

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

FRANCISCO ÍTALO FERNANDES DE OLIVEIRA

**SALICÓRNIA IRRIGADA COM REJEITO SALINO EM
DIFERENTES SOLOS E PROSPECÇÃO DE BACTÉRIAS
DIAZOTRÓFICAS**

RECIFE

2021

Francisco Ítalo Fernandes de Oliveira
Engenheiro Agrônomo

**Salicórnica irrigada com rejeito salino em diferentes solos e prospecção de
bactérias diazotróficas**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação
em Ciência do Solo, da Universidade Federal Rural
de Pernambuco, como parte dos requisitos para
obtenção do título de Doutor em Ciência do Solo.

Orientadora: Dra. Ana Dolores Santiago de Freitas

Co-orientador (es): Dr. Paulo Ivan Fernandes Júnior
Dra. Maria Betânia Galvão dos S. Freire

RECIFE
2021

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Biblioteca Central, Recife-PE, Brasil

O48s Oliveira, Francisco Ítalo Fernandes de
Salicórnica irrigada com rejeito salino em diferentes solos e
prospecção de bactérias diazotróficas / Francisco Ítalo Fernandes
de Oliveira. – 2021.
100 f. : il.

Orientadora: Ana Dolores Santiago de Freitas.
Coorientadores: Paulo Ivan Fernandes Júnior, Maria Betânia
Galvão dos Santos Freire.
Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural de
Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Ciências do Solo,
Recife, BR-PE, 2021.
Inclui bibliografia.

1. Ciência do solo 2. Microbiologia 3. Microorganismos do solo
4. Bactérias 5. Prospecção 6. Solos – Salinidade I. Freitas, Ana
Dolores Santiago de, orient. II. Fernandes Júnior, Paulo Ivan,
coorient. III. Freire, Maria Betânia Galvão dos Santos, coorient.
IV. Título

CDD 631.4

FRANCISCO ÍTALO FERNANDES DE OLIVEIRA

**Salicórnica irrigada com rejeito salino em diferentes solos e prospecção de
bactérias diazotróficas**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciência do Solo.

Aprovada em 21 de dezembro de 2021

Profa. Dra. Ana Dolores Santiago de Freitas

Orientadora

Universidade Federal Rural de Pernambuco (DEPA)

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Evandro Franklin de Mesquita

Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

Prof. Dr. Francisco Vanies da Silva Sá

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

Prof. Dr. Mario de Andrade Lira Junior

Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)

Dr. Saulo de Tarso Aidar

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA)

A Deus, por não me deixar desistir.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela dádiva da vida, e por ter me guiado ao longo da caminhada.

Aos meus pais, Juvêncio e Helenilda, por vezes renunciarem aos seus propósitos, para realizar os meus. Agradeço por terem acreditado na educação.

Ao meu irmão Flaviano, por sempre torcer por minhas conquistas e compartilhar tantas alegrias.

À minha esposa Layane pelo amor, compreensão, incentivo, atenção, por estar ao meu lado em todos os momentos.

Ao meu filho Miguel, por ser fonte de alegria e me ensinar tanto mesmo com sua pouca idade.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, pela oportunidade de realização do doutorado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES), pela concessão da bolsa durante o período de estudo.

À Professora Dra. Ana Dolores Santiago de Freitas, pela orientação, atenção, apoio e pelos valiosos ensinamentos.

Aos Co-orientadores Dr. Paulo Ivan Fernandes Júnior e Professora Dra. Maria Betânia Galvão dos Santos Freire, por disponibilizarem os laboratórios, que foram de suma importância para realização da pesquisa.

Aos Professores participantes da banca de qualificação e examinadora, pelo tempo dedicado e pelas valiosas colaborações e sugestões.

Aos Docentes do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, pelos ensinamentos transmitidos durante as disciplinas cursadas.

Ao Prof. Dr. Edivan Rodrigues de Souza pela concessão da área para instalação de parte do ensaio e pelo incentivo no momento que necessitei.

Ao Professor Dr. Hidelblandi Farias de Melo pelo incentivo e contribuição ímpar na realização da coleta de solo para realização desse trabalho.

Aos proprietários da Fazenda União Agrícola Santa Helena, Dona Helena, José Alves (Seu Deca) e Deon por cederem a área de realização do experimento de campo.

Aos amigos Paulo Roberto e Alana, que compraram a ideia do projeto desde o momento de seleção de bolsista de iniciação e que de forma tão comprometida, foram meu braço direito, nas etapas de montagem, condução e avaliação do experimento de casa de vegetação.

Ao meu amigo e Compadre Dr. Erifrankim, pelas palavras de incentivo, persistência e cuidado com Miguel.

A todos que de algum modo contribuíram direta ou indiretamente para que este trabalho se tornasse uma realidade, minha profunda e eterna gratidão!

A vida é uma corrida
que não se corre **SOZINHO**.

E vencer não é chegar,
é aproveitar o **CAMINHO**
sentindo o cheiro das flores
e aprendendo com as dores
causadas por cada espinho.

A corrida da vida (trecho)

Poeta Bráulio Bessa

Salicornia irrigada com rejeito salino em diferentes solos e prospecção de bactérias diazotróficas

RESUMO

O crescimento da população mundial aumenta a demanda por alimentos e intensificação da agricultura, que ocasiona impactos no solo e na água, entre eles, a salinização. A salinização reduz progressivamente o rendimento das culturas, principalmente em regiões áridas e semiáridas, limitando a produção agropecuária. No entanto, a agricultura bioassalada permite o uso de águas de qualidade inferior e em áreas marginais cultivadas com halófitas. Assim, uma pesquisa foi realizada com objetivo de avaliar o potencial de cultivo de *Salicornia neei* Lag. Irrigada com rejeito salino em diferentes solos e prospecção de micro-organismos diazotróficos associados a salicornia. A pesquisa foi desenvolvida em duas etapas, a primeira foi conduzida em casa de vegetação durante 180 dias, cultivando-se *Salicornia neei* em quatro diferentes solos (S₁ – Planossolo Háptico; S₂ – Cambissolo Háptico; S₃ – Neossolo Flúvico e S₄ – Neossolo Flúvico), irrigados com 6 proporções de rejeito salino (CE = 23,32 dS m⁻¹) e água potável (CE = 0,19 dS m⁻¹) (A₁ – 100% água potável (tratamento controle); A₂ – 15% de rejeito salino + 85% de água potável; A₃ – 30% de rejeito salino + 70% de água potável; A₄ – 50% de rejeito salino + 50% de água potável; A₅ – 70% de rejeito salino + 30% de água potável e A₆ – 100% de rejeito salino), montados em blocos casualizados, com quatro repetições, cada repetição com um vaso e uma planta por vaso. Na segunda etapa as plantas foram cultivadas em condições de campo, em solo salinizado, no Distrito de Manicoba, município de Juazeiro, Bahia, Brasil. A interação entre as fontes de variação solo e água exerceu efeito significativo sobre as variáveis biométricas, trocas gasosas, pigmentos fotossintetizantes, íons solúveis, trocáveis e sobre os teores de elementos nas plantas. Foram obtidos 30 isolados, selecionados pela presença da película microaerofílica, todos com a capacidade de produção de biofilme, 21 isolados produziram ácido indolacético, 25 isolados foram positivos para a presença do gene *nifH* e nenhum dos isolados foram capazes de solubilizar fosfato de cálcio. A análise *fingerprinting* molecular permitiu identificar 17 perfis únicos na coleção de isolados. A análise de Restrição do DNA Ribossomal Amplificado (ARDRA), dos perfis únicos permitiu a formação de três grandes grupos com 65% de similaridade. Foram selecionados sete perfis para sequenciamento e após análise constatou-se similaridade com bactérias dos gêneros *Pseudomonas*, e *Enterobacter*. A produção de biomassa e as trocas gasosas das plantas são reduzidas com o incremento de rejeito salino nas águas de irrigação. O estresse salino promove aumento nos teores de Na⁺ da matéria seca de raízes em detrimento aos demais cátions. E os micro-organismos associados a salicornia são de crescimento lento e com predominância dos gêneros *Pseudomonas* e *Enterobacter*.

Palavras-chave: *Salicornia neei*. Solos salinos. Halófitas. Agricultura bioassalada.

Salicornia irrigated with saline tailings in different soils and prospection of diazotrophic bacteria

ABSTRACT

The growth of the world population increases the demand for food and the intensification of agriculture, which causes impacts on soil and water, among them, salinization. Salinization progressively reduces crop yields, especially in arid and semi-arid regions, limiting agricultural production. However, biosaline agriculture allows the use of lower quality waters and in marginal areas cultivated with halophytes. The research was carried out with the objective of evaluating the potential of cultivation of *Salicornia neei* Lag. Irrigated with saline tailings in different soils and prospection of diazotrophic microorganisms associated with salicornia. The research was carried out in two stages, the first was carried out in a greenhouse for 180 days, growing *Salicornia neei* in four different soils (S1 – Haplic Planosol; S2 – Haplic Cambisol; S3 – Fluvic Neosol and S4 – Fluvic Neosol), irrigated with 6 proportions of saline waste (EC = 23.32 dS m⁻¹) and potable water (EC = 0.19 dS m⁻¹) (A1 – 100% potable water (control treatment); A2 – 15% of saline tailings + 85% potable water; A3 – 30% saline tailings + 70% potable water; A4 – 50% saline tailings + 50% potable water; A5 – 70% saline tailings + 30% potable water and A6 – 100% saline waste), set up in randomized blocks, with four replications, each replication with one pot and one plant per pot. In the second stage, the plants were cultivated under field conditions, in salinized soil, in the District of Maniçoba, municipality of Juazeiro, Bahia, Brazil. The interaction between soil and water sources of variation exerted a significant effect on biometric variables, gas exchange, photosynthetic pigments, soluble and exchangeable ions and on the levels of elements in plants. Thirty isolates were obtained, selected by the presence of the microaerophilic film, all with the ability to produce biofilm, 21 isolates produced indoleacetic acid, 25 isolates were positive for the presence of the *nifH* gene and none of the isolates were able to solubilize calcium phosphate. Molecular fingerprinting analysis allowed the identification of 17 unique profiles in the isolates collection. The Restriction Analysis of Amplified Ribosomal DNA (ARDRA) of the unique profiles allowed the formation of three large groups with 65% similarity. Seven profiles were selected for sequencing and after analysis it was found similarity with bacteria of the *Pseudomonas* and *Enterobacter* genera. Biomass production and plant gas exchange are reduced with the increase in saline waste in irrigation water. The saline stress promotes an increase in the Na⁺ contents of the root dry matter to the detriment of the other cations. And the microorganisms associated with salicornia are of slow growth and with predominance of the genera *Pseudomonas* and *Enterobacter*.

Keywords: *Salicornia neei*. Saline soils. Halophytes. Biosaline agriculture.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Municípios pernambucanos onde foram realizadas as coletas dos solos.	28
Figura 2 - Dimensões e preenchimento dos vasos (A) e disposição dos vasos prontos para receberem as plantas (B).....	31
Figura 3 - Pesagem realizada antes e depois da saturação (A), vasos acondicionados dentro da caixa-d'água prontos para iniciar o processo de saturação (B) e solos após 48 horas de saturação (C).	32
Figura 4 - Número de hastes primárias de plantas de <i>Salicornia neei</i> aos 90 (A) e aos 180 (B) dias após o início dos tratamentos salinos, cultivadas em diferentes solos e submetidas a irrigação com diferentes proporções de rejeito salino.	43
Figura 5 - Altura de hastes primárias de plantas de <i>Salicornia neei</i> aos 90 (A) e aos 180 (B) dias após início dos tratamentos salinos, cultivadas em diferentes solos e submetidas a irrigação com diferentes proporções de rejeito salino.	45
Figura 6 - Número de hastes secundárias de plantas de <i>Salicornia neei</i> aos 90 (A) e aos 180 (B) dias após início dos tratamentos salinos, cultivadas em diferentes solos e submetidas a irrigação com diferentes proporções de rejeito salino.	47
Figura 7 - Comprimento de hastes secundárias de plantas de <i>Salicornia neei</i> aos 90 (A) e aos 180 (B) dias após início dos tratamentos salinos, cultivadas em diferentes solos e submetidas a irrigação com diferentes proporções de rejeito salino.	49
Figura 8 - Matéria seca da parte aérea aos 90 (A) e aos 180 (B) dias após início dos tratamentos salinos, matéria seca de raiz (C) e matéria seca total (D) de <i>Salicornia neei</i> , cultivadas em diferentes solos e submetidas a irrigação com diferentes proporções de rejeito salino.	51
Figura 9 - Condutância estomática (gs) (A e B), fotossíntese (A) (C e D), transpiração (E) (E e F) e concentração interna de CO ₂ (Ci) (G e H) de plantas de <i>Salicornia neei</i> aos 90 e 180 dias após início dos tratamentos salinos, cultivadas em diferentes solos e submetidas a irrigação com proporções crescentes de rejeito salino.....	54
Figura 10 - Clorofila α (A), clorofila β (B), clorofila <i>total</i> (C) e carotenóides (D) de plantas de <i>Salicornia neei</i> aos 90 dias após início dos tratamentos salinos, cultivadas em diferentes solos e submetidas a irrigação com diferentes proporções de rejeito salino.	58
Figura 11 - Valores do potencial hidrogeniônico do extrato aquoso do solo em diferentes solos (A), em função de diferentes proporções de rejeito salino (B), do extrato de saturação (C) e da condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (D), ao final do	

experimento. Médias seguidas por mesma letra minúsculas entre classes de solo não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).	62
Figura 12 - Valores médios de Ca^{2+} e Mg^{2+} trocáveis (A e C) e solúveis (B e D) dos solos cultivados com <i>Salicornia neei</i> em função dos níveis de rejeito salino utilizados.....	64
Figura 13 - Valores médios de Na^+ e K^+ trocáveis (A e C) e solúveis (B e D) dos solos cultivados com <i>Salicornia neei</i> em função dos níveis de rejeito salino utilizados na irrigação.	66
Figura 14 - Valores médios de Cl^- (A), razão de adsorção de sódio (B), soma de base (C) e percentagem de sódio trocável (D) dos solos cultivados com <i>Salicornia neei</i> em função dos níveis de rejeito salino utilizados.	67
Figura 15 - Teores de sódio da parte aérea de <i>Salicornia neei</i> aos 90 e 180 dias após início dos tratamentos salinos e das raízes (A, B e C) e de potássio aos 90 e 180 dias após início dos tratamentos salinos e das raízes (D, E e F).	71
Figura 16 - Teores de cálcio da parte aérea de <i>Salicornia neei</i> aos 90 e 180 dias após início dos tratamentos salinos e das raízes (A, B e C) e de magnésio aos 90 e 180 dias após início dos tratamentos salinos e das raízes (D, E e F).	75
Figura 17 - Dendrograma de similaridade com base em impressão digital molecular aplicando os marcadores moleculares BOX-A1. Os perfis genéticos foram avaliados com auxílio do programa Bionumerics 7.6 (Applied Maths, Bélgica) utilizando o método de agrupamento UPGMA e coeficiente de Dice.	80
Figura 18 - Dendrograma de similaridade com base nos perfis polimórficos utilizando a técnica ARDRA usando 16S rRNA como o produto de PCR e endonucleases Hinf e MspI. As imagens dos géis foram analisadas com auxílio do programa BioNumerics 7.6 (Applied Maths, Bélgica), utilizando o método de agrupamento UPGMA e coeficiente de Dice.....	82

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Atributos químicos das águas (rejeito salino + água potável) utilizadas para irrigação no período experimental ($\eta = 30$).....	28
Tabela 2 - Caracterização química e granulométrica dos solos utilizados no experimento.	30
Tabela 3 - Caracterização química e granulométrica do solo do experimento de campo.	36
Tabela 4 - Resumo da análise de variância para o número de hastes principais aos 90 e 180 dias após início dos tratamentos salinos (NHP ₉₀ e NHP ₁₈₀); altura de hastes principais aos 90 e 180 dias após início dos tratamentos salinos (CHP ₉₀ e CHP ₁₈₀); número de hastes secundárias aos 90 e 180 dias após início dos tratamentos salinos (NHS ₉₀ e NHS ₁₈₀); comprimento de hastes secundárias aos 90 e 180 dias após início dos tratamentos salinos (CHS ₉₀ e CHP ₁₈₀) de plantas de <i>Salicornia neei</i> submetidas a cultivo em diferentes solos e diferentes proporções de rejeito salino.	42
Tabela 5 - Resumo da análise de variância para massa seca da parte aérea aos 90 e 180 dias após início dos tratamentos salinos (MSPA ₉₀ e MSPA ₁₈₀); massa seca de raiz (MSR), massa seca total da parte aérea (MSTPA) e massa seca total (MST) de plantas de <i>Salicornia neei</i> submetidas a cultivo em diferentes solos e diferentes proporções de rejeito salino.....	50
Tabela 6 - Resumo da análise de variância para condutância estomática (gs), fotossíntese (A), transpiração (E) e concentração interna de CO ₂ (Ci), aos 90 e aos 180 dias após início dos tratamentos salinos de plantas de <i>salicórnia</i> submetidas a cultivo em diferentes solos e diferentes proporções de rejeito salino.	52
Tabela 7 - Resumo das análises das variâncias para os dados de teores totais de clorofilas α (Clf _{α}), β (Clf _{β}), total (Clf _{total [$\alpha+\beta$]) e carotenoides (Car) em hastes de plantas de <i>salicórnia</i> aos 180 dias após o início dos tratamentos salinos, cultivadas em diferentes solos e sob diferentes proporções de rejeito salino.}	58
Tabela 8 - Resumo da análise de variância para potencial hidrogeniônico em água (pH água 1:2,5), cálcio (Ca ²⁺), magnésio (Mg ²⁺), sódio (Na ⁺), potássio (K ⁺), soma se bases (SB) e percentagem de sódio trocável (PST) do complexo sortivo do solo ao final do experimento.	61
Tabela 9 - Resumo da análise de variância para potencial hidrogeniônico do extrato de saturação (pHes), condutividade elétrica da água (CEes), cálcio (Ca ²⁺), magnésio (Mg ²⁺),	

sódio (Na^+), potássio (K^+), cloro (Cl^-) e razão de adsorção de sódio (RAS) do extrato de saturação do solo ao final do experimento. 62

Tabela 10 - Resumo das análises de variâncias referentes aos teores de sódio, potássio, cálcio e magnésio da parte aérea aos 90 (Na_{90} , K_{90} , Ca_{90} e Mg_{90}) e 180 (Na_{180} , K_{180} , Ca_{180} , Mg_{180}) dias após início dos tratamentos salinos e de raiz (Na_r , K_r , Ca_r e Mg_r) ao final do experimento de plantas de salicornia cultivadas em diferentes solos e sob diferentes proporções de rejeito salino. 70

Tabela 11 - Produção de biofilme, produção de AIA, capacidade de solubilização de fosfato de cálcio e amplificação de um fragmento do gene *nifH* de bactérias isoladas das raízes, parte aérea e rizosfera de *Salicornia neei*. 78

Tabela 12 - Identificação dos isolados identificados no banco de dados GenBank. 83

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	16
1.1 Hipóteses	17
1.2 Objetivos.....	17
1.2.1 Objetivo Geral	17
1.2.2 Objetivos Específicos	18
2. REVISÃO DE LITERATURA	19
2.1 Os solos afetados por sais	19
2.2 Qualidade da água na agricultura	20
2.3 Efeitos do estresse salino sobre as plantas	21
2.4 Agricultura bioassalada.....	22
2.5 Emprego de plantas na recuperação de solos salinos	24
2.6. Micro-organismos em solos salinos	25
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	27
3.1 Experimento de casa de vegetação	27
3.1.1 Desenho experimental	27
3.1.2 Instalação do experimento	31
3.1.3 Manejo e condução do experimento.....	32
3.1.4 Variáveis analisadas	32
3.1.5. Análises estatísticas	35
3.2 Experimento em campo	35
3.2.1 Localização do experimento.....	35
3.2.2 Preparo da área e instalação do experimento.....	35
3.2.3 Isolamento de micro-organismos.....	36
3.2.4 Variáveis analisadas	37
3.2.5 Caracterização genotípica.....	39
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
4.1 Número e comprimento de hastes principais e secundárias	42
4.2 Produção de biomassa	50
4.3 Trocas gasosas	52
4.4 Determinação de pigmentos fotossintetizantes.....	58
4.5 Análises químicas do solo	61
4.6 Avaliação do estado nutricional das plantas.....	69

4.7 Testes bioquímicos	78
4.8 Avaliação da variabilidade genética dos isolados	80
4.9 Análise de Restrição do DNA Ribossomal Amplificado (ARDRA).....	81
4.10 Sequenciamento do gene 16S rRNA	82
5. CONCLUSÕES	84
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos 50 anos, a população do planeta foi dobrada, o consumo de alimentos e de água foi triplicado, além de quadruplicar o uso de combustíveis fósseis. A cada quatro dias, há mais um milhão de pessoas no mundo. A ONU prevê que, até o fim da década de 2050, teremos uma população de aproximadamente dez bilhões de pessoas (ONU, 2019). O crescimento populacional faz demandas por recursos indispensáveis à sobrevivência humana crescer, a principal delas é a produção de alimentos, ocasionando impactos diretos e indiretos para o solo e recursos hídricos.

As condições edafoclimáticas que exercem efeitos sobre o rendimento agrônomico das plantas dificilmente se encontram equilibradas, de forma a proporcionar um crescimento e desenvolvimento satisfatório. Durante os cultivos, as espécies da agricultura convencional estão sujeitas às ações de estresses abióticos, seja de forma isolada ou conjunta. Ao longo dos anos e, principalmente na atualidade, o processo de salinização do solo e das fontes hídricas são os maiores entraves da agricultura, especialmente em regiões áridas e/ou semiáridas, tornando-se um problema de ordem social, econômica e ambiental.

A salinização dos solos e de fontes hídricas, apresenta-se como um dos principais problemas de degradação ambiental no semiárido brasileiro, onde a prática da irrigação apresenta importância significativa para obtenção de produção satisfatória. A salinidade vem aumentando devido à escassez e ao manejo inadequado da água de boa qualidade, que força os produtores a utilizarem água de má qualidade para irrigação, contribuindo para a perda de produtividade dos solos. Esse estresse salino provoca reduções no crescimento e na produtividade, chegando até mesmo a impedir o cultivo da maioria das culturas agrícolas.

As espécies de plantas cultivadas respondem de formas diferentes à salinidade, algumas culturas apresentam rendimentos aceitáveis, mesmo em níveis elevados de salinidade, enquanto outras são sensíveis a níveis relativamente baixos, o que se deve a maior capacidade de adaptação osmótica que algumas culturas apresentam. A capacidade de adaptação é importante, sobretudo para a seleção de materiais biológicos tolerantes e capazes de produzir rendimentos economicamente viáveis.

Espécies halófitas veem sendo empregadas para reintegrar áreas que apresentam solos degradados pelo excesso de sais e utilização de fontes hídricas com água de baixa qualidade, sendo uma alternativa sustentável para o aproveitamento de áreas sujeitas a

salinização no semiárido. Muitas espécies de plantas halófitas apresentam grande potencial biotecnológico e econômico, tanto para produção de alimentos, como para isolamento de substâncias bioativas. Além disso, plantas que se desenvolvem em ambientes de extrema salinidade, abrigam em seus tecidos e na sua rizosfera, populações de micro-organismos adaptados ao estresse salino, ainda pouco estudados, principalmente nas condições do semiárido Brasileiro.

Neste sentido, e considerando o crescimento e a importância do estudo com espécies halófitas, sobretudo em regiões semiáridas, onde os problemas com excesso de sais ocorrem com maior frequência, estudos que poderão auxiliar na tomada de decisões por parte da escolha adequada da cultura a ser explorada sob tais condições estressantes são de grande importância, contribuindo para o desenvolvimento de um manejo mais eficiente em ambientes salinos e reintegrando as áreas afetadas por sais aos processos produtivos.

1.1 Hipóteses

A salicórnia (*Salicornia neei* Lag.) apresenta potencial para cultivo em solos afetados por sais, assim como potencial de uso como espécie fitorremediadora de sais;

O rejeito de dessalinizadores pode ser usado para irrigar a salicórnia, com impacto tolerável sobre sua produtividade e sem afetar os níveis de sais do solo.

A espécie *Salicornia neei*, crescendo em condições de extrema salinidade do solo, abriga em seus tecidos e na rizosfera, micro-organismos que contribuem para sua tolerância às condições de estresse salino e que apresentam grande potencial biotecnológico.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Avaliar o potencial de cultivo de *Salicornia neei* Lag. cultivada sob irrigação com águas de rejeito salino em diferentes solos e prospecção de micro-organismos diazotróficos associados a salicórnia.

1.2.2 Objetivos Específicos

Avaliar a produção e alocação de biomassa de salicórnica irrigada com rejeito salino em diferentes solos do semiárido brasileiro;

Mensurar parâmetros fisiológicos de salicórnica irrigada com rejeito salino em diferentes solos do semiárido;

Analisar a composição química da biomassa de salicórnica irrigada com rejeito salino em diferentes solos do semiárido;

Obter uma coleção de micro-organismos endofíticos e rizosfera associados à salicórnica cultivada em solos afetados por sais.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Os solos afetados por sais

A salinização dos solos é o processo de degradação química e física do solo, que mais comumente incide nas terras agricultáveis (LIMA JUNIOR; SILVA 2010), sendo um dos mais antigos problemas ambientais conhecidos pelo homem. Os sais foram, inclusive, usados como instrumento de guerra pelos Romanos, que colocavam sais nas terras férteis de seus inimigos, os Cartagineses (PEDROTTI et al., 2015; RIBEIRO et al., 2016).

Os solos halomórficos, ou solos afetados por sais, caracterizam-se pela presença de sais solúveis, sódio trocável, ou ambos nos horizontes ou camadas próximas à superfície (FURQUIM, et al., 2017). Esses solos podem ser classificados como: salinos ($CEes \geq 4 \text{ dS m}^{-1}$; $PST < 15\%$ e $pH < 8,5$), salino-sódicos ($CEes \geq 4 \text{ dS m}^{-1}$; $PST \geq 15\%$ e $pH \leq 8,5$) ou sódicos ($CEes < 4 \text{ dS m}^{-1}$; $PST \geq 15\%$ e $8,5 < pH < 10$) (USSL ATAFT, 1954).

