
65. Araújo S, Silveira J, Almeida T, Rocha I, Morais D, Viégas R. Salinity tolerance of halophyte *Atriplex nummularia* L, grown under increasing NaCl levels. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 2006; (10 Pt 4): p. 847-54.
66. Neves ALR, Guimarães FVA, Silve FB, Silva, FLB. Tamanho e composição mineral de sementes de feijão de corda irrigado com água salina. *Revista Ciência Agronômica*, 2008; (39 Pt 4): p. 568-74.
67. Barros MFC, Bebé FV, Santos TO, Campos MCC. Influência da aplicação de gesso para correção de um solo salino-sódico cultivado com feijão caupi. *Revista de Biologia e Ciência da Terra*. 2009; (9 Pt1): p. 77-82.
68. Souza ER, Freire MBGS, Cunha KPV, Nascimento CWA, Ruiz HA, Lins CMT. Biomass, anatomical changes and osmotic potential in *Atriplex nummularia* Lindl. cultivated in sodic saline soil under water stress. *Environmental and Experimental Botany*. 2012; (82): p. 20-27.
69. Liu X, Haung W, Mori S, Tadano T. Interactive effect of moisture levels and salinity levels of soil on the growth and ion relations of halophytes. *Communications in soil science and plant analysis*. 2008; (39): 741-51.
70. Cavalcante LF, Santos RV, Ferreyra FFH, Gheyi HR, Dias TJ. Recuperação de solos afetados por sais. In: Gheyi HR, Dias NS, Lacerda CF. *Manejo da salinidade na agricultura*. Fortaleza: INCT Sal; 2000. p. 472.
71. Accioly MAA, Siqueira JO. Contaminação química e biorremediação do solo. In: Novais RF, Alvares V, Schaefer CE. *Tópicos em Ciências do Solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; 2000. p. 299-350.
72. Cunningham SD, Anderson TA, Schwab AP. Phytoremediation of soils contaminated with organic pollutants. *Advances in Agronomy*. 1996; New York, (55): p. 55-114.
73. Dinardi AL, Formagi VM, Coneglian CMR, Brito NN, Sobrinho GD, Tonso S, Pelegrini R. Fitorremediação. III Fórum de Estudos Contábeis. Rio Claro, 2003.
74. Squires VR, Ayoub A. *Allophytes as a resource for livestock and and for approach*. New York: McGraw-Hill; 1994. p. 481.
75. Slavichc PG, Smithb KS, Tyermanb SD, Walkera GR. Water use of grazed salt bush plantations with saline watertable. *Agricultural water management*. 1999; (39): p. 169-85.
76. Abu-Zanat MW, Ruyle GB, Ardel-Hamid NF. Increasing range production from fodder shrubs in low rainfall areas. *Journal of Arid Environments*. 2004; (58): p. 205-26.
77. Nascimento, CWA, Xing B. Phytoextraction: a review on enhanced metal availability and plant accumulation. *Scientia Agrícola*. 2006; (63 Pt 3): p. 299-11.

78. Glass DJ. The 1998 United States Market for Phytoremediation. Needham: D. Glass Associates. 1998; p. 139.
79. Krishnapillai M, Ranjan RS. Evaluating the phytoremediation potential of *Atriplex patuta* os salt contaminated soil. Written for presentation at the CSAE/SCGR. 2005; Meeting Winnipeg, Manitoba.
80. Yamaguchi T, Blumwald E. Developing salt-tolerant crop plants: challenges and opportunities. *Trends in Plant Science*. 2005; (10): p. 615-20.
81. Lacerda CF, Cambraia J, Cano MAO, Ruiz HÁ, Prisco JT. Solute accumulation and distribution during shoot and leaf development in two sorghum genotypes under salt stress. *Environmental and Experimental Botany*. 2003; (47 Pt 2): p. 107-20.
82. Maathius FJM, Flowers TJ, Yeo AR. Sodium chloride compartmentation in leaf vacuoles of the halophytes *Suaeda maritime* (L.) Dum. And its relation to tonoplast permeability. *Journal Experimental Botany* 1992; (43): p. 1219-23.
83. Brasileiro, IMN. Manejo de Produção e Uva e Erva-Sal (*Atriplex nummularia*) no Semiárido Paraibano. Projeto de Pesquisa do PIBIC/CNPq-UFCG. 2013; p. 1-19.
84. Lopes PRC, Oliveira JEM, Assis JSA, Salustriano RR, Santos CAP. Produção Integrada de Uva para vinho. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Semiárido, Petrolina; 2008.