Os solos afetados por sais ocorrem em todos os continentes (FAO, 2015; LOSS; ROSSI; FRANCELINO, 2010). No entanto, sua maior predominância se dá em regiões áridas e semiáridas, e constituem atualmente, um sério problema para a produção agrícola mundial (ALLBED; KUMAR, 2013). Os sais solúveis e/ou sódio trocável, comumente presentes nos solos dessas regiões, reduzem significativamente o crescimento e desenvolvimento das plantas (ALVES et al., 2020), conseqüentemente a produtividade e produção das culturas de interesse econômico.

A salinização pode ser decorrente de processos naturais (salinidade primária ou natural) ou induzidos pelo homem (salinidade secundária ou antrópica) (PEDROTTI et al., 2015). A salinidade natural é o resultado de altas taxas de evaporação, baixa precipitação pluviométrica, aliadas a determinadas características dos solos, como baixa infiltração. A salinidade antrópica é resultante de práticas inadequadas de manejo do solo, como irrigação, uso indiscriminado de fertilizantes e ausência de sistemas de drenagem eficientes.

Os problemas envolvendo o excesso de sais em solos atingir mais de 100 países no mundo e a cada dia se tornar um problema mais sério, não existem levantamentos recentes com estimativas precisas da verdadeira extensão da degradação (LEAL et al., 2008; PEDROTTI et al., 2015). Segundo documento publicado pela FAO (2015), as

melhores estimativas disponíveis sugerem que cerca de 412 milhões de hectares são afetadas pela salinidade e 618 milhões pela sodicidade.

No Brasil, o assunto tem sido estudado devido à extensa área de clima semiárido existente, onde predominam solos jovens, rasos, pedregosos e muitas vezes ricos em elementos químicos, e que, associados às condições climáticas, são propensos a salinização. Ocorrem também áreas salinas no Rio Grande do Sul e no Pantanal Mato-Grossense (RIBEIRO et al., 2016). Ainda segundo Pedrotti et al. (2015), cerca de 16 milhões de hectares são afetados pela salinização, correspondendo a 2% do território nacional.

Na região Nordeste, solos degradados pela salinidade e sodicidade aumentam, devido ao uso de água com qualidade inadequada e sistemas de irrigação planejados de forma equivocada (RIBEIRO et al., 2016). Nessa região, aproximadamente 91 mil km² de solos encontram-se afetados pela salinidade, sendo que os principais estados atingidos são Bahia, com 44,0%, e Ceará, com 25,5% da área total (LACERDA et al., 2010).

A implicação prática da salinidade sobre o solo é a perda da fertilidade e a susceptibilidade à erosão, além da contaminação do lençol freático e das reservas hídricas subterrâneas (SHOSSLER et al., 2012). Nas últimas décadas, o manejo pouco eficiente do solo, a quantidade disponível para uso em diversos setores e sua qualidade física, química e biológica têm causado grande preocupação. Nesse contexto, a agricultura biossalina mostra-se como uma alternativa viável para o aproveitamento de solos afetados por sais, sugerindo o uso de espécies halófitas e/ou glicófitas tolerantes à salinidade do solo.

2.2 Qualidade da água na agricultura

Desde os primórdios o homem percebeu a importância da água para a vida. Tales de Mileto, filósofo grego do século VI a.C., afirmava que “tudo começa com a água e tudo é composto de água”. A água é fundamental a todo e qualquer tipo de indivíduo vivo, desse modo, sendo essencial na pecuária e na agricultura. Esse último constituindo o setor que mais utiliza água no mundo, cerca de 70%, sobretudo na irrigação.

No mundo, aproximadamente 1,6 bilhão de hectares de solos são destinados a produção agrícola, desse total cerca de 310 milhões de hectares são de áreas irrigadas. As áreas irrigadas correspondem a 20% da superfície agricultada, porém são responsáveis por 40% da produção agrícola mundial (CONGROVE; COSGROVE, 2012). Desse total, estima-se que 19,5% enfrentem problemas de salinidade (PEDROTTI et al., 2015).

A qualidade da água utilizada na produção agrícola é definida pelos parâmetros físicos, químicos e biológicos que ela apresenta, sendo que os processos edáficos são os principais responsáveis pela sua qualidade. Contudo, para a avaliação da qualidade da água para irrigação, leva-se em consideração, principalmente, os parâmetros físicos e químicos e poucas são as vezes em que outros fatores são considerados importantes (AYERS; WESTCOT, 1999).

A qualidade da água para irrigação, relaciona-se com seus efeitos prejudiciais aos solos e as culturas (AYERS; WESTCOT, 1999). Fatores como atributos do solo, condições climáticas, culturas a serem exploradas, além de métodos, sistemas de irrigação e o próprio manejo da irrigação, são fatores cruciais que devem ser analisados em conjunto com as características físico-químicas da água, antes de sua recomendação para a irrigação.

Assim, a água utilizada na irrigação é crucial para manter a qualidade físico-química dos solos, visto que toda água utilizada contém sais dissolvidos e que o emprego de águas com quantidade restritiva de sais, como é o caso do rejeito de dessalinizadores, deve ser precedida de estudos que avaliem o seu impacto sobre o solo, além de possíveis espécies de plantas adaptadas, que podem ser empregadas de forma adequada para o aproveitamento desse rejeito.

Neves et al. (2017) relatam que mais de 3 mil dessalinizadores de osmose reversa estão em funcionamento no semiárido brasileiro, gerando água potável e rejeito salino, que pode contaminar o lençol freático e gerar sérios impactos ambientais. Portanto, alternativas de utilização desta água salina descartada devem ser incentivadas, principalmente se for possível reverter em aumento de produção agrícola.

2.3 Efeitos do estresse salino sobre as plantas

Os efeitos deletérios da salinidade sobre as plantas são associados à redução no potencial osmótico da solução do solo, efeitos de íons específicos, distúrbio na nutrição das plantas ou a interação entre esses fatores, provoca sérios prejuízos à atividade agrícola (ASHRAF, 1994; CAVALCANTE et al., 2010).

Os aspectos fisiológicos, metabólicos e nutricionais das plantas são afetados pelos efeitos do estresse salino (ZHU, 2002; SCHOSSLER et al., 2012), prejudicando assim o desenvolvimento e crescimento das plantas (PRISCO; GOMES-FILHO, 2010). As espécies se comportam de forma diferenciada quanto aos efeitos dos sais, ou seja, cada espécie tolera certo nível de salinidade, sem perda de crescimento e capacidade produtiva,

sendo esse nível de tolerância conhecido como salinidade limiar (AYERS; WESTCOT, 1999; ELOI et al., 2011).

A absorção de água pelas raízes também é afetada pela salinidade, pois a presença de sais na solução do solo provoca aumento nas forças de retenção pelo efeito osmótico. O aumento da pressão osmótica pode atingir níveis em que a planta não consegue exercer força suficiente para absorver água, ainda que o solo se encontre aparentemente úmido, fenômeno conhecido como seca fisiológica (DIAS; BLANCO, 2010; ALVES et al., 2011). Dependendo do grau de salinidade do solo a que as plantas são submetidas, pode ocorrer plasmólise das células das raízes e, ao invés de absorver, a planta perde água para a solução do solo (DIAS; BLANCO, 2010).

Os efeitos degenerativos provocados pelos sais resultam em modificações nos mecanismos bioquímicos e fisiológicos das plantas, alterando, dentre outros, os teores foliares de clorofila e carotenoides, que comprometem a atividade fotossintética e, conseqüentemente, o crescimento, o desenvolvimento, a produção e a adaptabilidade aos ambientes adversos (CAVALCANTE et al., 2011).

O estudo sobre os efeitos causados pelos sais sobre as plantas é fundamental, sobretudo, para adoção de práticas de manejo que permitam a produção comercial, com o uso de água salina, diminuindo assim o uso de água de boa qualidade na produção agrícola.

2.4 Agricultura biossalina

A água doce está se tornando um bem a cada dia mais escasso, sobretudo em regiões áridas e semiáridas do mundo, onde sua disponibilidade está diminuindo. Essa disponibilidade de água é afetada por diversos fatores, como necessidade de irrigação, mudanças nas demandas dos consumidores, crescimento populacional constante, além de mudanças climáticas presentes e futuras (ARAUS et al., 2021). Por estes motivos, a agricultura necessita abordar novas estratégias para o aproveitamento de terras marginais e recursos hídricos considerados inapropriados para a agricultura. Historicamente, a salinização do solo e da água tem aumentado significativamente devido a várias causas, e o aumento da produção alimentar depende essencialmente destes recursos. Neste contexto, as abordagens baseadas em plantas tolerantes a salinidade e o uso de águas e solos afetados por sais, são vitais para a produção agrícola.

A utilização de água salina para irrigar culturas é uma ideia antiga, iniciada após o fim da II Guerra Mundial na cidade de Eilat em Israel, pelo ecologista Hugo Boyko e a

horticultora Elisabeth Boyko, em 1949. Devido à falta de água doce na região, o casal utilizou água salgada de poços e do Mar Vermelho, com o objetivo de alterar a paisagem e permitir que fosse habitada (GLENN et al., 1988), dando início ao que atualmente é denominado de agricultura bioessalina.

O termo “agricultura bioessalina” é amplo e tem sido utilizado para descrever a agricultura praticada com o uso de águas e/ou solos salinos ou salinizados, para cultivo de espécies tolerantes ao estresse salino ou halófitas, espécies naturalmente adaptadas a crescer e produzir em condições com altas concentrações de sais (MASTERS et al., 2007; FREIRE; FREIRE; SOUZA, 2016).

As plantas halófitas são usadas como forragem para ruminantes ou como componentes de rações mistas, em substituição a alimentos volumosos, contribuindo para a produção de carne, lã e outros subprodutos de origem animal (MASTERS et al., 2007; NORMAN et al., 2008; ARAUS et al., 2021). Na alimentação humana, pode ser consumida na culinária “*gourmet*”, como é o exemplo da salicornia, por apresentar altos teores de proteínas e antioxidantes (BARREIRA et al., 2017; COSTA et al., 2018).

Países como Índia, México, China, aqueles localizados no Golfo Árabe, dentre outros, criaram novos ecossistemas utilizando água salgada, com o uso direto ou de misturas de águas residuárias (FERNANDES et al., 2016). Na China, por exemplo houve o acréscimo das espécies *Phragmites australis*, *Miscanthus* spp e *Spartina alterniflora*, como plantas halófitas com potencial de cultivo viável para produção de biocombustíveis (Liu et al., 2012).

As plantas do gênero *Salicornia* vêm ganhando notoriedade nesse cenário, pois apresentam alto potencial nutricional (VILLARREAL et al., 2021), contém grandes quantidades de proteínas e sais minerais, além de teores significativos de ácidos graxos e antioxidantes, que são desejáveis na dieta humana (LOCONSOLE; CRISTIANO; LUCIA, 2019). A salicornia tem sido cultivada em diferentes partes do mundo, por exemplo EUA, México, Israel, Arábia Saudita, Eritreia e Brasil, com efluentes salinos ou com água do mar como cultura experimental ou comercial (VENTURA et al., 2015; PATEL, 2016).

A planta halófitas *Salicornia neei* [sin. *Salicornia gaudichaudiana* Moq. e *Sarcocornia ambigua* (Michx.) M. A. Alonso & M. B. Crespo] se destaca por sua elevada qualidade nutricional e por apresentar potencial para diversos usos, especialmente na culinária em substituição ao sal de cozinha (BERTIN et al., 2014; TIMM et al., 2015), além de poder ser utilizada na alimentação animal (D'OCA et al., 2012; COSTA et al.,

2014; BERTIN et al., 2014), produção de biocombustíveis (D'OCA et al., 2012; COSTA et al., 2014) e pela indústria farmacêutica (BERTIN et al., 2014).

Assim, a agricultura biossalina apresenta um potencial para desempenhar um importante papel na produção de alimentos de origem vegetal e animal, sendo essenciais pesquisas para vislumbrar o potencial de uso de espécies halófitas e a possibilidade de cultivo em áreas salinizadas e seu uso efetivo, assim como a utilização de águas salinas não adequadas à agricultura convencional.

2.5 Emprego de plantas na recuperação de solos salinos

Os solos salinos são um problema para a agricultura mundial, contudo eles podem ser vistos como uma nova oportunidade de produção, sobretudo quando se utiliza plantas halófitas com elevado potencial agrônômico capazes de produzir grande volume de biomassa, como a *Salicornia neei*, com produtividade que pode superar 85 t ha⁻¹ (ALVES et al., 2020), havendo a possibilidade de ser usada como biorremediadora desses solos.

A fitorremediação é um processo em que plantas são usadas como agentes de redução da poluição da água e/ou do solo, e que podem ser utilizadas para reabilitação sustentável de solos contaminados por sais solúveis (SUSARLA et al., 2002). O processo vem se destacando devido a praticidade e ao baixo custo, quando comparado a outras tecnologias empregadas para melhoria dos solos contaminados (LI et al., 2015).

As plantas são usadas para recuperar solos em todo o mundo, não só solos degradados pelo excesso de sais (LEAL et al., 2008; LI et al., 2015; MACHADO; SERRALHEIRO, 2017), mas também por metais (SILVA et al., 2019; NASCIMENTO et al., 2021) e em processo de desertificação (FIGUEIREDO, 2013), por exemplo.

Determinadas espécies vegetais apresentam a capacidade de acumular quantidades expressivas de sais, sobretudo em sua parte aérea, e são conhecidas como hiperacumuladoras (QADIR et al., 1996; QADIR et al., 2007). A habilidade das plantas em absorver, produzir quantidade significativa de biomassa e a capacidade de hiperacumular sais em seus tecidos, são atributos desejados no processo de fitorremediação (PORTO et al., 2001).

Qadir (2007) menciona alguns dos benefícios da fitorremediação de solos salinos, como a possibilidade do uso de subprodutos fornecidos pelas espécies cultivadas, melhoria na estabilidade de agregados, promove maior disponibilidade de nutrientes e pode reduzir os custos com corretivos químicos, aumenta o carbono orgânico do solo,

melhorando gradualmente as propriedades dos solos. Além de que, é uma técnica capaz de ser exequível por agricultores que dispõem de poucos recursos financeiros.

Diante do exposto, e levando em consideração o aumento das áreas salinizadas e o alto custo econômico de corretivos químicos para revitalizar essas áreas, o estudo com espécies halófitas que podem ser utilizadas para o melhor aproveitamento de terras e de recursos hídricos que são afetados por sais, é extremamente necessário.

2.6. Micro-organismos em solos salinos

A salinização dos solos é um dos processos degradantes mais comumente encontrados em regiões áridas e semiáridas. Solos salinos são considerados como sendo um ambiente extremo, onde as condições são limitantes para o crescimento e desenvolvimento da maioria dos organismos, sejam de origem vegetal ou animal. Micro-organismos que habitam solos salinos são considerados extremófilos, sendo capazes de sobreviver em condições ambientais extremas, como altas temperaturas, pressão, pH ou salinidade.

A concentração de sais presentes no solo, afeta comunidades microbianas. Geralmente em ambientes hipersalinos são encontrados desde bactérias moderadamente halofílicas a bactérias extremamente halofílicas, além de comunidades de Archaea (CANFORA et al., 2015). Esses organismos são essenciais para os processos biogeoquímicos, principalmente no caso de solos inseridos em ambientes com condições extremas (MA; GONG, 2013).

Para a adaptação às condições de elevada salinidade, os micro-organismos desenvolvem mecanismos específicos como modificações de suas membranas celulares. Além disso, pode ocorrer o acúmulo intracelular de quantidades significativas de íons ou outros osmólitos, como forma de compensar o estresse osmótico (OREN, 1999; GALINSKI, 1995). Tais mecanismos demandam muita energia para a sobrevivência dos micro-organismos, afim de manter a turgescência celular e evitar a desidratação (RATH; ROUSK, 2015), efeitos que conseqüentemente afetam os mecanismos de crescimento.

Os micro-organismos podem facilitar o crescimento e a tolerância das plantas às condições ambientais adversas (BORRUSO et al., 2014; SZYMAŃSKA et al., 2016). As interações entre plantas e bactérias ocorrem por meio de processos simbióticos, endofíticos ou associativos (SOUZA; AMBROSINI; PASSAGLIA, 2015). Assim, sugere-se que os mecanismos de adaptação das plantas halófitas à salinidade estão, possivelmente, ligados a micro-organismos halotolerantes (SZYMAŃSKA et al., 2018).

Dessa forma, estudos com micro-organismos halófilicos se destacam pelo potencial biotecnológico, especialmente estes isolados do Bioma Caatinga, destacando sua diversidade e necessidade de continuar estudando esses ambientes extremos, ainda pouco conhecidos em relação a ecologia de bactérias edáficas halotolerantes.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Experimento de casa de vegetação

3.1.1 Desenho experimental

O experimento foi desenvolvido de outubro de 2018 a junho de 2019 no Departamento de Agronomia da Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, localizada no município de Recife, Pernambuco, Brasil, situado nas coordenadas geográficas 8°03'14'' de latitude Sul, 34°52'51'' de longitude Oeste e altitude média de 28 m.

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, com estrutura metálica, medindo 4,50 m de altura na cumeeira e 2,30 m de pé direito, 9,0 m de largura e 18,0 m de comprimento. A cobertura consiste de vidro transparente, com espessura de 2 mm, e apresentando tela anti-afídeos nas laterais, e nas portas da frente e do fundo.

Os tratamentos foram distribuídos em blocos casualizados, dispostos em esquema fatorial 6×4 , referentes a seis proporções de água de dessalinizador e água potável, e quatro classes de solos coletados em cidades do Sertão e Agreste pernambucano, em quatro repetições, totalizando noventa e seis unidades experimentais, em que cada unidade experimental foi composta por um vaso com duas plantas.

Os tratamentos salinos aplicados foram compostos por misturas em diferentes proporções de água de rejeito de dessalinizador e água potável. O rejeito foi coletado em dessalinizador localizado no município de Riacho das Almas, Pernambuco, PE, Brasil, e a água potável foi oriunda do sistema de abastecimento da cidade do Recife. As proporções utilizadas foram: A₁ – 100% água potável (tratamento controle); A₂ – 15% de rejeito salino + 85% de água potável; A₃ – 30% de rejeito salino + 70% de água potável; A₄ – 50% de rejeito salino + 50% de água potável; A₅ – 70% de rejeito salino + 30% de água potável e A₆ – 100% de rejeito salino. As águas utilizadas como tratamentos de irrigação, resultantes das diferentes proporções de misturas foram analisadas e classificadas quanto a sua qualidade para irrigação (RICHARDS, 1954). As diluições (rejeito salino + água potável), apresentam severas restrições de uso ($CE > 3,0 \text{ dS m}^{-1}$) para irrigação, exceto a A₁ que apresentou CE de $0,19 \text{ dS m}^{-1}$ (AYERS; WESTCOT, 1999) (Tabela 1).

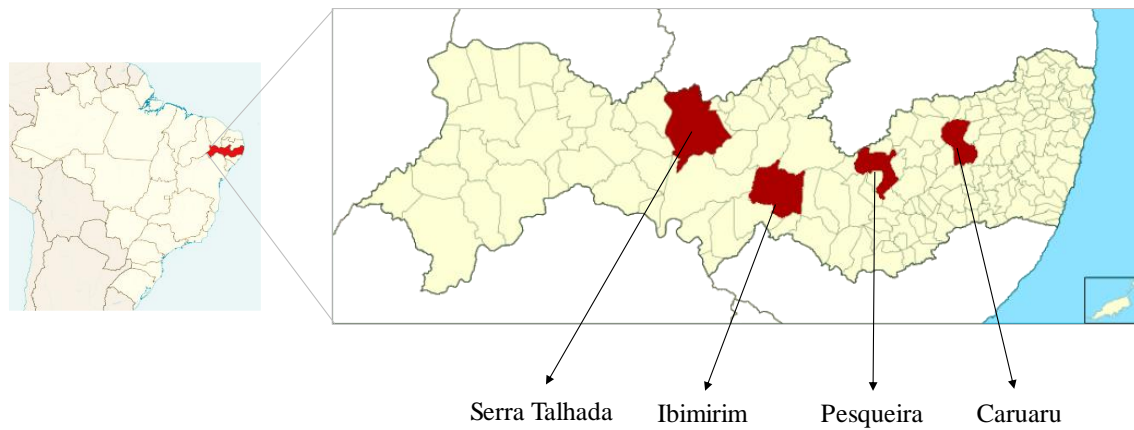
Tabela 1 - Atributos químicos das águas (rejeito salino + água potável) utilizadas para irrigação no período experimental ($\eta = 30$).

Águas utilizadas na irrigação						
Atributos	A1	A2	A3	A4	A5	A6
pH (25°C)	7,52	7,18	7,42	7,39	7,67	7,79
CE (dS m ⁻¹)	0,19	4,87	8,62	14,09	18,08	23,32
Ca²⁺ (mmol _c L ⁻¹)	0,40	8,71	15,55	49,90	57,06	69,61
Mg²⁺ (mmol _c L ⁻¹)	0,45	26,76	39,87	73,40	90,76	157,93
Na⁺ (mmol _c L ⁻¹)	0,95	26,33	53,53	98,47	140,90	216,78
K⁺ (mmol _c L ⁻¹)	0,14	0,57	0,96	1,71	2,30	3,23
SO₄⁻ (mmol _c L ⁻¹)	ND	ND	ND	ND	ND	ND
CO₃²⁻ (mmol _c L ⁻¹)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
HCO₃⁻ (mmol _c L ⁻¹)	1,58	2,33	3,25	4,30	5,10	5,95
Cl⁻ (mmol _c L ⁻¹)	12,08	53,33	102,50	162,50	206,67	285,00
SDT (mg L ⁻¹)	104,47	2061,40	5476,49	9535,76	14653,50	21571,14
RAS (mmol _c L ⁻¹) ^{0,5}	1,46	6,25	10,17	12,54	16,39	20,32
Classificação ¹	C ₁ S ₁	C ₄ S ₂	C ₄ S ₃	C ₄ S ₄	C ₄ S ₄	C ₄ S ₄

pH = potencial hidrogeniônico; CE = condutividade elétrica; ND = não determinado; SDT = sólidos dissolvidos totais; RAS = razão de adsorção de sódio; ¹ Classificação de Richards (1954).

Os solos utilizados como substrato para cultivo das plantas de salicórnia foram coletados nos municípios de Caruaru (S₁ – Planossolo Háplico); Serra Talhada (S₂ – Cambissolo Háplico, classificado por Cruz et al. 2015); Ibimirim (S₃ – Neossolo Flúvico, classificado por Pessoa et al. 2019) e Pesqueira (S₄ – Neossolo Flúvico, classificado conforme Corrêa e Ribeiro, 2001) (Figura 1). A coleta dos solos foi realizada na camada de 0 – 0,30 m de profundidade. Após a coleta os solos foram transportados para Recife – PE, onde foram postos para secar à sombra, destorroados e tamisados em malha de 4 mm, para manutenção da microagregação e separação das frações grosseiras dos solos (pedras e possíveis raízes).

Figura 1 - Municípios pernambucanos onde foram realizadas as coletas dos solos.



Após o preparo, cada solo foi homogeneizado e foram retiradas subamostras para posterior caracterização. A caracterização granulométrica e química foi feita em solo destorroado e passado em peneira com abertura de 2 mm para a obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA), conforme métodos descritos em EMBRAPA (2017) e Freire et al. (2016) (Tabela 2).

Tabela 2 - Caracterização química e granulométrica dos solos utilizados no experimento.

Caracterização química										Caracterização granulométrica				
Complexo sortivo				Extrato de saturação				Frações						
Atributos	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	Atributos	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	
-	-	-	-	-	CE _{es} (dS m ⁻¹)	6,94	0,47	43,23	49,47	Areia total (g kg ⁻¹)	731,48	704,88	96,20	568,12
pH _(1:2,5)	6,25	6,60	7,99	8,45	pH _{es}	7,45	7,38	7,95	8,19	Areia grossa (g kg ⁻¹)	487,12	384,09	25,61	220,43
Ca ²⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	1,14	4,41	5,19	2,32	Ca ²⁺ (mmol _c L ⁻¹)	6,38	9,73	25,16	14,71	Areia fina (g kg ⁻¹)	244,36	320,79	70,59	347,69
Mg ²⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	3,31	0,88	20,67	31,86	Mg ²⁺ (mmol _c L ⁻¹)	4,48	3,72	15,27	19,89	Silte (g kg ⁻¹)	179,78	181,19	215,73	344,74
Na ⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	0,45	0,39	4,64	4,82	Na ⁺ (mmol _c L ⁻¹)	5,25	4,53	329,9	439,1	Argila (g kg ⁻¹)	88,74	113,93	688,07	87,14
K ⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	0,32	0,54	1,71	1,92	K ⁺ (mmol _c L ⁻¹)	2,36	5,02	1,72	4,18	Classe textural*	FA	FA	MA	FA
SB (cmol _c kg ⁻¹)	5,22	6,22	32,21	40,92	Cl ⁻ (mmol _c L ⁻¹)	29,06	15,0	182,5	388,0					
PST (%)	8,62	6,27	14,41	11,78	RAS (mmol _c L ⁻¹) ^{0,5}	2,25	1,75	73,37	105,6					

pH = potencial hidrogeniônico em água; SB = soma de bases; PST = percentagem de sódio trocável; CE_{es} = condutividade elétrica do extrato de saturação; pH_{es} = potencial hidrogeniônico do extrato de saturação; RAS = relação de adsorção de sódio; FA = franco arenoso; MA = muito argilosa.

*Segundo classificação proposta por Lemos e Santos, 1984.

3.1.2 Instalação do experimento

As plantas de *Salicornia neei* usadas foram produzidas na sede do Instituto Agrônômico de Pernambuco (IPA), propagadas por estaquia a partir de um canteiro de plantas matrizes, em que foram retiradas hastes lignificadas de 10 cm de comprimento com gemas preservadas e fundo chanfrado. As estacas colocadas para enraizar em bandejas de isopor com 200 células (capacidade de cada célula: 15,58 ml), preenchidas com substrato comercial e as bandejas foram colocadas em casa de vegetação coberta com tela sombrite preta com retenção parcial da luz solar (50%).

As mudas foram transplantadas para vasos de material plástico, com volume de 8 litros, preenchidos com as amostras dos solos coletados, aos 80 dias após o processo de estaquia. No momento do transplante foram padronizadas quanto à altura, diâmetro caulinar, número de hastes e quanto a ausência de possíveis sintomas de fitopatógenos, buscando a maior uniformidade possível.

Os vasos continham orifícios na extremidade inferior que foram previamente fechados para evitar a possível perda de água e sais por lixiviação durante a condução do experimento. Os vasos foram preenchidos com os solos de acordo com a combinação de tratamento designado previamente, deixando-se aproximadamente 3 cm de altura da superfície do solo para a borda do vaso (Figura 2A). Os vasos foram dispostos sobre bancadas com 70 cm de altura, 200 cm de comprimento e 125 cm de largura, conforme a Figura 2.

Figura 2 - Dimensões e preenchimento dos vasos (A) e disposição dos vasos prontos para receberem as plantas (B).



3.1.3 Manejo e condução do experimento

Após o transplante, as mudas foram aclimatadas durante 60 dias, período em que foram irrigadas com água não salina (A_1), devido à presença de sintomas estresse pós-transplante. Após esse período, as plantas passaram a ser irrigadas com as águas formadas pelas diferentes concentrações salinas. O experimento teve duração de 180 dias, contados a partir do início da aplicação dos tratamentos com águas salinas.

A água de irrigação foi aplicada com o objetivo de deixar o solo em 80% da capacidade máxima de retenção de água do solo. Para isto, antes do transplante foi realizado um ensaio para determinar a capacidade de campo dos solos de acordo com Casaroli e Van Lier (2008). Cada solo usado no experimento foi acondicionado nos vasos de volume igual aos usados no ensaio com as plantas, cada solo em três repetições, e foram colocados para saturar em caixa-d'água com volume de água equivalente a $2/3$ da altura dos vasos (Figura 3).

Dessa forma, os vasos foram mantidos por um período de 48 horas, para que ocorresse a saturação completa. Logo depois, eles foram cobertos com filme plástico, para evitar perdas por evaporação, e colocados para drenar livremente, sendo medidas suas massas nos tempos zero e posteriormente a cada 24 horas até obtenção de peso constante.

Figura 3 - Pesagem realizada antes e depois da saturação (A), vasos acondicionados dentro da caixa-d'água prontos para iniciar o processo de saturação (B) e solos após 48 horas de saturação (C).



3.1.4 Variáveis analisadas

Avaliação das hastes principais e secundárias

O comprimento das hastes foi avaliado aos 90 dias após o início dos tratamentos salinos, ocasião em que foi realizada uma colheita na parte aérea das plantas a 2 cm da superfície do solo. Foram realizadas medidas, também, após a colheita, aos 180 dias de

aplicação de águas salinas na irrigação das plantas, medindo-se com o auxílio de trena métrica graduada em centímetros. Para a avaliação do comprimento de hastes foi selecionada a haste principal de cada planta e realizada a medição a partir da superfície do substrato até a extremidade da haste e o valor expresso em cm.

O número de hastes foi obtido pela contagem simples, a partir da base da planta até o seu ápice. As avaliações foram realizadas aos 90 e 180 dias após o início dos tratamentos salinos.

Produção de biomassa

Aos 180 dias após o início dos tratamentos salinos, as plantas foram colhidas e particionada em raiz e parte aérea para a determinação da produção de matéria fresca da raiz e parte aérea e os valores expressos em gramas. Para a produção de matéria fresca da parte aérea, foram somados os valores obtidos na primeira colheita e na colheita final das plantas.

Após a colheita e obtenção da matéria fresca, as partes das plantas foram acondicionadas em sacos de papel e colocadas para secar em estufa com circulação de ar forçada, mantendo-se a temperatura na faixa de 65 a 70 °C. O tempo de secagem foi determinado por pesagem das amostras até a manutenção de peso constante. Após a secagem, as amostras foram pesadas para determinação da produção de matéria seca acumulada em parte aérea e raiz. Para a produção de matéria seca da parte aérea foram somados os valores obtidos no primeiro e na segunda colheita.

Trocas gasosas e pigmentos

Foram realizadas medições da temperatura e das taxas de fotossíntese, transpiração, condutância estomática e concentração interna de CO₂ em hastes totalmente desenvolvidas, aos 90 e 180 dias após o início dos tratamentos salinos, utilizando-se o analisador de gases infravermelho portátil (IRGA). As medições foram realizadas sempre no período entre 12:00 e 13:00 h em condições ambiente de temperatura e umidade relativa do ar. A intensidade luminosa utilizada nas medições de trocas gasosas foi de 1.200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Com os resultados de trocas gasosas foram determinadas a eficiência instantânea de uso da água, calculada pela razão entre fotossíntese e transpiração, e a eficiência intrínseca de uso da água, calculada pela razão entre fotossíntese e condutância estomática.

Determinação de pigmentos fotossintetizantes

A determinação dos teores de clorofilas a , b , total e carotenoides foi realizada por método destrutivo, coletando-se 0,1 g de matéria fresca das hastes das plantas, cortadas em pequenos pedaços e colocadas em tubos de ensaio rosqueados, cobertos com papel alumínio para evitar a passagem de luz, adicionando-se 10 mL de acetona a 80% e armazenando-se sob refrigeração, por um período mínimo de 24 e máximo de 48 horas.

Os teores de clorofila α , β , total e carotenoides foram quantificados por espectrofotometria, fazendo-se leituras das amostras nos comprimentos de onda de 470, 645 e 663 nm. Os valores foram calculados pelas fórmulas descritas abaixo, conforme metodologia de Arnon (1949), onde “A” é a absorvância no comprimento de onda utilizado, os resultados expressos em miligramas de clorofila por grama de matéria fresca:

$$\text{Clorofila}_\alpha = 12,7A_{663\text{nm}} - 2,69A_{645\text{nm}}$$

$$\text{Clorofila}_\beta = 22,9A_{645\text{nm}} - 4,68A_{663\text{nm}}$$

$$\text{Clorofila}_{\text{total}} = \text{Clorofila}_\alpha + \text{Clorofila}_\beta$$

$$\text{Carotenoides} = [1000A_{470\text{nm}} - 2,13 (\text{Clorofila}_\alpha) - 97,64 (\text{Clorofila}_\beta/209)]$$

Avaliação do estado nutricional das plantas

Para avaliar o estado nutricional das plantas, foram utilizadas amostras de raízes, coletadas aos 180 dias de cultivo e hastes secas em estufa, coletadas aos 90 e 180 dias de cultivo com rejeito salino. As raízes e as hastes foram trituradas em moinho tipo Willey e o extrato preparado por digestão nítrica (ácido nítrico + peróxido de hidrogênio, 2:1). Os extratos foram utilizados para determinação dos teores de Na, K, Ca e Mg. Sendo Na e K dosados por fotometria de emissão de chama; e Ca e Mg por espectrofotometria de absorção atômica.

Análises químicas do solo

Ao final do experimento foram coletadas amostras de solo de cada unidade experimental para avaliação dos atributos químicos. As amostras de solo foram submetidas às análises dos elementos solúveis, com o preparo da pasta saturada, pelo método descrito por USSL Staff (1954). No extrato da pasta saturada foram mensurados a condutividade elétrica (CE a 25 °C) e o pH; determinados os cátions solúveis: Ca^{2+} e Mg^{2+} por espectrofotometria de absorção atômica; Na^+ e K^+ por fotometria de emissão de chama e o ânion Cl^- por volumetria.

Foi realizada a medida do pH em água (1:2,5); a determinação dos cátions trocáveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ e K^+), extraídos com acetato de amônio 1 mol L⁻¹ a pH 7,0

(THOMAS, 1982), sendo Na^+ e K^+ dosados por fotometria de chama, e Ca^{2+} e Mg^{2+} por espectrofotometria de absorção atômica (USSL STAFF, 1954). Com os resultados das análises, foram calculadas a capacidade de troca de cátions (CTC), relação de adsorção de sódio (RAS) e a percentagem de sódio trocável (PST), conforme USSL Staff (1954).

3.1.5. Análises estatísticas

Os resultados obtidos foram tabulados e submetidos à análise da variância para avaliar o efeito das variáveis independentes e de suas interações sobre as variáveis dependentes, utilizando o teste F ($p \leq 0,05$). Os efeitos quantitativos dos níveis de salinidade da água de irrigação foram testados por regressão, utilizando o teste F para verificar a significância dos efeitos ortogonais, admitindo-se erro de até 5% de probabilidade e escolhendo-se o modelo com maior coeficiente de determinação (R^2). As variáveis qualitativas com efeito significativo foram comparadas por testes de médias ou contrastes ortogonais. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do software estatístico R v. 4.0.2, pacote ExpDes.pt (R CORE TEAM, 2020).

3.2 Experimento em campo

3.2.1 Localização do experimento

O experimento foi conduzido de campo aberto no período de dezembro de 2019 a fevereiro de 2021 em propriedade particular, localizada no distrito de Maniçoba, distante a 35 Km do município de Juazeiro, Bahia, Brasil, situado nas coordenadas geográficas $9^{\circ}18'22''\text{S}$ e $40^{\circ}17'42''\text{W}$ e altitude média de 1100 m. A região possui clima BSh (semiárido quente), segundo classificação de Köppen e apresenta regime pluviométrico médio anual de 400 mm, com temperatura e umidade relativa médias de 27°C e 66%, respectivamente (INMET, 2019). O solo da área experimental é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo Eútrófico (IBGE, 2001).

3.2.2 Preparo da área e instalação do experimento

Antes da instalação do experimento foi realizada a limpeza da área, retirando-se pedras, troncos e eventuais plantas daninhas existentes. Em seguida, foram coletadas amostras de solo, na camada de 0 a 0,30 m, em diferentes pontos da área e formada uma amostra composta, essa amostra foi encaminhada ao laboratório e realizada as análises

químicas, conforme métodos descritos em EMBRAPA (2017) e Freire et al. (2016) (Tabela 3).

Tabela 3 - Caracterização química e granulométrica do solo do experimento de campo.

Caracterização química				Caracterização granulométrica	
Complexo sortivo		Extrato de saturação			
Atributos	Valor	Atributos	Valor	Frações	Valor
-	-	CE _{es} (dS m ⁻¹)	85,30	Areia total (g kg ⁻¹)	523,7
pH _(1:2,5)	6,05	pH _{es}	5,78	Areia grossa (g kg ⁻¹)	317,2
Ca ²⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	2,76	Ca ²⁺ (mmol _c L ⁻¹)	459,81	Areia fina (g kg ⁻¹)	206,5
Mg ²⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	7,03	Mg ²⁺ (mmol _c L ⁻¹)	314,21	Silte (g kg ⁻¹)	119,2
Na ⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	3,20	Na ⁺ (mmol _c L ⁻¹)	317,93	Argila (g kg ⁻¹)	357,1
K ⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	0,76	K ⁺ (mmol _c L ⁻¹)	6,47	Classe textural*	AA
SB (cmol _c kg ⁻¹)	13,75	Cl ⁻ (mmol _c L ⁻¹)	958,80		
PST (%)	23,27	RAS (mmol _c L ⁻¹) ^{0,5}	16,16		

pH = potencial hidrogeniônico em água; SB = soma de bases; PST = percentagem de sódio trocável; CE_{es} = condutividade elétrica do extrato de saturação; pH_{es} = potencial hidrogeniônico do extrato de saturação; RAS = relação de adsorção de sódio; AA = Argilosa arenosa.

*Segundo classificação proposta por Lemos e Santos, 1984.

Após o preparo do solo, foram demarcados 18 canteiros de 1 m², distantes um do outro por 2 m, cada canteiro recebeu 4 mudas de salicornia. As plantas foram obtidas por estaquia e transplantadas para o campo quando estavam com 60 dias e com altura entre 7 e 8 cm.

As plantas foram cultivadas por 14 meses, sem diferenciação de lâmina de irrigação. Após esse período, coletou-se uma planta de cada canteiro, separando-as em raiz e parte aérea e acondicionadas em sacos plásticos, na ocasião também foi realizada a coleta do solo rizosférico. Em seguida as partições foram encaminhadas ao Laboratório de Microbiologia do Solo da Embrapa Semiárido, localizada no município de Petrolina, Pernambuco, Brasil.

3.2.3 Isolamento de micro-organismos

Para isolar os micro-organismos endofíticos foi utilizado a metodologia de Döbereiner et al. (1995). Para o isolamento foi preparado três suspensões bacteriana com a parte aérea, raiz e o solo rizosférico.

O solo da raiz foi retirado, pesado 10 g e colocado em tubos para realização de diluições seriadas até 10⁻⁴. Alíquotas de 0,1 mL das suspensões foram inoculadas em

triplicata em frascos de vidro contendo 7 mL dos meios de cultura NFB, LGI, LGI-P (DOBEREINER et al., 1995) e BMGM (ESTRADA DE LOS SANTOS et al., 2001), semissólidos, todos recomendados para o isolamento de micro-organismos diazotróficos associados a plantas não leguminosas.

Amostras de 10 g de raiz foram desinfestadas superficialmente: imersão por 30 segundos em álcool 70%, 4 minutos em uma solução de NaClO (2% v/v), o excesso do agente sanitizante removido por diversas lavagens em água destilada esterilizada (ADE). Posteriormente, a raiz foi triturada com auxílio de um miniprocessador com 90 mL de NaCl 0,85% (m/v) para a obtenção das suspensões. Foi realizada uma diluição seriada até a diluição 10^{-4} e alíquotas de 0,1 mL foram inoculadas nos tubos contendo os diferentes meios de cultura. Esse mesmo processo foi realizado com a parte aérea, como descrito anteriormente.

Os frascos com os meios inoculados foram incubados a 28° C, por dez dias. Aqueles que desenvolveram película microaerofílica característica foram selecionados e reinoculados no mesmo meio de cultura e mantidos em crescimento por dez dias. Posteriormente, as colônias purificadas foram novamente inoculadas no meio semissólido para confirmação da formação de película, os tubos que apresentaram formação de película foram plaqueados, estocados em meio de cultura líquido com glicerol (25%), armazenados em freezer a -80 °C e integrados à Coleção de Micro-organismos de Interesse Agrícola da Embrapa Semiárido. Após o processo de purificação a coleção foi formada por 30 isolados positivos para formação da película microaerofílica.

3.2.4 Variáveis analisadas

Testes bioquímicos

Os isolados foram crescidos em seus respectivos meios, para verificação de sua pureza, em seguida, foram colocados em meios sem indicador, e colocados em mesa agitadora a 120 rpm, onde ficaram em agitação constante e temperatura ambiente.

Produção de biofilme

Após o tempo de crescimento de cada isolado, transferiu-se 5 µL do caldo de cultivo para cada poço da microplaca de Elisa, esses poços receberam mais 195 µL de meio, e foram deixados crescer em temperatura ambiente, os isolados foram colocados para crescer em triplicata. Foram reservados 3 poços da microplaca para o cultivo de

estirpe referência Ab-V5 (*Azospirillum brasiliense*) e 3 poços com apenas os meios, para verificar possíveis contaminações.

Posteriormente, descartou-se o conteúdo da microplaca e foi realizada 3 lavagens adicionando 200 μL de água destilada esterilizada em cada poço, logo depois, as microplacas foram colocadas para secar em temperatura ambiente por período de 20 minutos. Após secagem, foram adicionados 100 μL de Violeta de Genciana (0,25%), deixando-se em temperatura ambiente por 5 minutos. Em seguida, as microplacas foram lavadas novamente como descrito anteriormente e adicionou-se 200 μL de solução álcool-acetona (proporção 80:20) em cada poço.

Para estimar a produção de biofilme foi construída uma curva de calibração, a partir de diluições de 0; 25; 50; 75; 100; 130; 160; 187,5 e 250 $\mu\text{g mL}^{-1}$ de Violeta de Genciana (0,25%) em solução de álcool-acetona (proporção de 80:20). Os isolados que produziram biofilme, apresentaram coloração roxo azulada, as quais foram submetidas à leitura a 620 nm em espectrofotômetro. A avaliação da formação de biofilme foi realizada seguindo o método descrito por Merino et al. (2009), com modificações.

Produção de AIA

A produção de AIA foi realizada pelo método colorimétrico proposto por Sarwar e Kremer (1995), com adaptações. Foram adicionados 100 μL do pré-inóculo de cada isolado e 3 mL dos meios enriquecidos com L-triptofano (100 $\mu\text{g mL}^{-1}$) em tubos Falcon de 15 mL, foram colocados tubos com estirpe referência Ab-V5 (*Azospirillum brasiliense*) e um controle negativo, apenas com os meios enriquecidos com L-triptofano. As avaliações foram realizadas em triplicata e os tubos submetidos à agitação constante em mesa agitadora a 120 rpm conforme o tempo de crescimento de cada isolado.

Após o crescimento dos isolados, os tubos foram submetidos a centrifugação a 6000 g por período de 5 minutos. Para estimar a produção de AIA, retirou-se uma alíquota de 150 μL do sobrenadante de cada isolado e transferidos para poços da microplaca de Elisa, em seguida, adicionou-se 150 μL do reagente Salkwski, deixando em temperatura ambiente por 30 minutos, os isolados capazes de produzir AIA proporcionaram o surgimento de coloração rósea durante a reação.

A intensidade da coloração foi avaliada em espectrofotômetro UV-Vis (Multiskan GO, Thermo-Scientific). Uma curva padrão foi previamente obtida de concentrações conhecidas de AIA sintético para estimativa de produção de compostos indólicos pelos isolados.

Solubilização de fosfato de cálcio

Os isolados foram submetidos à avaliação da capacidade em solubilizar fosfato inorgânico realizada segundo a metodologia descrita por Sylvester-Bradley et al. (1982). Os isolados foram cultivados em meio de cultura GL e alíquotas de 10 μ L foram inoculadas em meio sólido contendo glicose (10 g L⁻¹), extrato de levedura (2 g L⁻¹) e ágar (15 g L⁻¹) em triplicata. A este meio foram adicionadas as soluções A (5 g de K₂HPO₄ em 50 mL de água) e B (10g de CaCl₂ em 100 mL de água), ajustando-se o pH para 6,5 afim de formar o CaHPO₄ (HARA; OLIVEIRA, 2004). As placas foram incubadas por 15 dias e a capacidade de solubilização do fosfato foi avaliada por meio da formação de halo translúcido ao redor das colônias.

3.2.5 Caracterização genotípica

Extração do DNA dos isolados bacterianos

Para a amplificação dos fragmentos de genes, foi realizado a extração do DNA dos micro-organismos. Para isso, os isolados foram crescidos nos seus respectivos meios sob agitação constante de 120 rpm durante o tempo adequado para cada isolado. Após o crescimento, o DNA foi extraído seguindo o protocolo de extração do kit comercial de DNA genômico bacteriano Wizard Genomic DNA Clean-Up System (PROMEGA) conforme instruções do fabricante. Feito isto, as amostras de DNA foram armazenadas a -20°C até manipulações futuras.

Amplificação de fragmentos do gene *nifH*

Para confirmar a capacidade de fixação de nitrogênio foi amplificado o gene *nifH* dos isolados, utilizando-se os iniciadores PolF (5'-TGCGAYCCSAARGCBGACTC-3') e PolR (5'-ATSGCCATCATYTCRCCGGA-3') (POLY; MONROZIER; BALLY, 2001), amplificando um fragmento de 360 pb do gene *nifH* aproximadamente. A reação de PCR foi dimensionada para um volume final de 10 μ L, contendo tampão de reação 1X, MgCl₂ 2,5 mM, dNTP 10 mM, Taq DNA polimerase 0,25 U e 1 μ M de cada iniciador PolF e PolR. A reação constituiu em um ciclo de desnaturação inicial (5 minutos a 94 °C); 35 ciclos de desnaturação (1 minuto a 94 °C), anelamento (45 segundos a 55 °C); extensão (1 minuto a 72 °C); e um ciclo de extensão final (10 minutos a 72 °C).

Avaliação da variabilidade genética dos isolados

A caracterização do perfil BOX-PCR permitiu quantificar a variabilidade genética da coleção e identificar os perfis redundantes, possibilitando a redução dos isolados para sequenciamento. Os elementos Box do DNA genômico foram amplificados utilizando o primer BOX A1-R (5'CTACGGCAAGGCGACGCTGACG-3'), que amplifica regiões palindrômicas e repetitivas do DNA cromossômico (VERSALOVIC et al., 1994).

A reação de amplificação foi realizada em termociclador Veriti 96 well (Applied Biosystems, EUA), com um volume final da amostra de 10 µL, contendo as seguintes concentrações finais: tampão 10X (10% do volume de reação); dNTPs 1,5 µM; MgCl₂ 3 µM; primer BOX 2 µM; Taq DNA Polimerase 1U; DNA molde (40-100 ng), completando com água ultrapura. Os ciclos de desnaturação adotados foram: um ciclo de desnaturação inicial a 95°C por 6 min, 35 ciclos de desnaturação (30 s a 90°C), anelamento (1 min a 52°C) e extensão (8 min a 65°C), um ciclo de extensão final a 65°C por 16 min (VERSALOVIC et al., 1994).

Os fragmentos que foram amplificados foram separados por eletroforese a 160 V em gel de agarose a 1,5%, documentado por meio de fotografia com um transluminador de luz UV. O marcador molecular 1 kb foi utilizado para comparação do tamanho das bandas. Com a separação desses fragmentos, foram obtidos perfis de bandas idênticas, sendo selecionados isolados (no mínimo um por perfil) para sequenciamento futuro do 16s.

Análise de Restrição do DNA Ribossomal Amplificado (ARDRA)

Os isolados considerados diferentes pelo método BOX-PCR, foram avaliados quanto a sua variabilidade genética pela técnica de Análise de Restrição do DNA Ribossomal Amplificado (ARDRA). Para a ARDRA, o gene 16S rRNA, foi amplificado utilizando os iniciadores universais 24F (AGAGTTTGATCMTGGCTCAG) e 1492 R (TACGGYTACCTTGTTACGACTT) (WEISBURG et al., 1991).

Para a restrição foram utilizadas duas endonucleases, MspI e HinfI (Thermo Scientific, EUA). As digestões ocorreram em overnight a 37°C em um volume final de 10 µL, contendo: 1 µL do tampão de reação 1X, endonucleases 5 U e 5 µL do produto da PCR. Os produtos da digestão foram submetidos a eletroforese horizontal em gel de agarose (1,0% p/v) a 100 V por 120 minutos, em tampão Tris-borato-EDTA (TBE) 0,5X. Para verificar o tamanho dos fragmentos, utilizou-se nas laterais dos géis, o marcador de peso molecular 100 pb DNA Ladder (DNA Express).

Ao final da eletroforese, os géis foram fotodocumentados no LPix-STi (Loccus Biotecnologia, Brasil), as imagens dos géis foram analisadas com auxílio do programa BioNumerics 7.6 (Applied Maths, Bélgica), utilizando o coeficiente de Dice e o método de agrupamento UPGMA para a construção do dendrograma de similaridade.

Sequenciamento do gene 16S rRNA

Para selecionar isolados para sequenciamento, foram escolhidos representantes a partir do agrupamento gerado pelo ARDRA para o sequenciamento do gene 16S rRNA. Para isso, a amplificação do gene 16S rRNA foi realizada utilizando as mesmas condições e iniciadores descritos anteriormente no tópico de análise de restrição do DNA Ribossomal Amplificado, em que, após a amplificação, os produtos da PCR foram purificados com o kit comercial QIAquick PCR Purification Kit (QIAGEN) e, em seguida, enviados para sequenciamento na empresa Macrogen. (Seul, Coréia do Sul).

A qualidade das sequências obtidas foi avaliada com o programa SeqScanner v 2.0 (Applied Biosystems, EUA). A similaridade das sequências obtidas foi comparada com aquelas depositadas no banco de dados GenBank do National Center for Biotechnology Information (NCBI), usando a ferramenta BLASTn.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Número e comprimento de hastes principais e secundárias

A interação entre os fatores Solo \times Água, exerceu efeito significativo sobre todas as variáveis resposta, indicando dependência dos fatores.

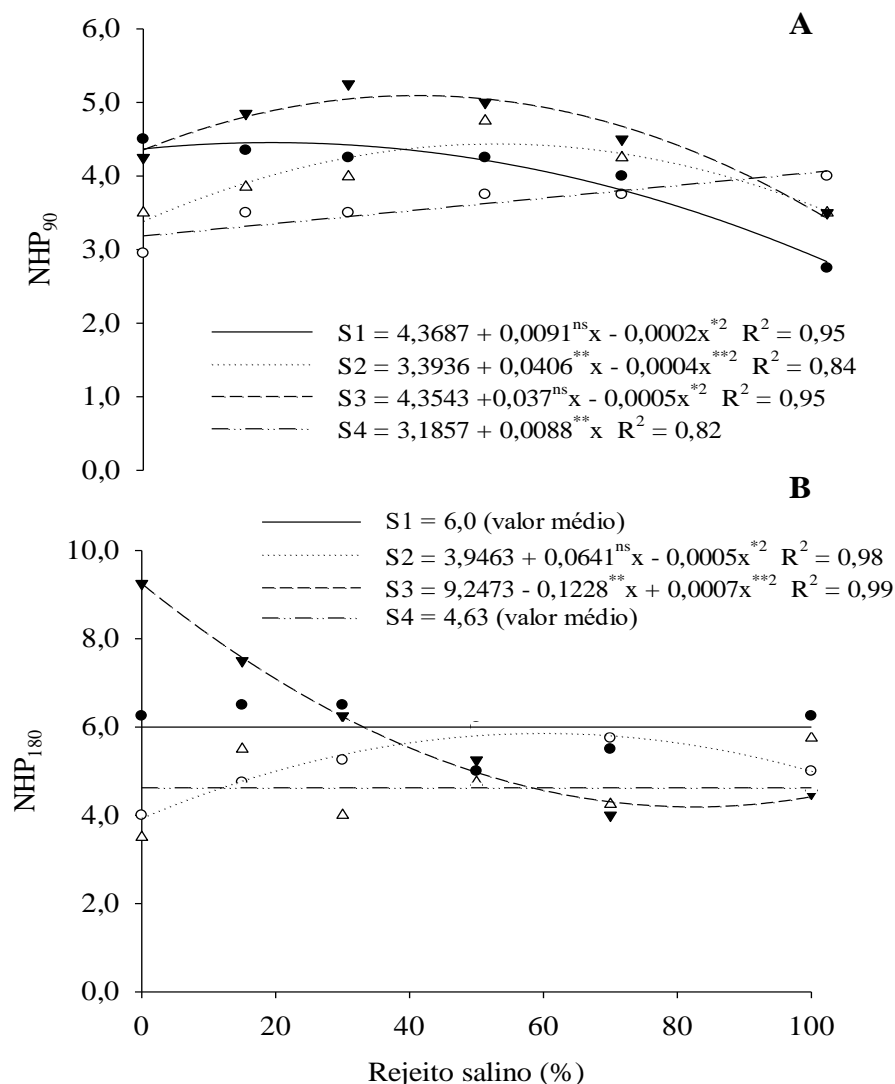
Tabela 4 - Resumo da análise de variância para o número de hastes principais aos 90 e 180 dias após início dos tratamentos salinos (NHP₉₀ e NHP₁₈₀); altura de hastes principais aos 90 e 180 dias após início dos tratamentos salinos (CHP₉₀ e CHP₁₈₀); número de hastes secundárias aos 90 e 180 dias após início dos tratamentos salinos (NHS₉₀ e NHS₁₈₀); comprimento de hastes secundárias aos 90 e 180 dias após início dos tratamentos salinos (CHS₉₀ e CHS₁₈₀) de plantas de *Salicornia neei* submetidas a cultivo em diferentes solos e diferentes proporções de rejeito salino.

Quadrados médios									
FV	GL	NHP ₉₀	NHP ₁₈₀	AHP ₉₀	AHP ₁₈₀	NHS ₉₀	NHS ₁₈₀	CHS ₉₀	CHS ₁₈₀
Bloco	3	1,57*	1,84 ^{ns}	2,87 ^{ns}	12,57 ^{ns}	208,60 ^{ns}	906,0 ^{ns}	1,52 ^{ns}	7,61*
Solo (S)	3	0,76 ^{ns}	15,46**	51,24**	196,03**	251,10**	918,8**	21,19**	100,85**
Água (A)	5	1,74**	3,49**	6,59 ^{ns}	26,22*	482,60**	2101,1*	0,89 ^{ns}	35,98**
S \times A	15	2,50**	5,39**	18,37**	30,05**	765,30**	960,2**	1,92**	22,33**
Resíduo	69	0,44	0,69	2,82	5,69	84,0	506,0	0,39	1,49
Total	95	-	-	-	-	-	-	-	-
CV (%)	-	17,08	15,21	8,86	7,93	13,96	14,40	13,94	14,21

** significativo a 5 e a 1%, respectivamente; ^{ns} – não significativo pelo teste F; FV – fonte de variação; GL – grau de liberdade; CV – coeficiente de variação.

Na Figura 4 estão contidos o número de hastes primárias de plantas de salicornia aos 90 (A) e 180 (B) dias após o início dos tratamentos salinos nos diferentes solos, em função das proporções de rejeito salino. Aos 90 dias após iniciar os tratamentos salinos, o número de hastes primárias (NHP₉₀) ajustou-se ao modelo quadrático, com exceção das plantas que estavam sendo cultivadas no solo S4, que se ajustaram ao modelo linear crescente (Figura 4A).

Figura 4 - Número de hastes primárias de plantas de *Salicornia neei* aos 90 (A) e aos 180 (B) dias após o início dos tratamentos salinos, cultivadas em diferentes solos e submetidas a irrigação com diferentes proporções de rejeito salino.



Aos 90 dias após o início dos tratamentos salinos, as plantas submetidas ao cultivo no solo S1 foram as mais afetadas pelo aumento na proporção de rejeito salino na água de irrigação e, conseqüentemente, na salinidade da água, apresentando decréscimo de forma quadrática e atingindo valores máximos estimados de 4,47 hastes, na proporção de 22,5% de rejeito salino (Figura 4A). Já aos 180 dias após iniciar os tratamentos salinos as plantas cultivadas nos solos S1 e S4 não se ajustaram a nenhum modelo matemático testado, sendo representadas pela média aritmética dos respectivos tratamentos (Figura 6B).

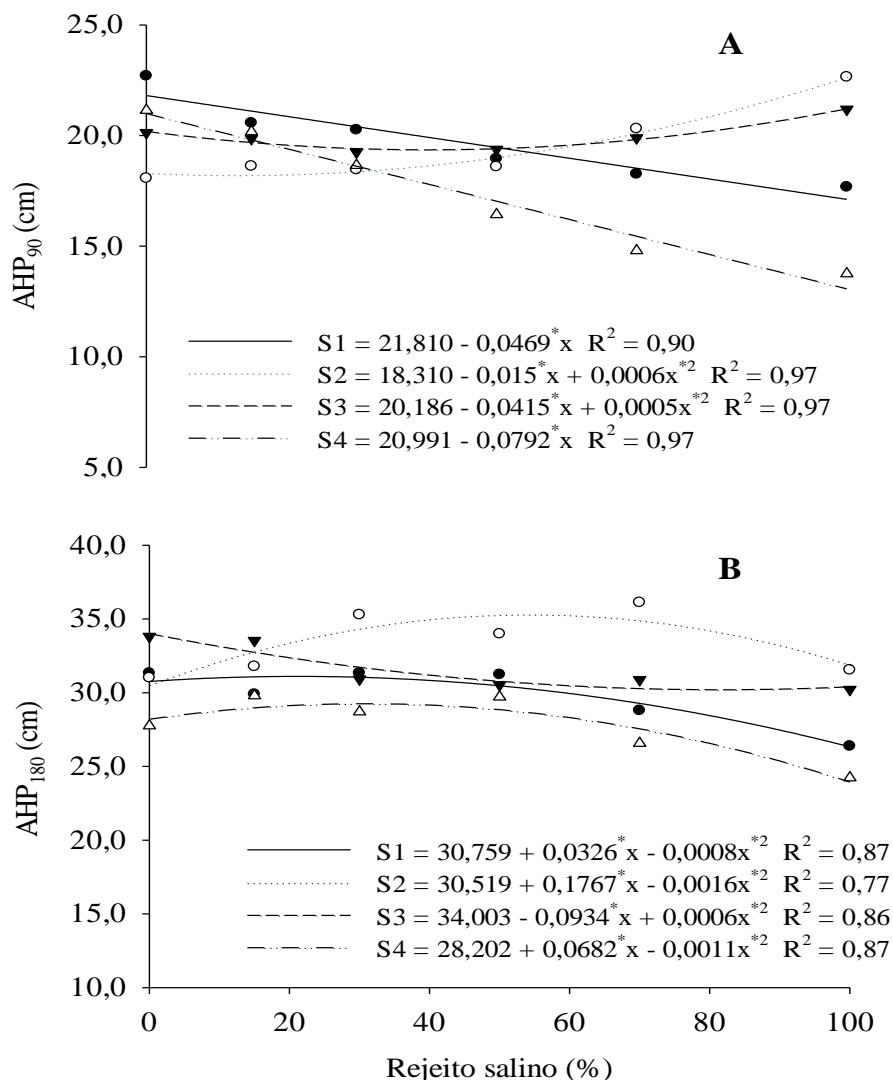
As plantas cultivadas nos solos S2 e S3 responderam de forma quadrática crescente e decrescente, respectivamente (Figura 4B). As plantas cultivadas no solo S2 atingiram valores máximos estimados de 6,0 hastes, na proporção máxima estimada de 64,1% de rejeito salino, enquanto, as plantas cultivadas no solo S3 atingiram valores mínimos de 3,86 hastes em 87,71% de rejeito salino.

A salinidade é considerada um fator estressante para as plantas, mesmo para a maioria das plantas halófitas (LV et al., 2012). Doncato (2020) constatou aumento na formação de ramos nos caules de *S. neei* com aumento no regime de poda. Conforme Souza et al. (2018), a espécie *S. neei* expressa o crescimento máximo quando submetidas a salinidade moderada (86 mM de NaCl), resultado de uma melhor regulação de seus mecanismos fisiológicos relacionados à suculência, produção de pigmentos fotoprotetores e metabólitos antioxidantes.

Quando as plantas foram cultivadas nos solos S1 e S4, a altura das hastes principais aos 90 dias após o início dos tratamentos salinos (AHP₉₀) apresentaram decréscimos lineares com o incremento na percentagem de rejeito salino nas águas de irrigação, com maior redução para o solo S4, com decréscimo de 0,79 cm a cada acréscimo de 10% de rejeito salino na água de irrigação, enquanto que as plantas que estavam sendo cultivadas no solo S1 expressaram decréscimo de 0,47 cm a cada incremento de 10% de rejeito salino na água de irrigação (Figura 5A).

Ao serem cultivadas nos solos S2 e S3, o modelo que melhor representou o crescimento em altura das plantas de *S. neei* foi o quadrático, com valores mínimos estimados de 18,22 cm e 19,50 cm, nas percentagens mínimas estimadas de 12,50% e 41,50% de rejeito salino (Figura 5A). Já aos 180 dias após iniciar a aplicação dos tratamentos salinos (AHP₁₈₀), o modelo que melhor representou o crescimento em altura das plantas para todos os solos foi quadrático (Figura 5B).

Figura 5 - Altura de hastes primárias de plantas de *Salicornia neei* aos 90 (A) e aos 180 (B) dias após início dos tratamentos salinos, cultivadas em diferentes solos e submetidas a irrigação com diferentes proporções de rejeito salino.



As plantas cultivadas nos solos S1 e S4 atingiram valores máximo estimados de 31,09 e 29,26 cm de altura, nas proporções máximas estimadas de 20,38 e 31,0%, respectivamente, aos 180 dias de cultivo com proporções do rejeito salino (Figura 5B). Esses dois solos foram os que apresentaram os menores valores de cálcio no complexo sortivo, 1,14 e 2,32 cmol_c kg⁻¹ e as menores relações entre cálcio e magnésio solúvel de 1,42 e 0,74, respectivamente (Tabela 2).

Já ao serem cultivadas no solo S2, as plantas foram estimuladas até a dose máxima estimada de rejeito salino de 55,22%, o que promoveu altura de 35,40 cm de altura. Para

o solo S3 ocorreu decréscimo até a dose mínima estimada de 77,83%, expressando altura de 30,37 cm (Figura 5B).

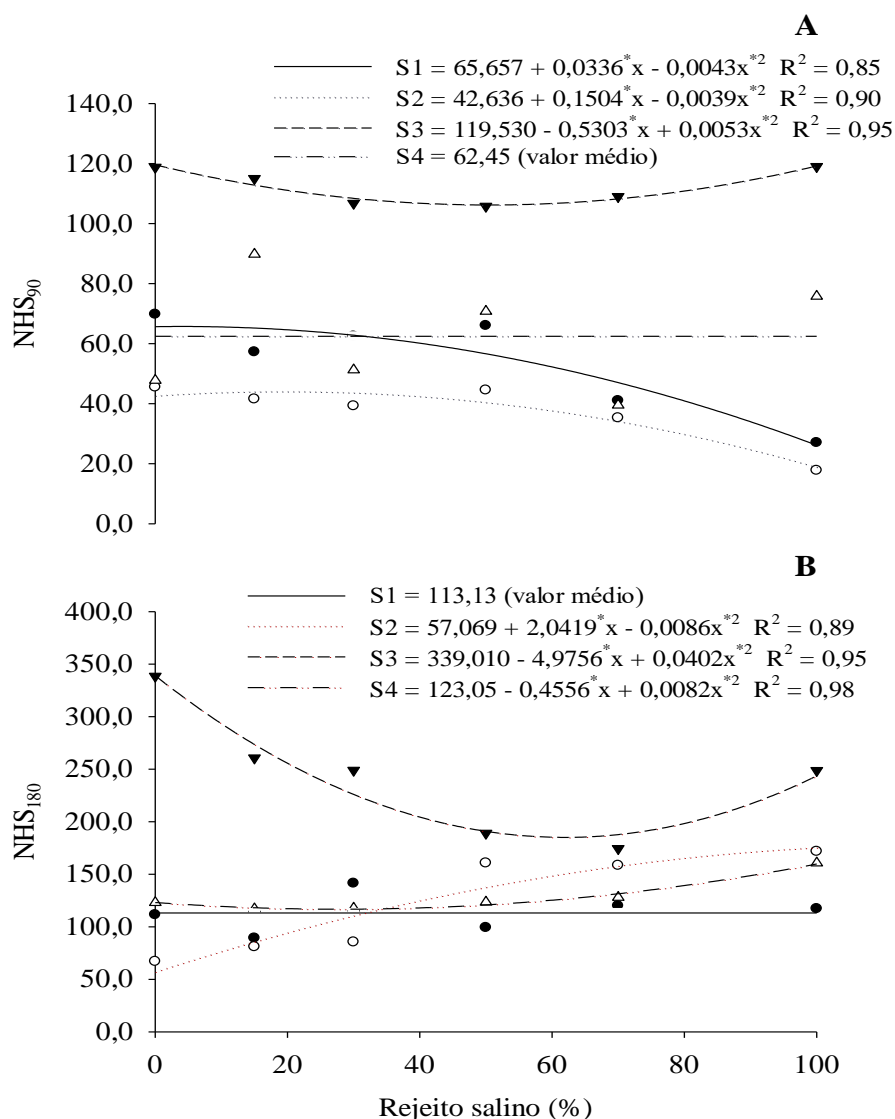
A salicórnia pode ser colhida várias vezes no ano. Em estufas a colheita pode ser feita a cada duas ou três semanas, dependendo do crescimento da planta (LOCONSOLE; CRISTIANO; LÚCIA, 2019). Em Israel as plantas gourmet dos gêneros *Salicornia* e *Sarcocornia* são cortadas 5 cm acima do nível do solo, quando atingem altura entre 10 e 15 cm (VENTURA et al., 2011; VENTURA; SAGI, 2013). Assim, mesmo sendo afetadas com o incremento de rejeito salino na água de irrigação, tanto aos 90 como aos 180 dias após o início dos tratamentos salinos, as plantas apresentavam alturas superiores à altura comercial, independente do solo onde foram cultivadas.

Altas concentrações de sais afetam o crescimento das plantas pelo efeito osmótico que esses sais provocam, além do efeito tóxico ao serem absorvidos (RAHMAN et al., 2016). A resposta das plantas à salinidade é o ajustamento osmótico, que reduz a expansão e a divisão celular, além do fechamento estomático, reduzindo assim as taxas fotossintéticas, o que reflete diretamente no crescimento (MUNNS, 2002; RAHMAN et al., 2016; SACHDEV et al., 2021).

O cálcio desempenha dois papéis distintos nas plantas, um é estrutural, sendo um componente da parede celular, e, o outro, é de sinalizador, atuando como mensageiro secundário aos estímulos ambientais, incluindo o estresse salino (TUTEJA; MAHAJAN, 2007; KADER; LINDBERG, 2010; TAIZ et al., 2017). O baixo conteúdo inicial de Ca e a baixa relação Ca:Mg pode ter interferido no balanço nutricional das plantas, que resultou em menor crescimento (YADARE; GIRDHAR, 1981).

O número de hastes secundárias da salicórnia, independente do período de avaliação, respondeu de forma quadrática às proporções de rejeito salino utilizadas, exceto para os solos S4 e S1 aos 90 e 180 dias após o início da aplicação dos tratamentos salinos, respectivamente, em que as plantas não se ajustaram a nenhum modelo matemático testado, sendo representados pelas médias dos respectivos tratamentos (Figura 6).

Figura 6 - Número de hastes secundárias de plantas de *Salicornia neei* aos 90 (A) e aos 180 (B) dias após início dos tratamentos salinos, cultivadas em diferentes solos e submetidas a irrigação com diferentes proporções de rejeito salino.



As plantas cultivadas no solo S3 foram as que apresentaram o maior número de ramificações secundárias, tanto aos 90 como aos 180 dias após o cultivo com rejeito salino (Figura 6). Constata-se que o número de hastes secundárias das plantas que cresceram nos solos S1 e S2 aumentaram até a proporção máxima estimada de rejeito de 4,25 e 18,75%, o que promoveram aproximadamente 66 e 44 hastes secundárias por planta, respectivamente (Figura 6A).

A poda promove o aumento de ramos nos caules de *S. neei*; contudo esse aumento no número de ramos refletiu em menor comprimento das hastes. Isso impacta o valor comercial das plantas para o consumo, contudo, a prática pode ser interessante quando o

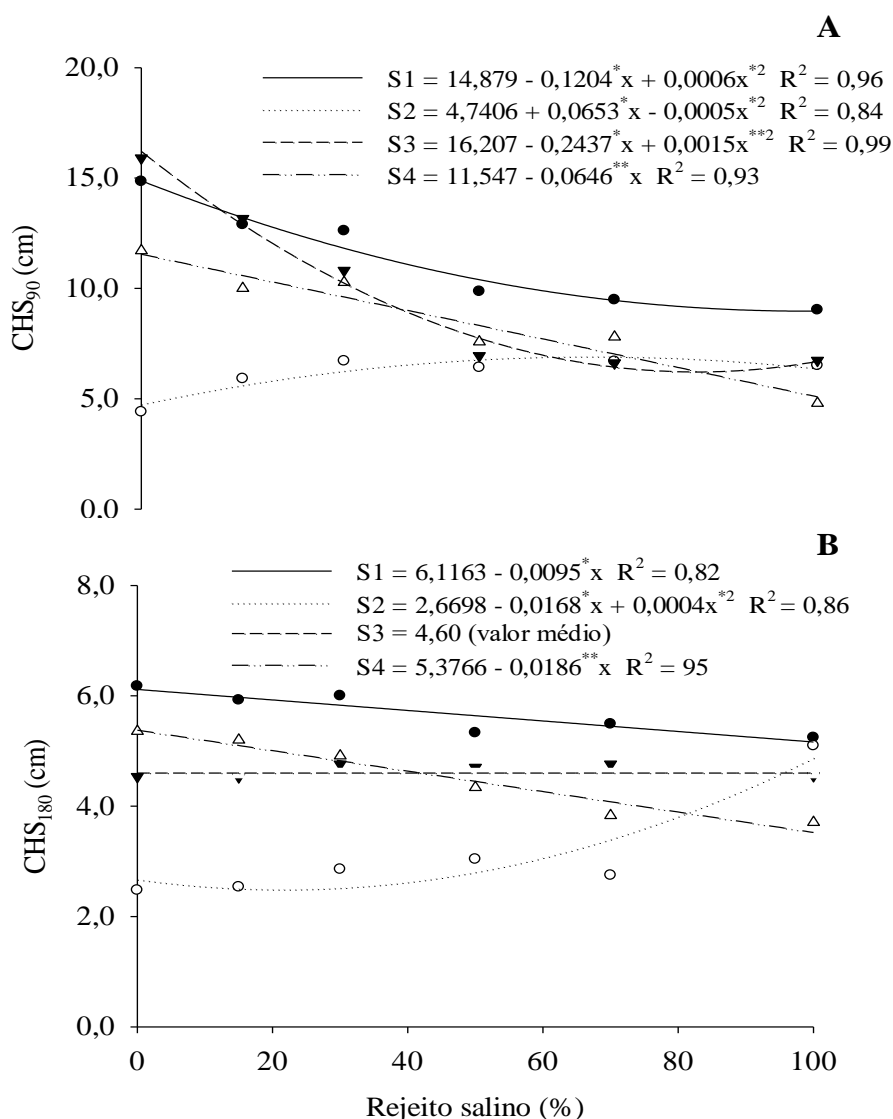
objetivo é a indústria de ração/suplementação nutricional ou farmacêutica (DONCATO, 2020). A poda na *S. neei*, pode gerar um ganho em rendimento ao longo do ciclo anual do que uma única colheita, além de uma melhor qualidade nutricional da brotação recém-formada (VENTURA; SAGI, 2013; COSTA et al., 2014).

O aumento no número de ramificações secundárias pode estar ligado a quebra da dominância apical dos ramos primários da salicórnia, já que com a poda e consequente retirada da gema apical, ocorre queda na taxa de auxina que inibe a atividade das gemas laterais ou axilares (LEYSER, 2009; MÜLLER; LEYSER, 2011; SCHNEIDER et al., 2019).

O comprimento de hastes secundárias, no geral foi inibido com o acréscimo percentual de rejeito salino na água de irrigação, exceto para as plantas cultivadas no solo S2, independente do período analisado, e as cultivadas no solo S3, no período de 90 dias após a aplicação dos tratamentos salinos, que não se ajustaram a nenhum modelo matemático (Figura 7).

Aos 90 dias após a irrigação com o rejeito salino, as plantas cultivadas nos solos S1 e S3 sofreram decréscimo de forma quadrática, atingindo valores mínimos estimados de 8,84 e 6,31 cm quando irrigada, respectivamente, com 100% e 81,23% de rejeito salino (Figura 7A). Já as plantas cultivadas no solo S4 expressaram declínio linear, com redução de 0,65 cm de comprimento a cada aumento de 10% de rejeito salino na água de irrigação. As plantas cultivadas no solo S2 apresentaram ganhos em comprimento de hastes até a dose máxima estimada de 65,3%, que proporcionou ramificações com comprimento de 6,87 cm (Figura 7A).

Figura 7 - Comprimento de hastes secundárias de plantas de *Salicornia neei* aos 90 (A) e aos 180 (B) dias após início dos tratamentos salinos, cultivadas em diferentes solos e submetidas a irrigação com diferentes proporções de rejeito salino.



Aos 180 dias, as plantas cultivadas no S2, inicialmente apresentaram diminuição em seu comprimento com o aumento percentual de rejeito salino na água de irrigação atingindo o menor valor de 2,49 cm na dose mínima estimada de 21% de rejeito (Figura 7B). A partir desse valor ocorreu o incremento em comprimento de hastes, em função das doses de rejeito salino aplicado, sendo observado comprimento máximo de 5,10 cm quando foi usado 100% de rejeito salino na irrigação (Figura 7B).

A salinidade é um dos desafios ambientais mais significativos que limitam a produtividade das plantas (ASHRAF; HARRIS, 2004; ACOSTA-MOTOS et al, 2017). O estresse provocado pelo excesso de sais é percebido inicialmente pelo sistema radicular,

e afeta o crescimento da planta em curto prazo pela inibição na absorção de água devido ao baixo potencial hídrico no espaço radicular e a longo prazo pela toxicidade iônica induzida pelos sais que provocam desequilíbrio nutricional no citosol (MUNNS, 2005; JAMES et al., 2008; MUNNS; GILLIHAM, 2015; ACOSTA-MOTOS et al., 2017). A diminuição no crescimento pode ser uma resposta adaptativa para sobrevivência da planta em condições adversas, desde que essa possua mecanismos para combatê-lo (MUNNS; TESTER, 2008; REIS, et al., 2020).

4.2 Produção de biomassa

Os resultados da ANOVA, apresentados na Tabela 5, indicam que a interação entre os fatores solo \times água (S \times A) exerceu efeito significativo sobre as variáveis estudadas, indicando significância dos fatores.

Tabela 5 - Resumo da análise de variância para massa seca da parte aérea aos 90 e 180 dias após início dos tratamentos salinos (MSPA₉₀ e MSPA₁₈₀); massa seca de raiz (MSR) e massa seca total (MST) de plantas de *Salicornia neei* submetidas a cultivo em diferentes solos e diferentes proporções de rejeito salino.

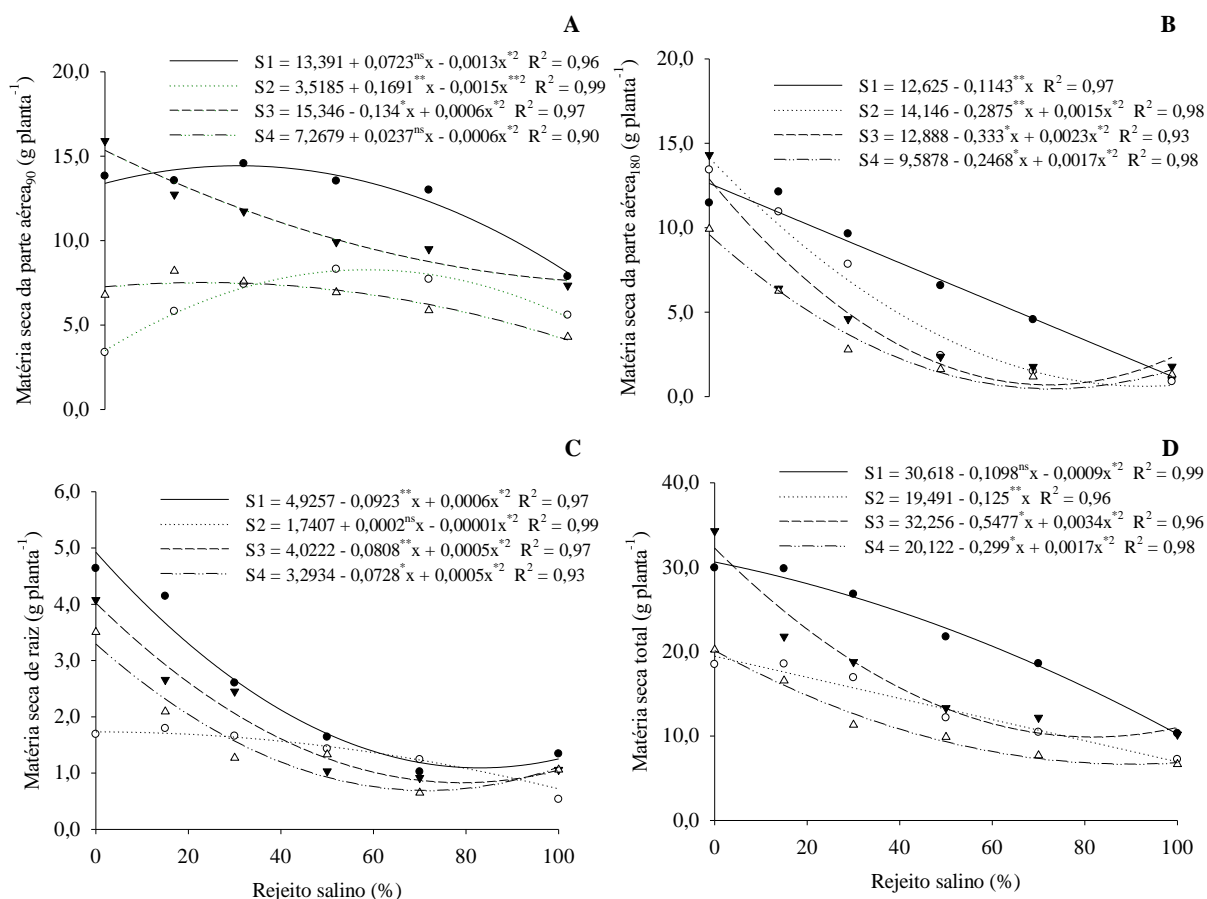
FV	GL	Quadrados médios			
		MSPA ₉₀	MSPA ₁₈₀	MSR	MST
Bloco	3	6,06 ^{ns}	1,44 ^{ns}	0,72 ^{ns}	19,84*
Solo (S)	3	269,36**	89,00**	6,68**	725,84**
Água (A)	5	49,70**	240,72**	14,08**	568,81**
S \times A	15	19,66**	36,33**	1,81**	98,50**
Resíduo	69	1,50	1,01	0,21	4,08
Total	95	-	-	-	-
CV (%)	-	13,30	18,61	23,38	12,19

*** significativo a 5 e a 1%, respectivamente; ^{ns} – não significativo pelo teste F; FV – fonte de variação; GL – grau de liberdade; CV – coeficiente de variação.

A espécie *S. neei*, apresentou diminuição na produção de biomassa de todas as partições avaliadas com o aumento da percentagem do rejeito salino, independente do solo, em que estavam sendo cultivadas (Figura 8). No solo S4, foi observado o maior comprometimento da produção de biomassa em todas as proporções de rejeito salino na água de irrigação. Esse solo foi o que inicialmente apresentou a maior condutividade

elétrica do extrato de saturação de $49,47 \text{ dS m}^{-1}$, o nível mais elevado de sódio solúvel de $439,1 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ e cloro de $388,0 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$, além do maior teor de silte (Tabela 2).

Figura 8 - Matéria seca da parte aérea aos 90 (A) e aos 180 (B) dias após início dos tratamentos salinos, matéria seca de raiz (C) e matéria seca total (D) de *Salicornia neei*, cultivadas em diferentes solos e submetidas a irrigação com diferentes proporções de rejeito salino.



A produção de biomassa aérea das plantas cultivadas no solo S1 respondeu de forma diferente aos 90 e 180 dias após iniciar a aplicação de rejeito salino. Aos 90 dias, a matéria seca da parte aérea se ajustou ao modelo quadrático, com incremento de rejeito salino até a dose máxima estimada de 27,81%, que proporcionou 14,40 g de matéria seca por planta (Figura 8A). Aos 180 dias após o início dos tratamentos salinos, a matéria seca da parte aérea, ajustou-se ao modelo linear decrescente, com reduções de 0,1143 g de matéria seca a cada incremento unitário de rejeito salino à água de irrigação (Figura 8B).

O modelo quadrático foi o que melhor representou o acúmulo de matéria seca de raízes das plantas, independente do solo, onde as plantas de *S. neei* foram cultivadas

(Figura 8C). Observa-se que as plantas cultivadas nos solos S1, S3 e S4 apresentaram decréscimos semelhantes, sendo que as plantas cultivadas nos solos S3 e S4 apresentaram o mesmo valor de matéria seca de raiz na dose estimada de rejeito salino de 91,10% com valor de matéria seca de raiz por planta de 0,81 g. Os solos em questão, são os que apresentam maiores valores nos atributos químicos do solo, exceto para o potássio solúvel (Tabela 2).

As restrições observadas na produção de biomassa de salicórnia com o aumento na percentagem de rejeito salino na água de irrigação, e, com isso na condutividade elétrica da água, é, provavelmente uma implicação direta do comprometimento das taxas fotossintéticas e do desvio de parte da energia que seria designada ao crescimento; conseqüentemente acumulação de biomassa, para a ativação e manutenção de uma série de mecanismos fisiológicos que conferem a adaptação da planta à salinidade. Entre as alterações estão: a manutenção da integridade das membranas celulares, biossíntese de osmólitos protetores e ativação de sistemas de eliminação de espécies reativas de oxigênio (ERO's) (FLOWERS; COLMER, 2008; GILL; TUJEDA, 2010; MENG; ZHOU; SUI, 2018).

As altas concentrações de íons nos solos, sobretudo nos solos S3 e S4 ocasionam a quebra do equilíbrio no potencial de água do sistema solo planta e desbalanço iônico, provocando restrições na absorção de nutrientes minerais essenciais a nutrição das plantas, o que gera obstáculos ao crescimento e a produção de biomassa (MUNNS, 2005; GRUPTA; HUANG, 2014). Essa redução, também pode estar relacionada ao aumento nos teores de Cl^- e Na^+ na parte aérea, sais que podem se acumular principalmente no citoplasma e nos cloroplastos, podendo desidratar as células e refletir na redução da produção e acumulação de biomassa (MUNNS; TESTER, 2008).

4.3 Trocas gasosas

As variáveis, condutância estomática, transpiração, fotossíntese e concentração interna de CO_2 foram influenciadas pela interação Solo \times Água, indicando dependência entre os fatores, conforme Tabela 6.

Tabela 6 - Resumo da análise de variância para condutância estomática (gs), fotossíntese (A), transpiração (E) e concentração interna de CO_2 (Ci), aos 90 e aos 180 dias após início

dos tratamentos salinos de plantas de salicórnia submetidas a cultivo em diferentes solos e diferentes proporções de rejeito salino.

Quadrados médios***									
FV	GL	gs90	gs180	A90	A180	E90	E180	Ci90	Ci180
Bloco	3	0,007 ^{ns}	0,046 ^{ns}	0,042 ^{ns}	0,029 ^{ns}	0,006 ^{ns}	0,079 ^{ns}	0,001 ^{ns}	0,000 ^{ns}
Solo (S)	3	15,56**	3,045**	1,829**	0,291**	1,061**	1,286**	0,310**	0,003**
Água (A)	5	9,174**	20,36**	1,054**	2,832**	0,619**	2,523**	0,398**	0,001**
S × A	15	0,694**	1,499**	0,247**	0,177**	1,793**	0,506**	0,145**	0,001**
Resíduo	69	0,019	0,057	0,018	0,011	0,012	0,041	0,001	0,000
Total	95	-	-	-	-	-	-	-	-
CV (%)	-	3,67	6,68	4,48	5,24	13,19	24,92	0,81	0,26

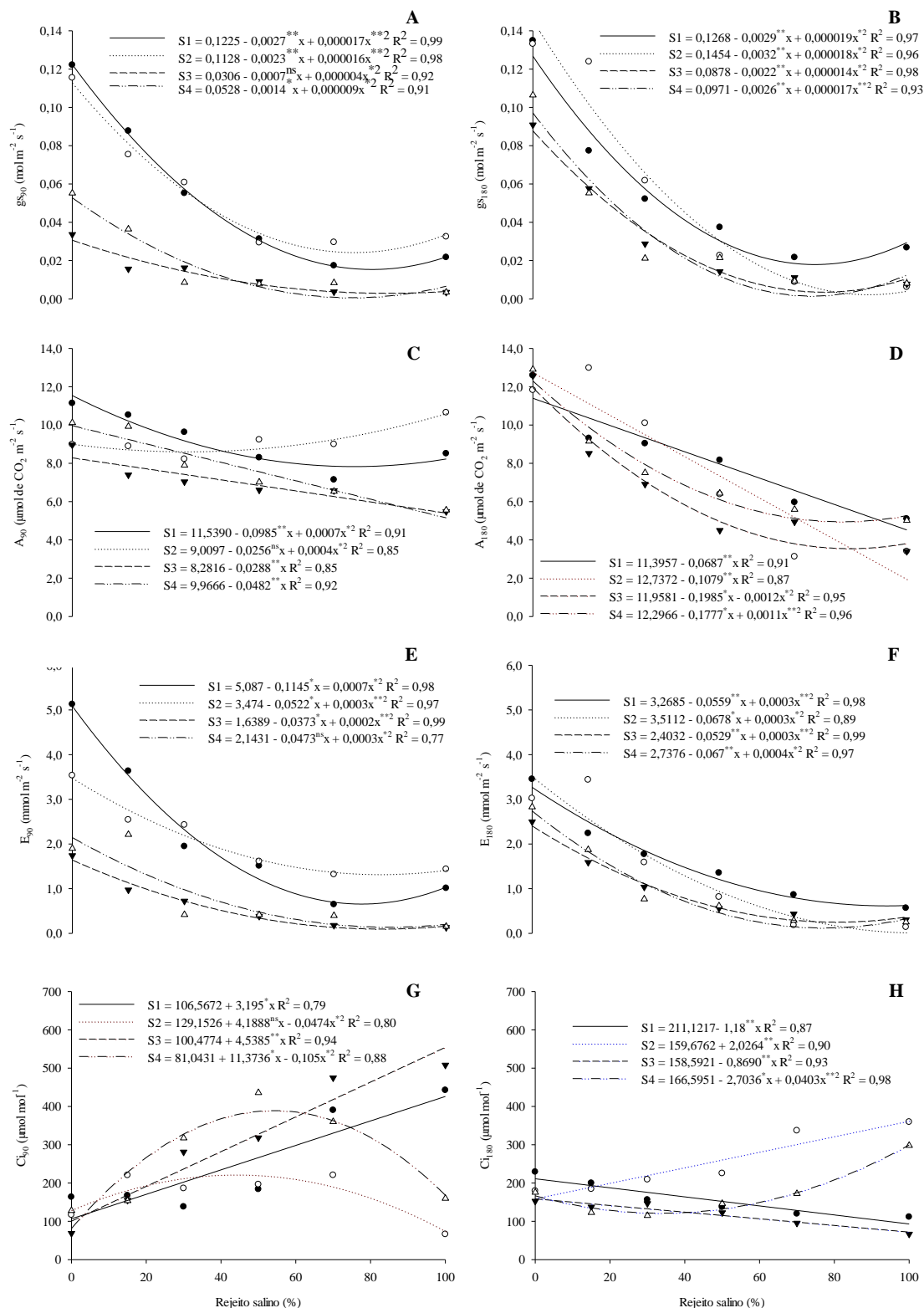
**, ** significativo a 5 e a 1%, respectivamente; ^{ns} – não significativo pelo teste F; FV – fonte de variação; GL – grau de liberdade; CV – coeficiente de variação.

*** Dados transformados pela equação de Box-Cox.

Na Figura 9, encontram-se os resultados referentes às trocas gasosas de plantas de *S. neei* aos 90 e 180 dias após o início dos tratamentos salinos, cultivadas em diferentes solos em resposta às proporções de rejeito salino na água de irrigação. A condutância estomática sofreu influência do aumento da percentagem de rejeito salino na água de irrigação em todos os solos avaliados, sendo que as plantas cultivadas nos solos S1 e S2 apresentaram valores mais elevados de condutância estomática aos 90 dias de cultivo com rejeito salino, enquanto que, os menores valores foram observados nas plantas cultivadas no solo S4, irrigadas com 77,78% de rejeito salino. As plantas cultivadas nos solos S1, S2 e S3, aos 90 dias após iniciar o tratamento com rejeito salino, atingiram valores mínimos estimados de condutância quando irrigadas com 79,42; 71,88 e 87,50% de rejeito salino, expressando condutâncias de 0,015; 0,030 e 0,031 mol H₂O m⁻² s⁻¹, respectivamente (Figura 9A).

Aos 180 dias após o início do tratamento salino (Figura 9B), de forma semelhante ao que ocorreu aos 90 dias (Figura 9A), as plantas cultivadas nos solos S1 e S2 apresentaram os maiores valores de condutância estomática e as cultivadas no solo S4 com os menores valores quando irrigadas com doses de 76,47% de rejeito salino. Quando cultivadas nos solos S1, S2 e S3, as plantas atingiram valores mínimos estimados de condutância estomática de 0,016; 0,003 e 0,0014 mol H₂O m⁻² s⁻¹ ao serem irrigadas com as doses estimadas de 76,32; 88,89 e 78,57% (Figura 9B).

Figura 9 - Condutância estomática (gs) (A e B), fotossíntese (A) (C e D), transpiração (E) (E e F) e concentração interna de CO₂ (Ci) (G e H) de plantas de *Salicornia neei* aos 90 e 180 dias após início dos tratamentos salinos, cultivadas em diferentes solos e submetidas a irrigação com proporções crescentes de rejeito salino.



A alteração na condutância estomática (gs) é uma resposta rápida e inicial de fechamento estomático, que ocorre quando as plantas são submetidas ao desequilíbrio osmótico provocado pelo excesso de sais, tornando-se, assim, a primeira e principal causa do declínio nas taxas de assimilação de CO₂ (JAMES et al., 2008). Isso ocorre para evitar

a perda excessiva de água e posterior desidratação, pois a alta concentração de sais na zona radicular reduz o potencial osmótico da solução do solo, o que deixa a água menos disponível para as plantas, resultando no fechamento estomático o que pode comprometer a fotossíntese (ORSINI et al., 2012; BERTOLLI; SOUZA; SOUZA, 2015).

Quanto à fotossíntese, inicialmente os maiores valores foram observados nas plantas cultivadas no solo S1 e no solo S2 aos 90 e 180 dias após iniciar o tratamento com rejeito salino, respectivamente, ocorrendo decréscimo com o aumento da percentagem de rejeito salino nas águas de irrigação. Aos 90 dias após iniciar o tratamento salino, as plantas cultivadas nos solos S3 e S4 sofreram reduções na fotossíntese de 0,0288 e 0,0482 $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, a cada incremento unitário do rejeito salino na água de irrigação, enquanto aquelas cultivadas nos solos S1 e S2 atingiram valores mínimos estimados ao serem irrigadas com 70,36 e 32,0% de rejeito salino, expressando valores de 8,07 e 8,60 $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, respectivamente (Figura 9C).

Aos 180 dias após iniciar os tratamentos salinos, as plantas cultivadas nos solos S1 e S2 apresentaram comportamento linear decrescente com reduções de 0,0687 e 0,1079 $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, respectivamente, a cada incremento unitário de rejeito salino na água de irrigação (Figura 9D). Já as plantas que foram cultivadas nos solos S3 e S4, apresentaram decréscimo de forma quadrática atingindo valores mínimos estimados de 3,75 e 5,12 $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, respectivamente, nas doses de 82,71 e 80,77% de rejeito salino na água de irrigação.

Dentre os processos que são afetados pelo excesso de sais na solução do solo, reduções nas taxas fotossintéticas tem sido amplamente relatadas na literatura e atribuída às limitações estomáticas (MUNNS; TESTER, 2008; KUSVURAN et al., 2012; SILVA et al., 2017). Em condições de estresse salino, as plantas diminuem a abertura dos estômatos, para reduzir a perda de vapor de água para atmosfera, assim pode ocorrer uma limitação no fornecimento de CO_2 ou ainda alterações nos mecanismos de fixação de CO_2 , restringindo a fotossíntese (ORSINI et al., 2012; KAMRAN et al., 2020).

Em condições de estresse salino, a fotossíntese é limitada não apenas pelo fechamento dos estômatos, mas também por efeitos provocados pelos sais em processos secundários, como a inibição da Rubisco e da síntese de ATP e NADPH na fase fotoquímica da fotossíntese (SABRA; DAAYF; RENAULT, 2012).

Para a transpiração (E), evidencia-se efeito quadrático decrescente com o aumento na proporção de rejeito salino independente da época de avaliação, essas reduções ocorrem devido ao fechamento dos estômatos (Figuras 9E e 9F). Observa-se que as

tendências de queda na transpiração são semelhantes ao que ocorreu na condutância estomática, isso ocorre devido ao fechamento estomático, já que ao passo que os estômatos se fecham ocorre uma redução no fluxo de vapor d'água para a atmosfera.

Observa-se que aos 90 dias após o tratamento com rejeito salino as plantas atingiram valores mínimos estimados de transpiração quando irrigadas com 81,97; 87,0; 93,25 e 78,83%, cultivadas nos solos S1, S2, S3 e S4, respectivamente. Após 180 dias de cultivo com o rejeito salino, as plantas cultivadas nesses mesmos solos, atingiram valores mínimos de transpiração ao serem irrigadas com doses de 93,17; 100; 88,17 e 83,75% de rejeito salino na água de irrigação (Figura 9F).

A redução na transpiração, reflete os efeitos da salinidade da água de irrigação exercidos sobre a planta, pois nessas condições a água se torna um fator limitante, já que com o aumento dos níveis salinos ocorre a redução do potencial osmótico do solo, que aliado ao desequilíbrio iônico e deficiência nutricional induz o fechamento estomático podendo provocar redução na produção de biomassa (ISAYENKOV; MAATHUIS, 2019; KAMRAN et al., 2020). Os decréscimos tanto em condutância estomática como em transpiração são respostas rápidas ao aumento da salinidade, permitindo a diminuição na perda de água pela transpiração (NAVADA et al., 2020).

Para a concentração interna de CO₂ (C_i), aos 90 dias após o início dos tratamentos salinos ocorreram aumentos lineares para as plantas cultivadas nos solos S1 e S3, da ordem de 3,195 e 4,583 $\mu\text{mol mol}^{-1}$, a cada incremento unitário de rejeito salino na água de irrigação, as plantas dos solos S2 e S4 apresentaram incrementos até as doses máximas estimadas de 44,19 e 54,16%, respectivamente (Figura 9G). Já aos 180 dias após iniciar a irrigação com o rejeito salino, as plantas cultivadas nos solos S1 e S3 apresentaram decréscimos de 1,180 e 0,869 $\mu\text{mol mol}^{-1}$, a cada incremento unitário de rejeito salino, já as do solo S2 apresentaram acréscimo de 2,064 $\mu\text{mol mol}^{-1}$, a cada incremento unitário de rejeito salino, enquanto as do solo S4 apresentaram decréscimo até a dose mínima estimada de 33,54%; posteriormente aumento até a dose de 100% do rejeito (Figura 9H).

A alta concentração de CO₂ associada a diminuição da condutância estomática é uma resposta de adaptação ao CO₂ extracelular, para ajustar as limitações na fotossíntese que ocorrem devido as mudanças na demanda no mesófilo (MUSYIMI; NETONDO; OUMA, 2007). A C_i elevada, tanto aos 90, quanto aos 180 dias após início dos tratamentos salinos, associada a redução nos teores de clorofila β , pode sugerir ocorrência de danos ao fotossistema II, visto que a irrigação com água salina pode afetar as

membranas dos tilacóides, comprometendo a atividade de transporte de elétrons (SHARMA; HALL, 1992; NETONDO et al., 2004).

4.4 Determinação de pigmentos fotossintetizantes

Os teores de clorofilas α , β , *total* e os carotenoides, sofreram influencia da interação solo \times água (S \times A), indicando dependência dos fatores, conforme pode ser observado na Tabela 7.

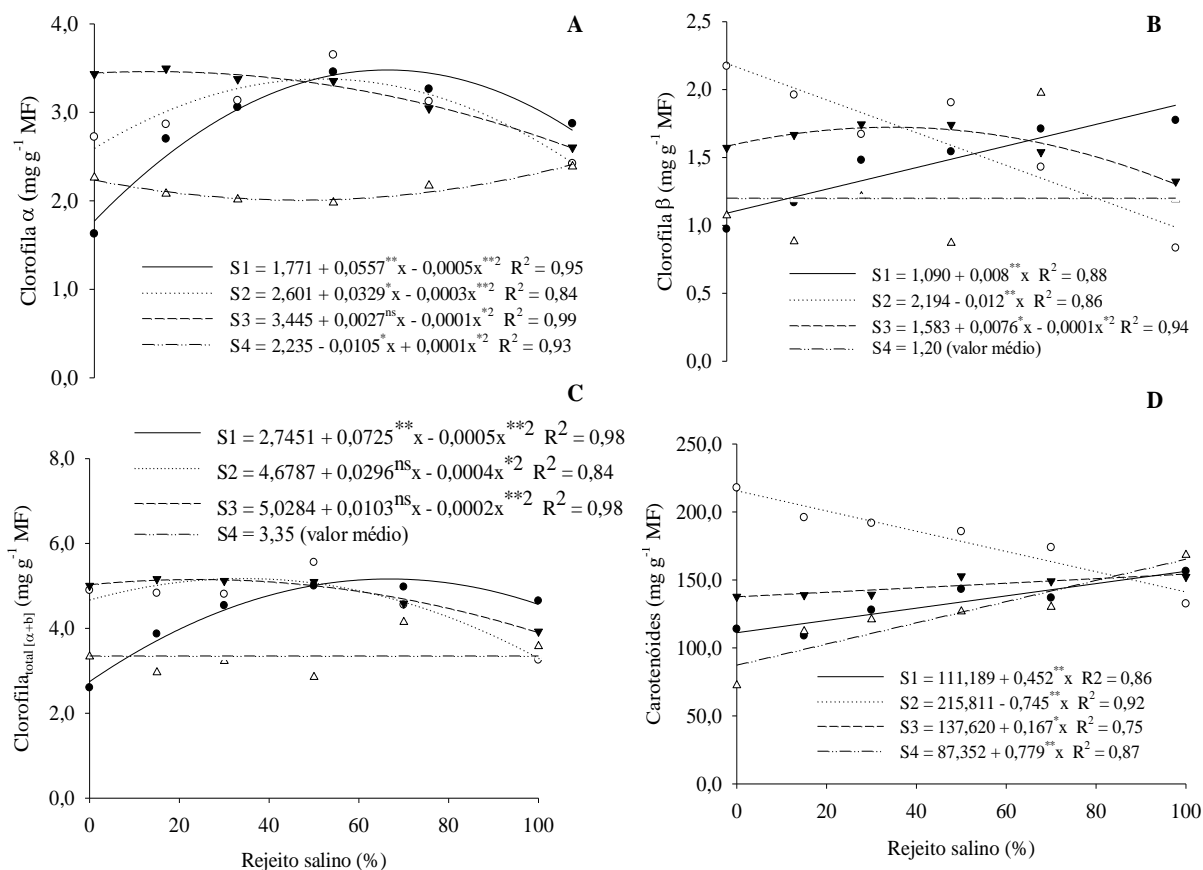
Tabela 7 - Resumo das análises das variâncias para os dados de teores totais de clorofilas α (Clf $_{\alpha}$), β (Clf $_{\beta}$), total (Clf $_{total [\alpha+\beta]}$) e carotenoides (Car) em hastes de plantas de salicórnia aos 180 dias após o início dos tratamentos salinos, cultivadas em diferentes solos e sob diferentes proporções de rejeito salino.

FV	GL	Quadrado Médio			
		Clf $_{\alpha}$	Clf $_{\beta}$	Clf $_{total [\alpha+\beta]}$	Car
Bloco	3	0,194 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,27 ^{ns}	42,3 ^{ns}
Solo (S)	3	3,48 ^{**}	1,07 ^{**}	7,96 ^{**}	10520,2 ^{**}
Água (A)	5	0,63 ^{**}	0,47 ^{**}	0,48 [*]	2142,5 ^{**}
S \times A	15	1,01 ^{**}	0,83 ^{**}	2,85 ^{**}	5986,3 ^{**}
Resíduo	69	0,12	0,05	0,17	146,0
Total	95	-	-	-	-
CV (%)	-	12,52	15,77	10,19	8,42

^{**} significativo a 5 e a 1%, respectivamente; ^{ns} – não significativo pelo teste F; FV – fonte de variação; GL – grau de liberdade; CV – coeficiente de variação.

Na Figura 10 estão contidas as médias dos teores de clorofilas α , β , clorofila *total* e carotenoides em função das proporções de rejeito salino estudadas. Pelos resultados, verificou-se que os teores de clorofila α ajustaram-se ao modelo quadrático, apresentando acréscimos até as doses máximas estimadas de 55,70, 54,83 e 13,50% para os solos S1, S2 e S3, respectivamente; e decréscimos a partir desses níveis, enquanto que, o solo S4 apresentou decréscimo até a dose mínima estimada de 52,50%, com acréscimo a partir dessa dose (Figura 10A).

Figura 10 - Clorofila α (A), clorofila β (B), clorofila *total* (C) e carotenóides (D) de plantas de *Salicornia neei* aos 90 dias após início dos tratamentos salinos, cultivadas em diferentes solos e submetidas a irrigação com diferentes proporções de rejeito salino.



A clorofila é o principal pigmento para captação de luz e produção de energia para o processo de fotossíntese (CROCE; AMERONGEN, 2014; RENEV et al., 2021). O cultivo de plantas em ambientes salinos ocasiona redução nos teores de clorofila devido ao aumento da enzima clorofilase, responsável pela degradação da clorofila, que associada a magnésio-chelatase pode induzir a destruição dos cloroplastos (AGHALEH et al., 2009; FREITAS; COSTA, 2014; GOMES et al., 2017).

A diminuição no teor de clorofila α , nas percentagens mais elevadas de rejeito salino, pode ser devido a destruição dos cloroplastos, pois o estresse oxidativo provoca aumento nos teores de espécies reativas de oxigênio, que gera danos aos cloroplastos (MUNNS; TESTER, 2008). Os resultados observados estão de acordo com outros estudos, em que foram constatadas reduções dos pigmentos fotossintéticos quando as plantas foram submetidas a salinidade (COSTA et al., 2006; AGHALEH et al., 2009; SOUZA et al., 2018).

Pelos resultados observados na Figura 10B constata-se que o teor de clorofila β das plantas de *S. neei* cultivadas no solo S4 não se ajustaram a nenhum modelo matemático testado, sendo representada pela média de $1,20 \text{ mg g}^{-1}$ de matéria fresca. As

plantas cultivadas nos solos S1 e S2 se ajustaram aos modelos lineares crescente e decrescente, respectivamente; ao serem irrigadas com 55,20% de rejeito salino as plantas cultivadas nesses solos apresentaram o mesmo valor de clorofila β ($1,53 \text{ mg g}^{-1}$ de matéria fresca). Já as plantas do solo S3 se ajustaram ao modelo quadrático com incrementos até a dose máxima estimada de 38,0% de rejeito salino, com teor de clorofila β de $1,73 \text{ mg g}^{-1}$ de matéria fresca.

A clorofila β é um pigmento componente do aparato fotossintético de plantas superiores, cuja função é aumentar a capacidade de coleta de luz (TAMBURINI et al., 2015; KUNUGI et al., 2016; CROFT et al., 2017). Em situação de estresse ambiental a função da clorofila β é proteger os fotossistemas, devido a sua menor taxa de foto-oxidação quando comparada a clorofila α (DUBEY, 2005). Souza et al. (2018) verificaram efeitos negativos da salinidade sobre os teores de clorofila em genótipos de *S. neei*.

Seguindo a tendência observada nos teores de clorofila β , o teor de clorofila *total* das plantas submetidas ao cultivo no solo S4 não se ajustaram a nenhum modelo matemático testado, sendo representada por sua média $3,35 \text{ mg g}^{-1}$ de matéria fresca (Figura 10C). Já os teores de clorofila *total* de plantas cultivadas nos solos S1, S2 e S3 se ajustaram ao modelo quadrático, com aumentos nos teores até as doses máximas estimadas de 72,5%, 37,0% e 25,75%, respectivamente.

Os pigmentos fotossintetizantes podem ser utilizados como indicativos de estresse salino em plantas. Outros autores descrevem a diminuição dos teores de clorofila (DUBEY, 2005; ARIAS-MORENO et al., 2017; ALTUNTAS et al., 2020; SHIN et al., 2020), o que pode ser interpretado como uma adaptação aos agentes estressantes, no sentido de economia de energia e menor captação de energia luminosa, o que evita o estresse foto-oxidativo (SILVEIRA et al., 2016; TABOT; ADAMS, 2013).

Com relação aos teores de carotenóides, em função dos níveis de rejeito salino, observa-se aumentos lineares para as plantas cultivadas nos solos S1, S3 e S4, cujo valores sofreram decréscimos na ordem de $0,745 \text{ mg g}^{-1}$ de matéria fresca a cada incremento unitário de rejeito salino na água de irrigação (Figura 10D). Cabe salientar que o solo S2 é o que apresentava a condição de solo não salino inicialmente (Tabela 2). Para os solos S1, S3 e S4 são observados incrementos nos teores de carotenoides de 4,52; 0,167 e $0,779 \text{ mg g}^{-1}$ de matéria fresca a cada aumento unitário de rejeito salino na água de irrigação, respectivamente.

Os carotenóides desempenham um importante papel como pigmentos auxiliares, absorvendo radiação visível (400 – 700 nm), e atuam como filtro da radiação ultravioleta (200 – 400 nm), reduzindo os eventuais danos decorrentes da incidência excessiva de luz, protegendo-a da foto-oxidação (ZIELEWICZ; WRÓBEL; NIEDBALA, 2020). Além disso, os carotenoides atuam como antioxidantes contra as espécies reativas de oxigênio geradas durante o período de exposição ao estresse salino (DUARTE et al., 2013). Várias halófitas mostraram que os teores de compostos fenólicos são proporcionais à intensidade do estresse salino (VENTURA et al., 2011; FAN et al., 2013; BERTIN et al., 2014; SOUZA et al., 2018).

4.5 Análises químicas do solo

Os resultados da ANOVA apresentados na tabela 8 indicam que as variáveis potencial hidrogeniônico, cálcio, magnésio, sódio, potássio, soma de bases e a percentagem de sódio trocável foram influenciadas significativamente pelas interações significativas entre os fatores solo × água, exceto para a variável potencial hidrogeniônico, que não variou de forma estatisticamente significativa em função dessa interação, sendo influenciada pelos os fatores isolados solos e rejeito salino (Tabela 8).

Tabela 8 - Resumo da análise de variância para potencial hidrogeniônico em água (pH água 1:2,5), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), sódio (Na^+), potássio (K^+), soma de bases (SB) e percentagem de sódio trocável (PST) do complexo sortivo do solo ao final do experimento.

FV	GL	Quadrado Médio						
		pH (água 1:2,5)	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	SB	PST
Bloco	3	0,107 ^{ns}	0,014 [*]	0,019 ^{ns}	0,017 ^{ns}	0,010 ^{ns}	0,013 ^{ns}	4,90 ^{ns}
Solo (S)	3	28,082 ^{**}	59,34 ^{**}	43,63 ^{**}	10,71 ^{**}	6,089 ^{**}	116,3 ^{**}	664,3 ^{**}
Água (A)	5	0,517 ^{**}	1,060 ^{**}	1,494 ^{**}	0,312 ^{**}	0,588 ^{**}	1,798 ^{**}	190,9 ^{**}
S × A	15	0,051 ^{ns}	0,786 ^{**}	0,211 ^{**}	0,288 ^{**}	0,636 ^{**}	0,215 ^{**}	227,6 ^{**}
Resíduo	69	0,049	0,0005	0,0206	0,0008	0,0165	0,0145	2,4362
Total	95	-	-	-	-	-	-	-
CV (%)	-	3,06	2,15	5,20	4,72	11,55	2,59	12,31

^{**} significativo a 5 e a 1%, respectivamente; ^{ns} – não significativo pelo teste F; FV – fonte de variação; GL – grau de liberdade; CV – coeficiente de variação; SB – soma de bases; PST – percentagem de sódio trocável.

Pelo resumo das análises das variâncias para os dados de potencial hidrogeniônico, condutividade elétrica, cálcio, magnésio, sódio, potássio, cloro e razão de adsorção de sódio do extrato de saturação verificou-se que a interação solo \times água foi sempre significativa ($p \leq 0,01$), indicando dependência dos fatores, segundo o teste F (Tabela 9).

Tabela 9 - Resumo da análise de variância para potencial hidrogeniônico do extrato de saturação (pHes), condutividade elétrica da água (CEes), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), sódio (Na^+), potássio (K^+), cloro (Cl^-) e razão de adsorção de sódio (RAS) do extrato de saturação do solo ao final do experimento.

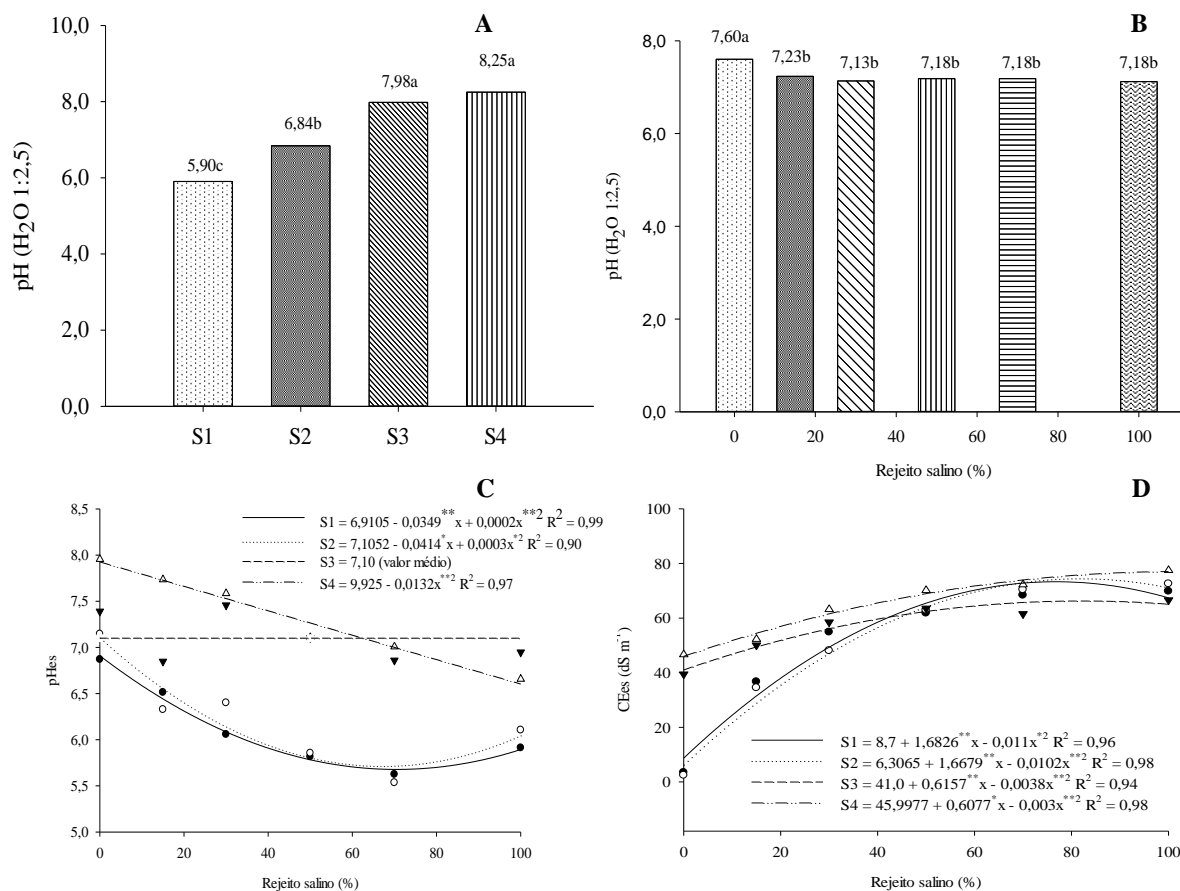
FV	GL	Quadrado Médio							
		pHes	CEes	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	Cl^-	RAS
Bloco	3	0,046 ^{ns}	17,1 ^{ns}	0,127 ^{ns}	0,233 ^{ns}	0,567 ^{ns}	0,012 ^{ns}	35,17 ^{ns}	0,067 ^{ns}
Solo (S)	3	9,272 ^{**}	1200,5 ^{**}	109,7 ^{**}	9,857 ^{**}	724,9 ^{**}	11,26 ^{**}	363,8 ^{**}	74,93 ^{**}
Água (A)	5	2,359 ^{**}	5507,9 ^{**}	101,3 ^{**}	529,8 ^{**}	1057,7 ^{**}	16,13 ^{**}	1724,3 ^{**}	22,09 ^{**}
S \times A	15	0,209 ^{**}	334,6 ^{**}	9,037 ^{**}	19,62 ^{**}	54,06 ^{**}	0,963 ^{**}	93,17 ^{**}	6,034 ^{**}
Resíduo	69	0,132	5,8	0,0651	0,3826	1,0029	0,1112	18,720	0,0988
Total	95	-	-	-	-	-	-	-	-
CV (%)	-	5,42	4,44	2,86	4,18	3,64	3,62	12,89	4,00

^{**} significativo a 5 e a 1%, respectivamente; ^{ns} – não significativo pelo teste F; FV – fonte de variação; GL – grau de liberdade; CV – coeficiente de variação; RAS = razão de adsorção de sódio.

Na Figura 11A estão contidos os valores do potencial hidrogeniônico dos solos usados como substrato para o desenvolvimento das plantas. Após avaliação dos valores de pH em água 1:2,5, ao final do experimento nas diferentes classes de solo, é possível observar que os valores de pH diferem entre si, exceto os dos solos S3 e S4. Os maiores valores de pH foram constatados nos solos S4 e S3, respectivamente, enquanto o menor valor foi constatado para o solo S1. Ao compararmos com os valores iniciais do solo (Tabela 2), constata-se que o solo S1 foi o que sofreu a maior alteração no pH, saindo de 6,25 para 5,90. Já quando compararmos os valores de pH em função das proporções de rejeito salino (Figura 11B), observa-se que a água com 0% de rejeito salino foi a que apresentou o maior pH, enquanto as demais não diferiram estatisticamente.

Figura 11 - Valores do potencial hidrogeniônico do extrato aquoso do solo em diferentes solos (A), em função de diferentes proporções de rejeito salino (B), do extrato de saturação (C) e da condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (D), ao final do

experimento. Médias seguidas por mesma letra minúsculas entre classes de solo não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).



O pH de uma solução aquosa é uma medida adimensional, influenciado pela composição e pela natureza dos cátions e ânions, composição e concentração dos sais solúveis no solo (LIMA JUNIOR; SILVA, 2010; RENGASAMY, 2016) e serve como escala para determinar se um solo é ácido ou alcalino (PARAMISPARAM et al., 2021). Os valores de pH próximos a neutralidade, tendendo a alcalinidade é uma característica esperada para solos afetados por sais e indica a predominância de íons OH⁻ em relação aos H⁺, afetando a disponibilidade de micronutrientes para as plantas como o ferro, cobre, zinco e manganês.

Para a condutividade elétrica do extrato de saturação (Figura 1D), observa-se que houve um aumento de forma quadrática com o aumento da percentagem de rejeito salino nas águas de irrigação. O aumento da CE do extrato de saturação era esperado e explicada pela maior quantidade de sais adicionadas ao solo via irrigação, visto que, conforme a Tabela 1, as águas de irrigação, exceto a A1, apresentaram condutividade elevada, entre 4,87 a 23,32 dS m⁻¹ e os vasos não apresentavam drenos, o que contribuiu para o aumento

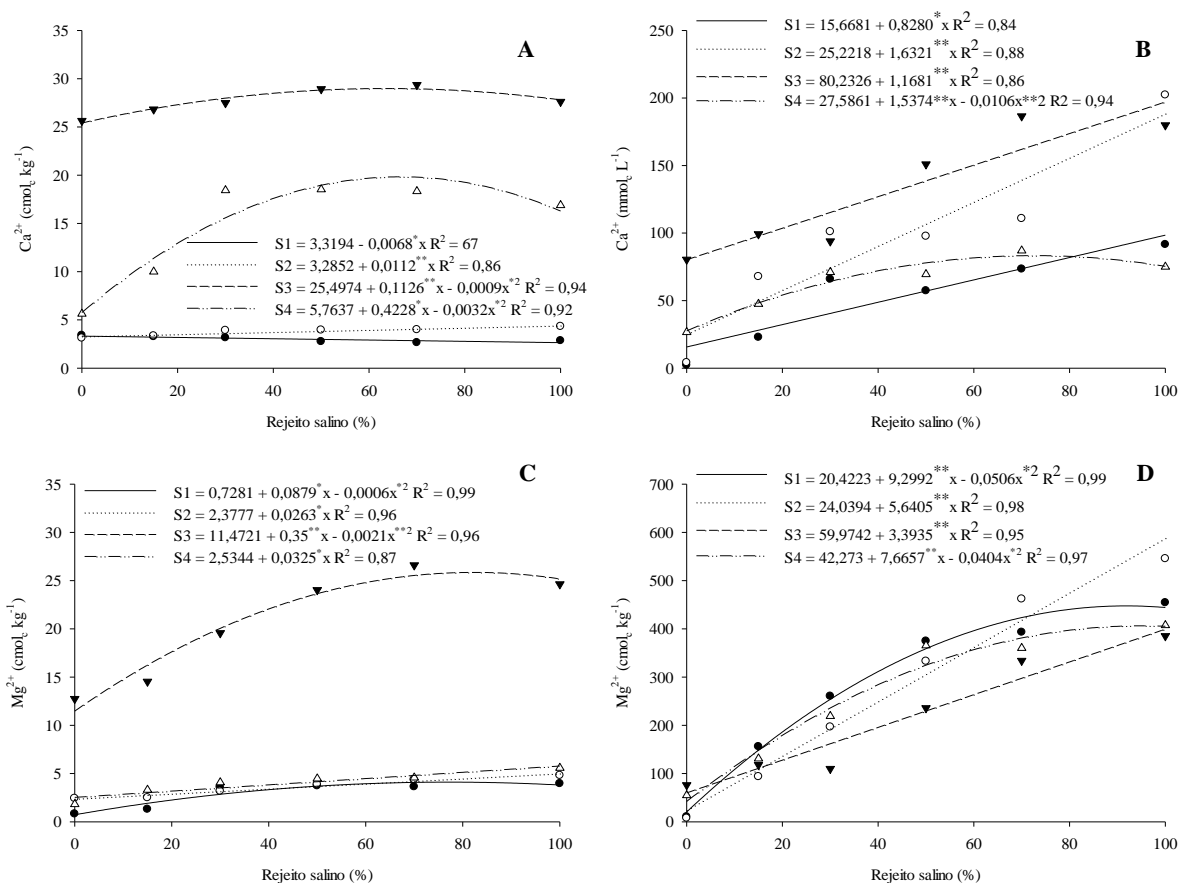
dos teores de sais dos solos usados como substrato para o crescimento e desenvolvimento das plantas.

Os impactos econômicos provocados pelos sais sobre os solos não são fáceis de serem mensurados, devido a relação não linear existente entre salinização e produtividade (MACHADO; SERRALHEIRO, 2017; HASSANI; AZAPAGIC; SHOKRI, 2021; CORWIN, 2021). Os solos agrícolas podem permanecer com uma salinidade moderada, sem ser detectada, durante anos, contudo um aumento adicional pode causar abandono das áreas agrícolas em poucos anos, dessa forma, o monitoramento da condutividade elétrica do solo é importante, permitindo de forma simplificada e eficiente a ocorrência de salinização do solo (PEDROTTI et al., 2015).

As águas de irrigação com condutividade elétrica acima de $0,7 \text{ dS m}^{-1}$ apresentam moderado potencial de salinização do solo (AYERS; WESTCOT, 1999). A elevação da condutividade elétrica do solo, ocasionada pela elevação da salinidade, pode afetar a absorção de nitrogênio e potássio, devido a alteração na movimentação de nutrientes na solução do solo, devido à redução de seu deslocamento por fluxo de massa, além de diminuir a energia livre da água, aumentando assim a condutividade elétrica da solução do solo (DIAS; BLANCO, 2010; SANTOS et al., 2016).

O solo S3 apresentou os maiores valores de Ca^{2+} trocável e solúvel. Para esse solo o cálcio trocável apresentou incremento até a percentagem máxima estimada de rejeito salino de 62,56%, quando expressou valor de $29,02 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (Figura 12A). Enquanto o cálcio solúvel apresentou incremento de $1,168 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ a cada incremento unitário de rejeito salino a água de irrigação (Figura 12B). Os teores de cálcio, tanto trocável como o solúvel presentes nos solos S1 e S2 apresentaram comportamento linear com o aumento nas percentagens de rejeito salino na água de irrigação.

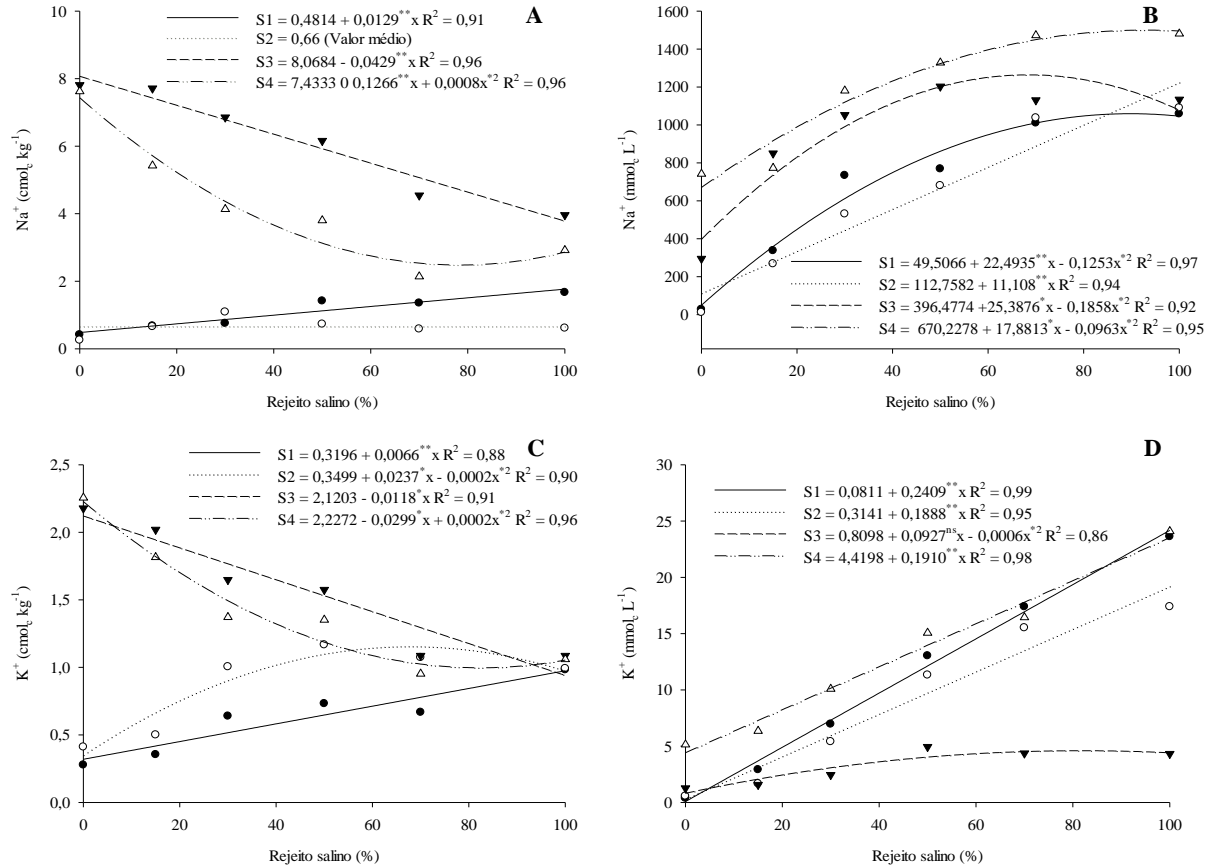
Figura 12 - Valores médios de Ca^{2+} e Mg^{2+} trocáveis (A e C) e solúveis (B e D) dos solos cultivados com *Salicornia neei* em função dos níveis de rejeito salino utilizados.



Os teores de magnésio trocáveis e solúveis são apresentados nas Figuras 12C e 12D, respectivamente. De maneira semelhante ao que ocorreu com o teor de cálcio trocável, o solo S3 foi o que apresentou o maior teor de magnésio trocável, atingindo valores máximos estimados de 26,01 cmol_c kg⁻¹ na dose máxima estimada de 88,10%.

Na Figura 13 apresenta-se as tendências observadas para os teores de sódio e potássio trocáveis e solúveis dos solos cultivados com *Salicornia neei* em função dos níveis de rejeito salino utilizado para irrigação durante a condução do experimento.

Figura 13 - Valores médios de Na^+ e K^+ trocáveis (A e C) e solúveis (B e D) dos solos cultivados com *Salicornia neei* em função dos níveis de rejeito salino utilizados na irrigação.



Observa-se na Figura 13A que os teores de sódio trocável dos solos S1 e S3 responderam de forma linear ao incremento de rejeito salino na água de irrigação, com acréscimo de $0,48 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ e decréscimo de $0,429 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ a cada incremento unitário de rejeito salino a água de irrigação, respectivamente. O solo S4 apresentou tendência quadrática, atingindo valores mínimos estimados de $2,43 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ao ser irrigado com água com 79,13% de rejeito salino. Já o solo S2 não se ajustou a nenhum modelo matemático testado com média de $0,66 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$.

Na Figura 13B encontra-se os valores de sódio solúvel. Os teores de sódio dos solos responderam de forma quadrática ao incremento do rejeito salino na água de irrigação, exceto para o solo S2 que apresentou tendência linear, com aumentos de $11,1 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ a cada incremento de unitário de rejeito salino.

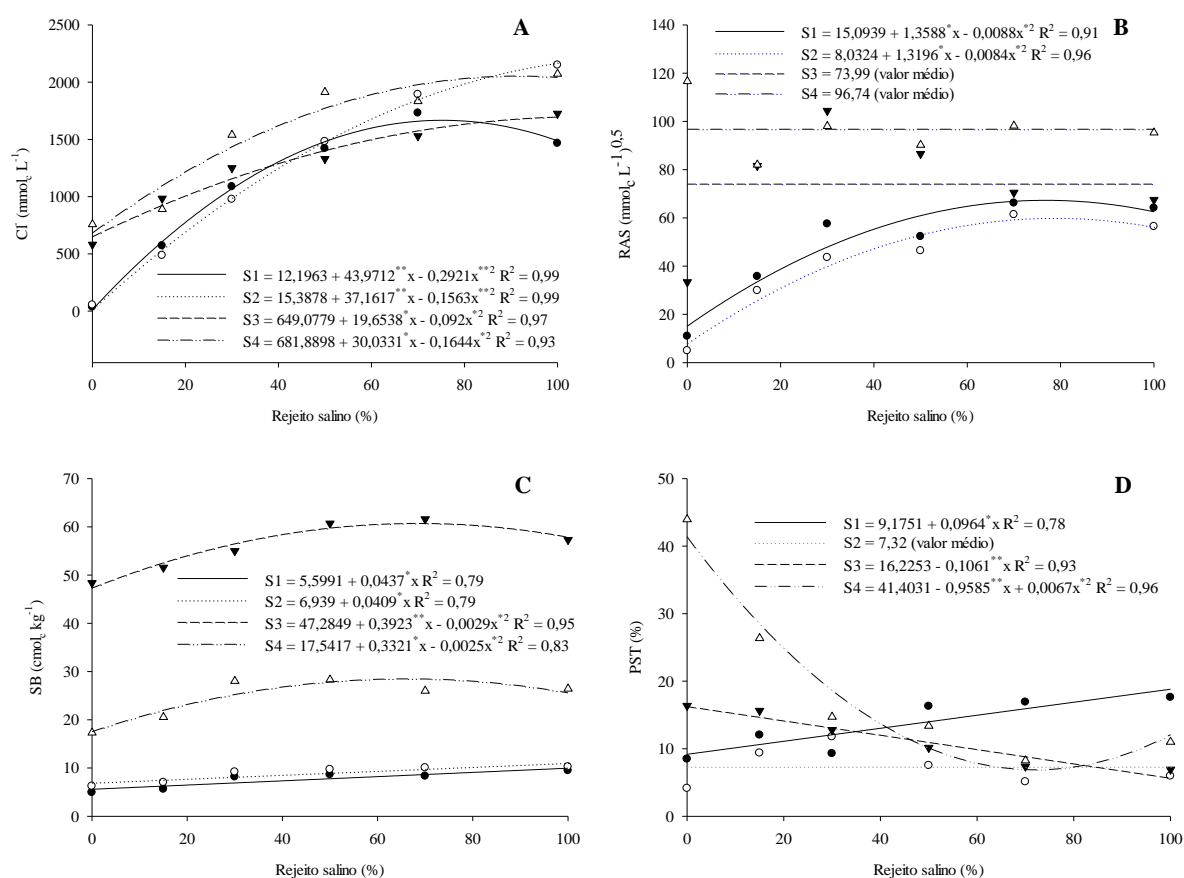
O potássio trocável dos solos S1 e S3 apresentaram tendências lineares crescente e decrescente, respectivamente, sendo que ao serem irrigados com dose estimada de

97,86% apresentaram teores de K semelhante de $0,97 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$. Enquanto o solo S2 e S4 responderam de forma quadrática, o S2 apresentou valores máximos estimados ao ser irrigado com 59,25% de rejeito e o solo S4 atingiu valores mínimos estimados ao serem irrigados com 74,75% de rejeito salino (Figura 13C).

Ao analisarmos o potássio solúvel (Figura 13D), constatamos o aumento linear do teor de potássio com o aumento da percentagem de rejeito salino na água de irrigação, exceto para o solo S3 que apresentou comportamento quadrático com valor máximo estimado de $4,39 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ com a dose máxima estimada de 77,25%.

O aumento da percentagem de rejeito salino na água de irrigação proporcionou incrementos de forma quadrática nos teores de cloretos em todos os solos estudados, sendo que, de forma geral, o solo S4 foi o que apresentou os maiores valores de cloretos com incremento até a dose máxima estimada de 91,34% (Figura 14A).

Figura 14 - Valores médios de Cl^- (A), razão de adsorção de sódio (B), soma de base (C) e percentagem de sódio trocável (D) dos solos cultivados com *Salicornia neei* em função dos níveis de rejeito salino utilizados.



Para a razão de adsorção de sódio (RAS), apresentado na Figura 14B, os solos S3 e S4 não se ajustaram a nenhum modelo matemático testado e são representados pelas médias dos tratamentos de 73,99 e 96,74 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$, respectivamente. Já os solos S1 e S2 se ajustaram ao modelo quadrático com aumentos até a dose máxima estimada de 77,20 e 78,55%, expressando valores de 67,55 e 59,86 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$, respectivamente.

Os valores da razão de adsorção de sódio dos solos são importantes para o desenvolvimento de atividades agrícolas, visto que é um índice que representa a possibilidade ou o risco de sodificação do solo. Os altos valores de RAS observados, maiores do que o limite de 13 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$, descrito por Richards (1954), mostra a predominância do Na^+ solúvel em relação aos cátions Ca^{2+} e Mg^{2+} , independente do solo estudado, indicando um alto grau de degradação provocado pelo sódio.

A soma de base dos solos S3 e S4 responderam de forma quadrática ao incremento do rejeito salino a água de irrigação. O solo S3 apresentou acréscimo até a dose máxima estimada de 67,64%, refletindo uma soma de bases de 60,55 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ (Figura 16C). O solo S3 é o que apresenta o maior teor de argila 68,8% (Tabela 2). Já os solos S1 e S2 apresentaram tendências lineares crescentes com ganhos de 0,0437 e 0,0409 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$, respectivamente, a cada incremento unitário de rejeito salino na água de irrigação (Figura 14C).

O percentual de sódio trocável (PST) do solo S2 não se ajustou a nenhum modelo testado, sendo representado pela média aritmética dos tratamentos (7,32%). O Solo S4 apresentou comportamento quadrático decrescente com o aumento do percentual de rejeito salino, é possível observar que houve decréscimo até a dose mínima estimada de 71,53% com valores de PST de 7,12% (Figura 14D). O solo S1 apresentou acréscimo de 0,096% na PST a cada incremento unitário de rejeito salino na água de irrigação, enquanto o solo S3 apresentou decréscimo de 1,1% a cada incremento de 10% de rejeito salino na água de irrigação.

A PST dos solos estudados não apresentou valores tão altos como os observados para a RAS, exceto para o solo S4 nas doses iniciais de rejeito salino. A PST é um indicador da estabilidade do solo, sendo que valores iguais ou superiores a 15%, são solos considerados sódicos e geralmente sem estrutura, devido a dispersão de argila, baixa porosidade e alta densidade do solo, o que pode comprometer o desenvolvimento das raízes das plantas devido a formação de camada de compactação.

Os sais em excesso no solo, independente da origem, primária ou secundária, torna-o um ambiente desfavorável ao crescimento e desenvolvimento da maioria das

espécies vegetais (KAMRAN et al., 2020). Cátions trocáveis presentes no solo podem influenciar as propriedades físicas como a estrutura do solo, estabilidade dos agregados, dispersão de partículas, permeabilidade e infiltração (FARAHANI et al., 2018). Já a acumulação excessiva de sais solúveis pode tornar o solo mais flocculado e friável.

A predominância de cátions monovalentes, sobretudo o Na^+ , promove mudanças na espessura da dupla cama difusa, devido ao seu raio iônico hidratado, aumentando de forma considerável a expansão das partículas de argilas, promovendo a formação de camadas impermeáveis, dificultando o movimento de água e ar nos solos (DIAS; BLANCO, 2010; FARAHANI et al., 2018).

4.6 Avaliação do estado nutricional das plantas

As variáveis relacionadas ao estado nutricional das plantas, sódio, potássio, cálcio e magnésio, aos 90, 180 dias após início dos tratamentos salinos e de raízes, responderam de forma significativas a interação Solo \times Água, indicando dependência entre os fatores (Tabela 10).

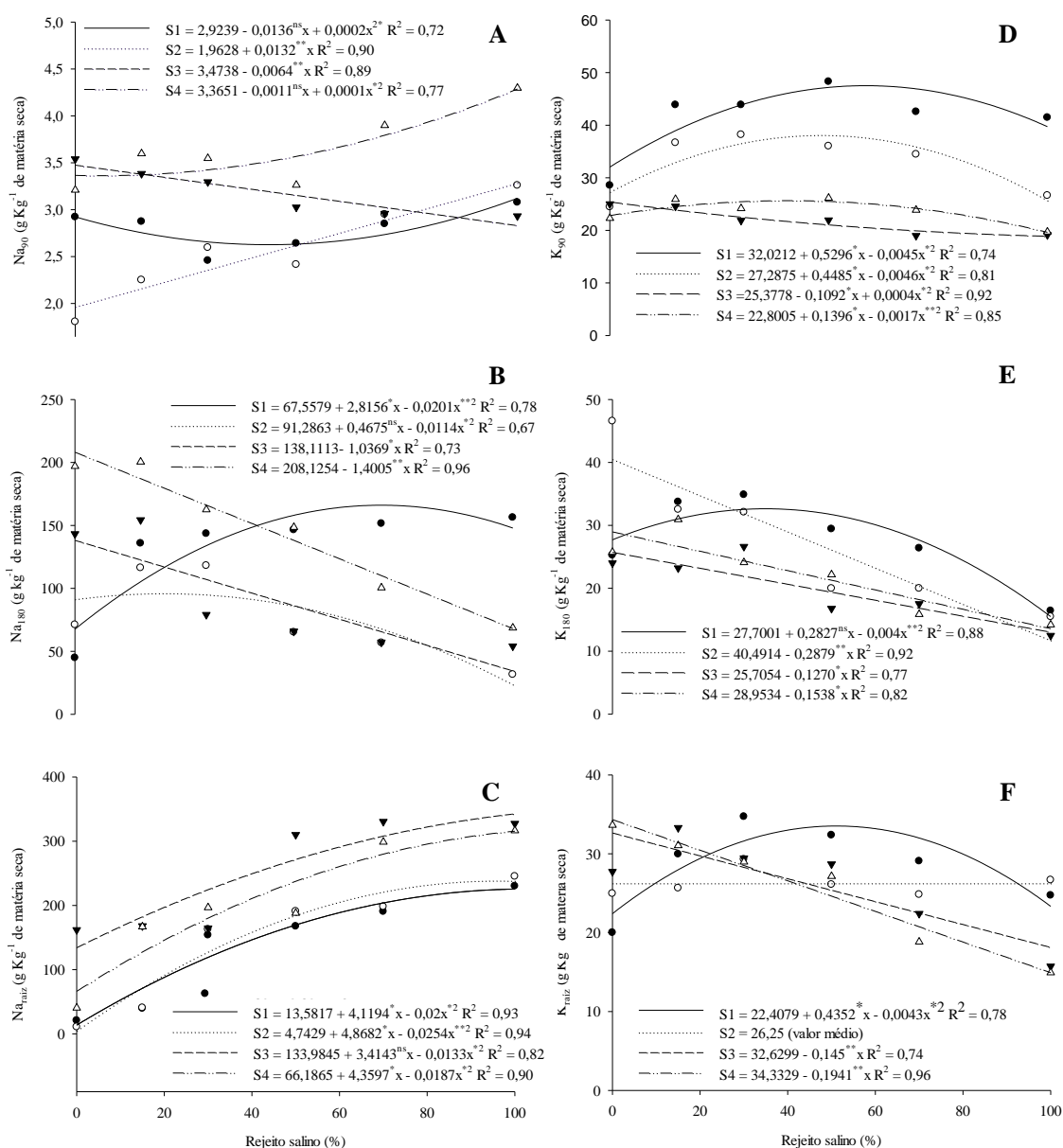
Tabela 10 - Resumo das análises de variâncias referentes aos teores de sódio, potássio, cálcio e magnésio da parte aérea aos 90 (Na₉₀, K₉₀, Ca₉₀ e Mg₉₀) e 180 (Na₁₈₀, K₁₈₀, Ca₁₈₀, Mg₁₈₀) dias após início dos tratamentos salinos e de raiz (Na_r, K_r, Ca_r e Mg_r) ao final do experimento de plantas de salicornia cultivadas em diferentes solos e sob diferentes proporções de rejeito salino.

Quadrados médios***													
FV	GL	Na ₉₀	Na ₁₈₀	Na _r	K ₉₀	K ₁₈₀	K _r	Ca ₉₀	Ca ₁₈₀	Ca _r	Mg ₉₀	Mg ₁₈₀	Mg _r
Bloco	3	0,157 ^{ns}	0,40 ^{ns}	0,4 ^{ns}	20,43 ^{ns}	13,27 ^{ns}	0,047 ^{ns}	5,333 ^{ns}	18,93 ^{ns}	0,031 ^{ns}	8,433 ^{ns}	0,262 [*]	0,204 [*]
Solo (S)	3	15,91 ^{**}	53,57 ^{**}	186,3 ^{**}	1683,3 ^{**}	241,7 ^{**}	53,58 ^{**}	380,1 ^{**}	1953,2 ^{**}	4,467 ^{**}	1270,9 ^{**}	4,343 ^{**}	3,278 ^{**}
Água (A)	5	18,47 ^{**}	50,40 ^{**}	393,4 ^{**}	146,2 ^{**}	730,6 ^{**}	5,708 ^{**}	85,04 ^{**}	377,3 ^{**}	7,460 ^{**}	234,3 ^{**}	0,383 ^{**}	4,462 ^{**}
S × A	15	16,93 ^{**}	12,31 ^{**}	32,03 ^{**}	60,47 ^{**}	162,8 ^{**}	8,405 ^{**}	30,82 ^{**}	501,9 ^{**}	1,376 ^{**}	187,5 ^{**}	0,657 ^{**}	2,112 ^{**}
Resíduo	69	0,08	0,704	1,071	7,523	8,569	0,142	2,673	8,733	0,061	3,119	0,078	0,046
Total	95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CV (%)	-	11,68	8,29	8,16	9,33	12,04	6,33	6,14	7,93	5,47	7,31	5,82	4,14

*** significativo a 5 e a 1%, respectivamente; ^{ns} – não significativo pelo teste F; FV – fonte de variação; GL – grau de liberdade; CV – coeficiente de variação; RAS = razão de adsorção de sódio.

Aos 90 dias após o início dos tratamentos salinos o teor de sódio da parte aérea apresentou decréscimo de $0,0064 \text{ g kg}^{-1}$ de matéria seca a cada aumento unitário de rejeito salino na água de irrigação para as plantas cultivadas no solo S3 (Figura 15A). O solo S1 apresentou decréscimo até a dose mínima estima de rejeito salino de 34,0%, acumulando teores de $2,69 \text{ g kg}^{-1}$. As plantas cultivadas no solo S2 apresentaram teores crescentes com o incremento de rejeito salino na ordem de $0,013 \text{ g kg}^{-1}$ a cada incremento unitário de rejeito salino (Figura 15A).

Figura 15 - Teores de sódio da parte aérea de *Salicornia neei* aos 90 e 180 dias após início dos tratamentos salinos e das raízes (A, B e C) e de potássio aos 90 e 180 dias após início dos tratamentos salinos e das raízes (D, E e F).



Após 180 dias do início dos tratamentos salinos, as plantas, independente do solo utilizado, apresentaram decréscimo com o aumento do rejeito salino, exceto o solo S1 (Figura 15B). Os solos S3 e S4 apresentaram tendências lineares com decréscimos na ordem de 1,03 e 1,40 g kg⁻¹ de matéria seca a cada aumento unitário de rejeito salino, respectivamente. Os solos S1 e S2 apresentaram tendências quadráticas com acréscimos nos teores de sódio até as doses máximas estimadas de 70,04 e 20,50%, refletindo valores de 166,16 e 96,08 g kg⁻¹ de matéria seca (Figura 15B).

As raízes das plantas de *Salicornia neei* apresentaram quantidade expressivas de sódio (Figura 15C). Observa-se tendências quadráticas para as plantas cultivadas em todos os solos estudados, sendo que as plantas cultivadas no solo S3 apresentaram os maiores valores de sódio na ordem de 341,98 g kg⁻¹ nas raízes, enquanto as cultivadas nos solos S1, S2 e S4 foram as que apresentaram os menores teores de sódio na ordem de 225,58; 237,99 e 312,18 g kg⁻¹, respectivamente, fato que está relacionado ao valor inicial (Tabela 2) como ao final do experimento (Figura 15A e 15B). Esses solos foram os que apresentaram os menores teores de sódio tanto trocável, quanto solúvel.

O teor de Na⁺ acumulado foi bem mais expressivo que os outros cátions analisados (K⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺), tanto nas raízes como na parte aérea das plantas. Araus et al. (2021) estudando o efeito da irrigação com águas salinas sobre o crescimento e indicadores fisiológicos da espécie *Salicornia europaea*, observaram tendência semelhante que, segundo os autores está de acordo com a natureza halófito da espécie.

Os valores obtidos na pesquisa são superiores aos obtidos por Souza et al. (2014) trabalhando com a espécie halófito *Atriplex nummularia*, em solo afetado por sais no município de Pesqueira-PE, o que observaram teores de sódio variando de 124,37 a 125,75 g kg⁻¹ de matéria seca na parte aérea de plantas com poda e sem poda, respectivamente. Bertin et al. (2014) observaram teores de sódio variando entre 10,19 e 16,57 mg g⁻¹ de matéria fresca, para plantas de *Sarcocornia ambigua* coletadas de duas regiões do Estado de Santa Catarina, com umidades de 88,15 e 88,57%, respectivamente. Fazendo uma estimativa desses valores para matéria seca, encontramos os valores de 85,99 e 144,97 g kg⁻¹ de matéria seca, respectivamente.

Lv et al. (2012), trabalhando com espécie de *Salicornia europaea* irrigadas com soluções de concentrações de até 1000 mM de NaCl obtiveram teores máximos de Na⁺ de 295,29 g kg⁻¹ de matéria seca da parte aérea ao irrigarem as plantas com águas de concentração salina de 800 mM, aos 21 dias de cultivo. Os valores encontrados são

maiores do que em glicófitas (FLOWERS; COLMER, 2008), e mesmo comparado com algumas halófitas excretoras de sal (BARHOMI et al., 2007).

Os teores de potássio aos 90 dias após início dos tratamentos salinos responderam de forma quadrática ao incremento de rejeito salino nas águas de irrigação (Figura 15D). As plantas de salicórnica cultivadas nos solos S1, S2 e S4 apresentaram incremento nos teores de potássio até as doses de rejeito salino nas águas de irrigação de 58,84; 48,75 e 41,06%, apresentando valores de 47,60; 38,22 e 25,67 g kg⁻¹, respectivamente. Já o solo S3 apresentou decréscimo nos valores de potássio com o aumento na percentagem de rejeito salino (Figura 15D).

Aos 180 dias de cultivo sendo irrigadas com as respectivas proporções de rejeito salino as plantas de salicornia cultivadas nos solos S2, S3 e S4 apresentaram tendências lineares decrescentes com redução nos teores de potássio de 0,288; 0,127 e 0,154 g kg⁻¹ de matéria seca, a cada aumento de unitário de rejeito salino nas águas de irrigação, respectivamente (Figura 15E). Já o solo S1 apresentou tendência quadrática com incremento até a dose máxima estimada de 35,34%, o que proporcionou um teor de 32,7 g de potássio por kg de matéria seca (Figura 15E).

Para os teores de potássio das raízes das plantas cultivadas no solo S1 o aumento do volume de rejeito na água de irrigação promoveu incremento até a dose máxima estimada de 50,61%, proporcionando valor de 33,42 g de potássio por kg de matéria seca de raiz (Figura 15F). Os teores de potássio encontrados nas raízes das plantas que se desenvolveram no solo S2 não se ajustaram a nenhum modelo matemático testado, enquanto as cultivadas nos solos S3 e S4 apresentaram comportamento linear decrescente com redução de 0,145 e 0,194 g de potássio por kg de matéria seca de raiz a cada incremento de 10% de rejeito salino na água de irrigação, respectivamente (Figura 15F).

O K⁺ é um cátion classificado como macronutriente e o mais abundante nas plantas, podendo constituir até 10% da massa seca da planta (VÉRY; SENTENAC, 2003). O potássio está envolvido no transporte de açúcares, transporte e uso da água, ativador enzimático, além de desempenhar um importante papel na regulação do potencial osmótico das células vegetais, fotossíntese e resistência ao estresse (OOSTERHUIS et al., 2014; HASANUZZAMAN et al., 2018).

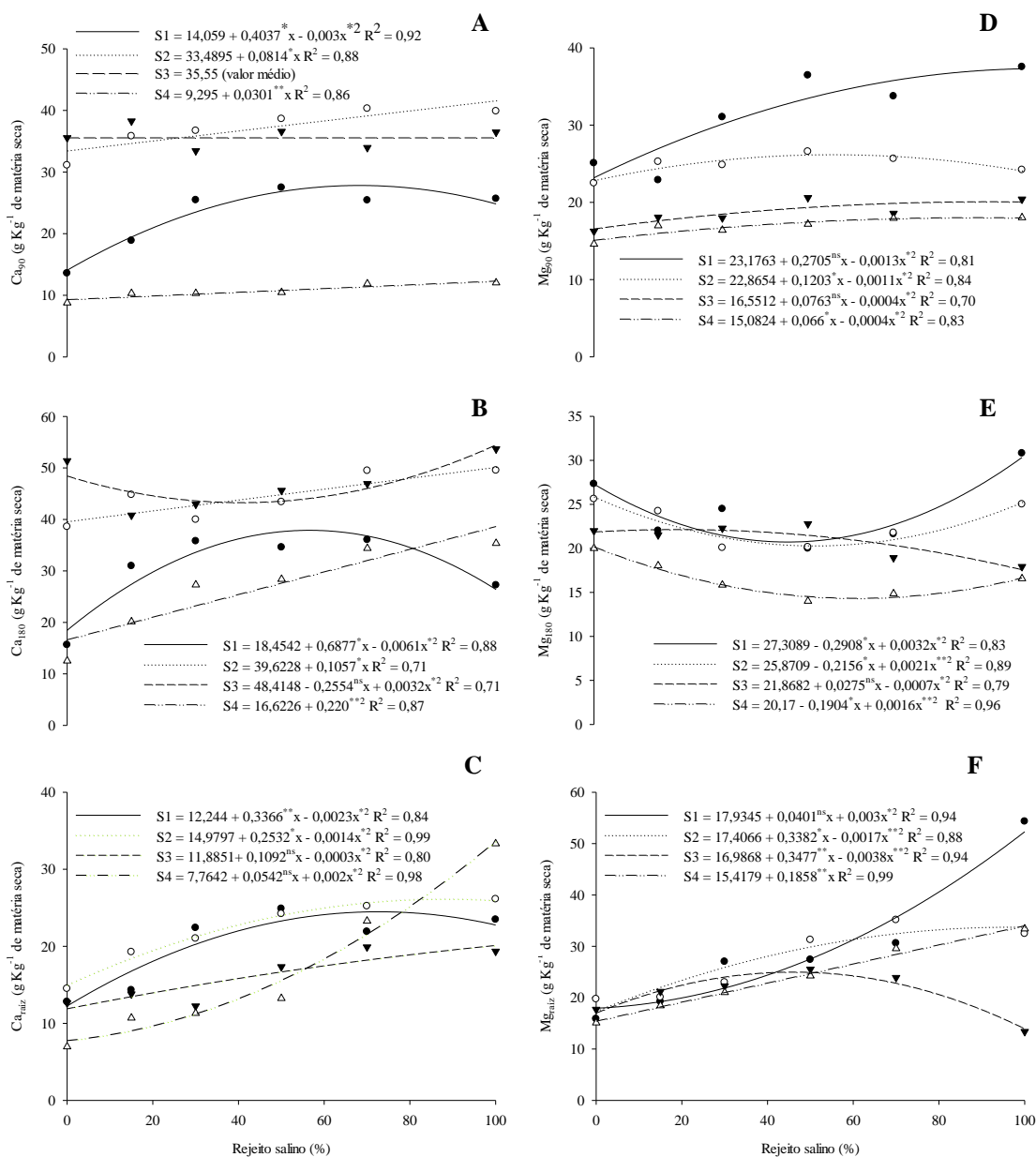
O conteúdo de K⁺ nas raízes pode ter sido reduzido pelas altas concentrações de sódio devido ao antagonismo que existe entre esses dois íons. O estresse provocado pelo excesso de sais na zona radicular, sobretudo o Na⁺, causa redução nos teores de K⁺ na solução do solo, conseqüentemente nos tecidos das plantas devido a competição do K⁺

com Na^+ , além do mais o Na^+ pode entrar nas raízes pelos canais de K^+ , tendo em vista que o Na^+ concorre pelos mesmos sítios de absorção dos transportadores de K^+ presentes na membrana plasmática das células das raízes (SILVEIRA et al., 2009; ASSAHA et al., 2017).

Souza et al. (2014) obtiveram teores de 30,15 e 21,90 g de potássio por kg de matéria seca da parte aérea de plantas de *Atriplex nummularia*, em plantas com poda e sem poda, respectivamente. Barreira et al. (2017) obtiveram teores de 8,92 g de potássio por kg de matéria seca de plantas da espécie de *Salicornia ramosissima*, coletadas de diferentes regiões do Sul de Portugal. Bertin et al. (2014) observaram valores de 24,47 e 15,84 g de potássio kg^{-1} (valores estimados a partir de valores de umidades das plantas coletadas) de matéria seca, para plantas de *S. ambigua* coletadas de duas regiões do Estado de Santa Catarina.

Na Figura 16 estão contidos os teores cálcio e magnésio referentes a parte aérea aos 90 e 180 dias após irrigação com proporções de rejeito salino e de raízes de salicórnia ao final do experimento.

Figura 16 - Teores de cálcio da parte aérea de *Salicornia neei* aos 90 e 180 dias após início dos tratamentos salinos e das raízes (A, B e C) e de magnésio aos 90 e 180 dias após início dos tratamentos salinos e das raízes (D, E e F).



O teor de cálcio aos 90 dias após início da irrigação com o rejeito salino, encontrado na parte aérea das plantas de salicornia cultivadas no solo S3 não se ajustaram aos modelos matemáticos testados e, portanto, foram representados pela média dos dados observados (35,55 g kg⁻¹), conforme Figura 16A. Os solos S2 e S4 apresentaram tendência lineares crescentes com incremento de 0,081 e 0,030 g de cálcio por kg de matéria seca, a cada incremento unitário de rejeito salino na água de irrigação. O solo S1

apresentou tendência quadrática com incremento até a dose máxima estimada de 67,28%, refletindo valor máximo de 27,64 g de cálcio por kg de matéria seca (Figura 16A).

Na Figura 16B estão contidos os teores de cálcio da parte aérea das plantas de salicornia após 180 dias de cultivo com as proporções de rejeito salino. Observa-se que os solos S2 e S4 apresentaram comportamento linear crescente com o incremento na percentagem de rejeito salino, com aumentos de 0,106 e 0,22 g de cálcio por kg de matéria seca. O solo S1 apresentou incremento até a dose máxima estimada de 56,37%, o que proporcionou um teor de cálcio de 37,84 g kg⁻¹ de matéria seca da parte aérea. O solo S3 apresentou decréscimo até a dose mínima estimada de 39,91% e teores de 43,32 g de cálcio por kg de matéria seca da parte aérea (Figura 16B).

Os teores de cálcio das raízes de salicornia apresentaram tendências quadráticas, com incrementos até as doses máximas estimadas de 73,17 e 90,43% para os solos S1 e S2, respectivamente, com valores máximos de 24,55 e 26,42 g kg⁻¹ (Figura 16C).

O cálcio (Ca²⁺) desempenha papel fundamental nas respostas das plantas a uma gama de estímulos ambientais, incluindo estresses abióticos e bióticos, atuando como mensageiro secundário, sinais de Ca²⁺ são decodificados por sensores que traduzem o sinal em respostas fisiológicas, metabólicas e moleculares (PLASENCIA et al., 2021). A manutenção de níveis equilibrados de Ca²⁺ é importante no crescimento e desenvolvimento vegetal, sobretudo, em condições salinas, devido as funções desempenhadas pelo cálcio em vias de sinalização de estresse (MORGAN et al., 2014).

O Na⁺ geralmente é o cátion predominante em solos salinos, que é refletido em uma maior disponibilidade na solução do solo, dessa forma, o Ca²⁺ compete diretamente com o Na⁺ pelos sítios de adsorção (ZEHRRA et al., 2012). A maior adsorção de Na⁺ ocorre por esse além de estar em maior quantidade, ser monovalente e apresentar raio iônico menor (0,95 Å) em relação ao raio do cálcio (0,99 Å) (FERREIRA NETO et al., 2007).

Doncato e Costa (2017), trabalhando com quatro genótipos de *Sarcocornia ambigua* cultivadas com efluente salino proveniente do cultivo de camarão encontraram teores de cálcio variando entre 6,86 e 9,50 g kg⁻¹ de matéria seca. Souza et al. (2014) observaram valores de 12,41 g de cálcio kg⁻¹ de matéria seca de plantas de *Atriplex nummularia*. Barreira et al. (2017) obtiveram valor de até 4,86 g de cálcio kg de matéria seca para a espécie *Salicornia ramosissima*, ao estudarem os benefícios das plantas halófitas para a saúde.

Para os teores de magnésio da parte aérea aos 90 dias após o início da aplicação das proporções de rejeito salino, observa-se tendências quadráticas, sendo que os valores

observados para as plantas cultivadas no solo S1 foram maiores que as demais (Figura 16D). As plantas cultivadas nos solos S2, S3 e S4 apresentaram incrementos nos teores de magnésio até as doses máximas estimadas de 54,68; 95,38 e 82,50% o que proporcionou teores de cálcio na parte aérea das plantas de 34,37; 20,19 e 17,80 g kg⁻¹ de matéria seca da parte aérea, respectivamente (Figura 16D).

Aos 180 dias após o início da irrigação com as proporções de rejeito salino, os teores de magnésio apresentaram decréscimos até as doses mínimas estimadas de 45,44; 51,33 e 59,50%, expressando valores de 20,70; 20,34 e 14,51 g de magnésio por kg de matéria seca da parte aérea, para os solos S1, S2 e S4, respectivamente. Já o solo S3 apresentou incremento até a dose máxima estimada de rejeito salino de 19,64% apresentando teores de 22,14 g de magnésio por kg de matéria seca da parte aérea (Figura 16E).

Os teores de magnésio das raízes das plantas de salicórnia cultivadas nos solos S1, S2 e S3 apresentaram tendências quadráticas. O solo S3 apresentou valor máximo estimado de 24,94 g de magnésio por kg de matéria seca de raiz, na dose estimada de 45,75% (Figura 16F), enquanto que, o solo S4 apresentou tendência linear crescente com aumento de 0,186 g de magnésio por kg de matéria seca de raiz a cada incremento unitário de rejeito salino na água de irrigação (Figura 16F).

Analisando-se os efeitos das diferentes proporções de rejeito salino nas águas de irrigação, infere-se que, de modo geral, o incremento de rejeito salino resultou em acréscimos nos teores de magnésio tanto na parte aérea como nas raízes das plantas de *Salicornia neei*, os teores de Mg²⁺, são considerados adequados conforme dados contidos em Taiz et al. (2017).

O magnésio desempenha papel de co-fator em quase todas as enzimas envolvidas no metabolismo energético e de moléculas de clorofilas (TAIZ et al., 2017). Embora o magnésio seja importante para o metabolismo vegetal, estudos na literatura que aborde os níveis adequados de Mg²⁺ em plantas submetidas ao estresse salino são limitados, tanto para a Salicórnia como para outras espécies. Além disso, não há um consenso acerca das tendências dos teores de Mg nos tecidos vegetais em função da salinidade (PAULUS et al., 2012).

Barreira et al. (2017) obtiveram teores de 9,43 g de potássio kg⁻¹ de matéria seca de plantas da espécie de *Salicornia ramosissima*, coletadas de diferentes regiões do Sul de Portugal. Bertin et al. (2014) observaram teores entre 7,76 e 11,31 g de magnésio kg⁻¹ de matéria seca da parte aérea da espécie *Salicornia ambigua*. Enquanto Doncato e Costa

(2017) constataram teores de Mg entre 6,58 e 7,13 g kg⁻¹ de matéria seca, ao trabalharem com quatro genótipos de *Sarcocornia ambigua* cultivadas com efluente salino proveniente do cultivo de camarão.

4.7 Testes bioquímicos

Na Tabela 11 encontra-se a caracterização dos isolados obtidos da espécie *Salicornia neei*, cultivadas em campo. A produção de biofilme foi avaliada nos 30 isolados e na estirpe referência, sendo que todos os isolados apresentaram a capacidade de produção. Os valores de biofilme obtidos no presente estudo variaram de 0,20 a 0,51 µg mL⁻¹. Dos isolados, o BSL1 foi o que apresentou a maior produção de biofilme (0,51 µg mL⁻¹).

Tabela 11 - Produção de biofilme, produção de AIA, capacidade de solubilização de fosfato de cálcio e amplificação de um fragmento do gene *nifH* de bactérias isoladas das raízes, parte aérea e rizosfera de *Salicornia neei*.

Isolados	Compartimento	Meio	Biofilme (µg mL ⁻¹)	AIA (µmol L ⁻¹)	Solubilização de fosfato	<i>nifH</i>
LS1	Rizosfera	LGI-P	0,27	-	Não	+
BSL4	Rizosfera	BMGM	0,35	0,34	Não	+
NR6	Raiz	NFB	0,24	0,21	Não	-
LS2	Rizosfera	LGI-P	0,25	0,37	Não	+
NR4	Raiz	NFB	0,41	0,50	Não	+
BS2	Rizosfera	BMGM	0,27	0,86	Não	+
BR1	Raiz	BMGM	0,28	0,51	Não	+
LR1	Raiz	LGI-P	0,31	0,42	Não	+
BPA2	Parte aérea	BMGM	0,36	-	Não	+
BS4	Rizosfera	BMGM	0,37	0,99	Não	+
NR3	Raiz	NFB	0,37	1,01	Não	+
NR2	Raiz	NFB	0,34	0,74	Não	+
NS1	Rizosfera	NFB	0,25	0,43	Não	+
LPA2	Parte aérea	LGI-P	0,34	0,40	Não	-
LPA1	Parte aérea	LGI-P	0,35	-	Não	-
BR6	Raiz	BMGM	0,25	0,38	Não	+
NR7	Raiz	NFB	0,21	0,16	Não	+
BPA4	Parte aérea	BMGM	0,27	-	Não	+

BS5	Rizosfera	BMGM	0,24	0,38	Não	+
BPA3	Parte aérea	BMGM	0,29	0,21	Não	-
BS3	Rizosfera	BMGM	0,48	0,18	Não	+
BR5	Raiz	BMGM	0,20	-	Não	+
BS6	Rizosfera	BMGM	0,28	-	Não	-
BSL1	Rizosfera	BMGM	0,51	0,29	Não	+
BR3	Raiz	BMGM	0,29	-	Não	+
BRZ2	Raiz	BMGM	0,31	-	Não	+
BSL3	Rizosfera	BMGM	0,30	0,89	Não	+
BS1	Rizosfera	BMGM	0,44	0,98	Não	+
NR5	Raiz	NFB	0,27	-	Não	+
BPA1	Parte aérea	BMGM	0,25	0,53	Não	-
Ab-V5	Estirpe referencial	-	0,37	1,96	-	+

AIA – Ácido indolacético

A produção de biofilme por micro-organismos pode ser um importante mecanismo que auxilia na proteção das células contra condições estressantes, sobretudo, em ambiente salino (NOCELLI et al., 2016). Os resultados do presente trabalho corroboram com os resultados obtidos por Sena et al. (2020) que avaliaram isolados nativos de solos afetados por sais do semiárido, e constataram alta capacidade de formação de biofilme e de produção de AIA.

A produção de ácido-3-indolacético (AIA) *in vitro* pelas bactérias isoladas da salicornia foi avaliada para os 30 isolados por ser um fitohormônio de grande importância para o crescimento vegetal. Dos isolados, nove não apresentaram produção de AIA, o que corresponde a aproximadamente 27,3%, dentre os que produziram os valores variaram de 0,16 a 1,01 $\mu\text{g mL}^{-1}$.

O AIA produzido por bactérias atua como promotor de crescimento, capaz de regular o crescimento vegetal, promovendo incremento no crescimento radicular e melhorando a absorção de nutrientes, como também, atua como molécula sinalizadora à resposta ao estresse, o que favorece as plantas hospedeiras para superarem os estresses abióticos (OUYANG et al., 2017). Sena et al. (2020), estudando rizóbios nativos de solos agrícolas da região Semiárida, identificaram isolados com alta capacidade de produção dos compostos indólicos (AIA), bem como a capacidade de formação de biofilme em solos sob condições de salinidade.

Os isolados não apresentaram a habilidade de solubilizar fosfato. A ausência de isolados com a capacidade de solubilizar fosfato de cálcio pode ser decorrente da fonte de carbono (glicose) utilizada ou da própria incapacidade dos isolados em solubiliza-lo. A solubilização de fosfato é uma característica importante levada em consideração para a seleção de micro-organismos promotores de crescimento de plantas eficientes para o desenvolvimento de bioformulações a fim de diminuir o uso de fertilizantes fosfáticos (ALAYLAR et al., 2020).

Todos os isolados pré-selecionados pela presença da película microaerofílica foram submetidos à amplificação do fragmento do gene *nifH*. De 30 isolados 25 apresentaram *amplicom* de 360 pb. Os isolados que amplificaram o gene foram considerados positivos quanto ao potencial de fixação biológica do nitrogênio.

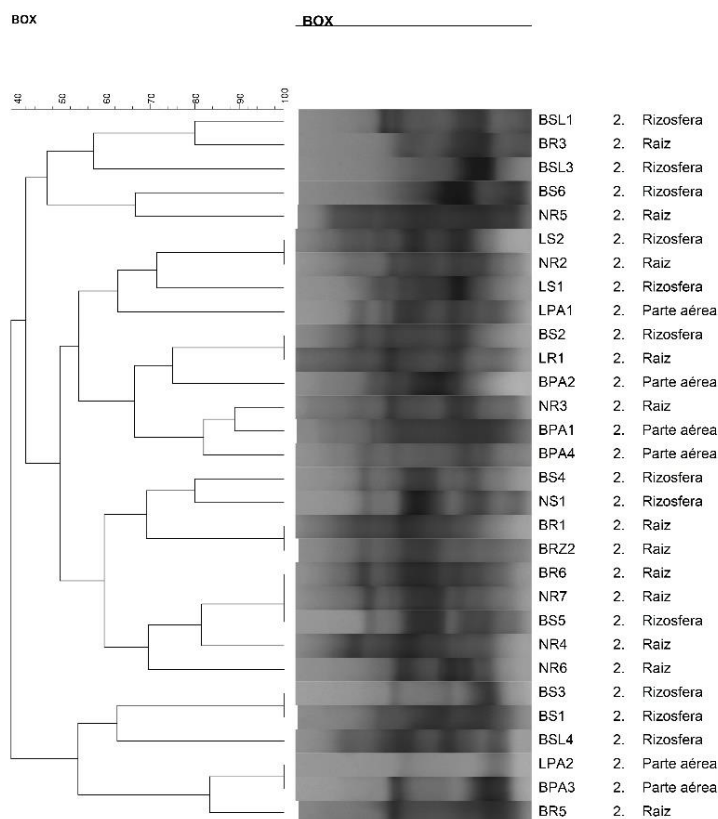
A análise da presença do gene *nifH* é frequentemente utilizada para avaliar a diversidade de bactérias fixadoras de nitrogênio em diferentes ecossistemas (BOUFFAUD et al., 2016). O processo de fixação biológica de N em plantas não leguminosas ocorre através de micro-organismos conhecidos como diazotróficos. Essas bactérias diazotróficas associativas podem contribuir para o crescimento vegetal tanto pelo fornecimento de nitrogênio por meio do processo de FBN, como também por outros mecanismos como produção de fitormônios, solubilização de fosfatos, antagonismo a fitopatígeno, entre outros (MOREIRA et al., 2010).

4.8 Avaliação da variabilidade genética dos isolados

As análises de *fingerprinting* molecular permitiram identificar que existe seis perfis com 100% de similaridade e 17 perfis únicos (Figura 17).

Figura 17 - Dendrograma de similaridade com base em impressão digital molecular aplicando os marcadores moleculares BOX-A1. Os perfis genéticos foram avaliados com

auxílio do programa Bionumerics 7.6 (Applied Maths, Bélgica) utilizando o método de agrupamento UPGMA e coeficiente de Dice.

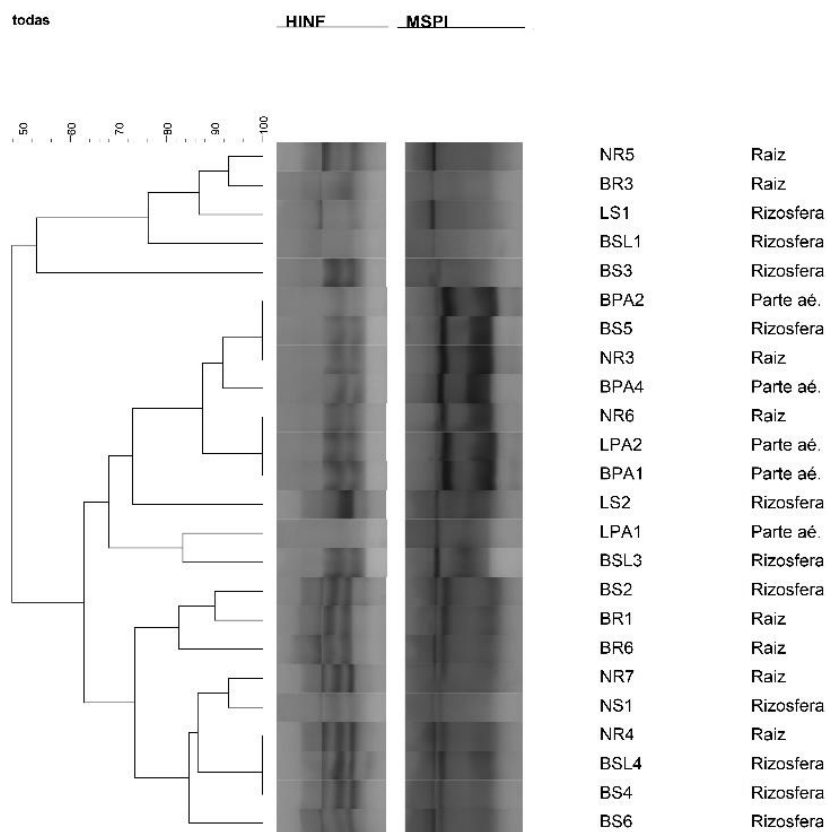


A existência dos seis clones na coleção não exclui a alta variabilidade genética entre os isolados da coleção, uma vez que o ambiente salino é altamente restritivo para a diversidade microbiológica do local. Dessa forma, pode-se afirmar que a coleção de micro-organismos isolados de *Salicornia neei* apresenta uma considerável biodiversidade. Estudos de taxonomia e capacidade de promoção do crescimento são necessários para um melhor entendimento destas bactérias, tanto do ponto de vista biológico como tecnológico.

4.9 Análise de Restrição do DNA Ribossomal Amplificado (ARDRA)

Os isolados obtidos e que não foram identificados como sendo clones foram submetidos a Análise de Restrição do DNA Ribossomal Amplificado (ARDRA), sendo possível avaliar a variabilidade genética da coleção. A análise dos perfis de restrição do 16S rRNA obtido a partir das endonucleases Hinf e MspI de corte frequente, permitiu a formação de três grandes grupos com 65% de similaridade (Figura 18).

Figura 18 - Dendrograma de similaridade com base nos perfis polimórficos utilizando a técnica ARDRA usando 16S rRNA como o produto de PCR e endonucleases Hinf e MspI. As imagens dos géis foram analisadas com auxílio do programa BioNumerics 7.6 (Applied Maths, Bélgica), utilizando o método de agrupamento UPGMA e coeficiente de Dice.



É possível observar que o primeiro grupo foi formado por cinco isolados, sendo três isolados do compartimento rizosfera e dois das raízes. No segundo grupo é observado dois isolados do compartimento raiz, três isolados do compartimento rizosfera e todos os cinco isolados do compartimento parte aérea. No terceiro grupo de forma semelhante ao que ocorreu para o primeiro grupo, só apresentou isolados do compartimento raiz (quatro isolados) e do compartimento rizosfera (cinco isolados).

4.10 Sequenciamento do gene 16S rRNA

Foram selecionados sete isolados para a amplificação e sequenciamento do gene 16sRNA, selecionados de diferentes compartimentos da planta: rizosfera, raiz e parte aérea. Apenas quatro apresentaram sequências de boa qualidade em ambos os sentidos de sequenciamento (forward e reverse) após verificação no programa SeqScanner. e

posteriormente tiveram suas sequências montadas e alinhadas com sequências de estirpes depositadas no banco de dados GenBank. O isolado NR4 apresentou 99% de similaridade com *Pseudomonas*, BSL4 99% com *Enterobacter*; NR3 apresentou 99% de similaridade com *Pseudomonas* e BSL1 97% de similaridade com *Enterobacter*. Os isolados que não apresentaram sequências satisfatórias, não puderam ser identificados (Tabela 12).

Tabela 12 - Identificação dos isolados identificados no banco de dados GenBank.

Sequencias similares encontradas no GenBank			
Isolados	Espécie/16s	Número de acesso	Similaridade (%)
NR4	<i>Pseudomonas geniculata</i>	LC507977.1	99
BSL4	<i>Enterobacter kobei</i>	CP017181.1	99
NR3	<i>Pseudomonas geniculata</i>	LC507977.1	99
BSL1	<i>Enterobacter bugandensis</i>	LT992502.1	97
BPA2	-	-	-
BSL3	-	-	-
BR3	-	-	-

Dentre as bactérias promotoras de crescimento de plantas, as do gênero *Pseudomonas* são algumas das mais estudadas, por possuírem habilidade de crescer numa ampla faixa de condições ambientais e produzir compostos de interesse biotecnológico como AIA, sideróforos e antibióticos. Fernandes-Júnior et al. (2015) ao isolarem bactérias diazotróficas de *Tripogon spicatus* na região Semiárida do Brasil, caracterizaram isolados que apresentaram similaridade a Enterobacteriaceae como pertencentes a *Pantoea* sp. e *Enterobacter* sp., além de isolados de *Bacillus* sp., *Stenotrophomonas* sp. e *Rhizobium* sp.

Ozawa et al. (2007) isolaram *Pseudomonas pseudoalcaligenes* da endorizosfera de *Salicornia europaea*. Jha et al. (2012), identificaram isolados do gênero *Pseudomonas* das raízes de *Salicornia brachiata*. Szymanska et al. (2016) sugerem que bactérias associadas a plantas halófitas e que promovem crescimento vegetal podem ser utilizadas para mitigar o estresse salino. No entanto, outros experimentos são necessários para confirmar os benefícios e a possível aplicação comercial desses isolados.

5. CONCLUSÕES

A produção de biomassa, juntamente com as trocas gasosas de plantas de *Salicornia neei* são reduzidos com a elevação da percentagem de rejeito salino na água de irrigação.

As plantas mostram potencial de cultivo em solos com o nível de salinidade elevada, mesmo ao serem irrigadas com águas salinas.

As condições de estresse salino provocam aumento nos teores de Na⁺ da matéria seca de raízes de plantas de salicórnia em detrimento aos demais cátions.

Os micro-organismos endofíticos associados a *Salicornia neei* são de crescimento lento e com predominância dos gêneros *Pseudomonas* e *Enterobacter*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACOSTA-MOTOS, J. R.; ORTUÑO, M. F.; BERNAL-VICENTE, A.; DIAZ-VIVANCOS, P.; SANCHEZ-BLANCO, M. J.; HERNANDEZ, J. A. Plant responses to salt stress: adaptive mechanisms. **Agronomy**, v. 7, n. 1, p. 1 – 38, 2017. <https://doi.org/10.3390/agronomy7010018>
- AGHALEH, M., NIKNAM, V., EBRAHIMZADEH, H.; RAZAVI, K. Salt stress effects on growth, pigments, proteins and lipid peroxidation in *Salicornia persica* and *S. europaea*. **Biologia Plantarum**, v. 53, n. 2, p. 243-248, 2009. <http://dx.doi.org/10.1007/s10535-009-0046-7>
- ALAYLAR, B.; EGAMBERDIEVA, D.; GULLUCE, M.; KARADAVI, M.; ARORA, N. K. Integration of molecular tools in microbial phosphate solubilization research in agriculture perspective. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 36, n. 93, 2020. <https://doi-org.ez19.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s11274-020-02870-x>
- ALLBED, A.; KUMAR, L. Soil salinity mapping and monitoring in Arid and Semi-Arid regions using remote sensing technology: A review. **Advances in Remote Sensing**, v. 2, p. 373 - 385, 2013. <http://dx.doi.org/10.4236/ars.2013.24040>
- ALTUNTAS, C.; DEMIRALAY M, MUSLU AS, TERZI R. Proline-stimulated signaling primarily targets the chlorophyll degradation pathway and photosynthesis associated processes to cope with short-term water deficit in maize. **Photosynthesis Research**, v. 144, p. 35 – 48, 2020. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11120-020-00727-w>
- ALVES, F. A. L.; FERREIRA-SILVA, S. L.; SILVEIRA, J. A. G.; PEREIRA, V. L. A. Efeito do Ca²⁺ externo no conteúdo de Na⁺ e K⁺ em cajueiros expostos a salinidade. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.6, n.4, p.602-608, 2011.
- ALVES, P. R.; REIS, A. T.; COSTA, C. S. B.; BONILLA, O. H.; LUCENA, E. M. P. Cultivo de *Salicornia neei* Lag. no semiárido cearense. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 8, p.63592-63605, 2020. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n8-696>
- ARAUS, J. L.; REZZOUK, F. Z.; THUSHAR, S.; SHAHID, M.; ELOUAFI, I. A.; BORT, J.; SERRET, M. D. Effect of irrigation salinity and ecotype on the growth, physiological indicators and seed yield and quality of *Salicornia europaea*. **Plant Science**, v. 304, p. 1-13, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2021.110819>
- ARIAS-MORENO, D. M.; JIMÉNEZ-BREMONT, J. F.; MARURI-LÓPEZ, I.; DELGADO-SÁNCHEZ, P. Effects of catalase on chloroplast arrangement in *Opuntia streptacantha* chlorenchyma cells under salt stress. **Scientific Reports**, v. 7, p. 1 – 14, 2017.
- ARNON, D. I. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in beta vulgaris. **Plant physiology**, v. 24, n. 1, p. 1-16, 1949.
- ASHRAF, M. Organic substances responsible for salt tolerance in *Eruca sativa*. **Biologia plantarum**, v.36, p.255-259, 1994.

ASHRAF, M.; HARRIS, J. C. Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. **Plant Science**, v. 166, n. 1, p. 3–16, 2004.

<https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2003.10.024>

ASSAHA, D. W. M.; UEDA, A.; SANEOKA, H.; AL-YAHYAI, R.; YAISH, M. W. The role of Na⁺ and K⁺ transporters in salt stress adaptation in glicophytes. **Frontiers in physiology**, v.8, p. 1 – 19, 2019. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00509>

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. A qualidade de água na agricultura. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1999. 53 p.

BARHOMI, Z.; DJEBALI, W.; SMAOUI, A.; CHAIBI, W.; ABDELLEY, C. Contribution of NaCl excretion to salt resistance of *Aeluropus litoralis*(Willd) Parl.

Journal of plant Physiology, v. 164, n. 7, p. 842 – 850, 2007.

<https://doi.org/10.1016/j.jplph.2006.05.008>

BARREIRA, L.; RESEK, E.; RODRIGUES, M. J.; ROCHA, M. I.; PERREIRA, H.; BANDARRA, N.; SILVA, M. M.; VARELA, J.; CUSTÓDIO, L. Halophytes: Gourmet food with nutritional health benefits? **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 29, p. 35-42, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2017.02.003>

BERTIN, R. B.; GONZAGA, L. V.; BORGES, G. S. C.; AZEVEDO, M. S.; MALTEZ, H. F.; HELLER, M.; MICKE, G. A.; TAVARES, L. B. B.; FETT, R. Nutrient composition and, identification/quantification of major phenolic compounds in *Sarcocornia ambigua* (Amaranthaceae) using HPLC–ESIMS/MS. **Food Research International**, v. 55, n. 1, p. 404 – 411, 2014.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2013.11.036>

BERTOLLI, S. C.; SOUZA, J.; SOUZA, G. M. Caracterização fotossintética da espécie isohídrica pata-de-elefante em condições de deficiência hídrica. **Revista Caatinga**, v. 28, n.3, p. 196 – 205, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252015v28n322rc>

BORRUSO, L.; BACCI, G.; MENGONI, A.; PHILIPPIS, R.; BRUSETTI, L. Rhizosphere effect and salinity competing to shape microbial communities in *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex-Staud. **FEMS Microbiology Letters**, v. 359, n. 2, p. 193–200, 2014. <https://doi.org/10.1111/1574-6968.12565>

BOUFFAUD, M. L.; RENOUD, S.; LOCCOZ, Y. M.; MULLER, D. Is plant evolutionary history impacting recruitment of diazotrophs and nifH expression in the rhizosphere? **Scientific Reports**, v. 6, p. 1-9, 2016. <http://dx.doi.org/10.1038/srep21690>

CANFORA, L.; LO PAPA, G.; ANTISARI, L. V.; BAZAN, G.; DAZZI, C.; BENEDETTI, A. Spatial microbial community structure and biodiversity analysis in “extreme” hypersaline soils of a semiarid Mediterranean area. **Applied Soil Ecology**, v. 93, p. 120–129, 2015.

CASAROLI, D.; VAN LIER, Q. J. Critérios para determinação da capacidade de vaso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 59-66, 2008.

CAVALCANTE, L. F.; CORDEIRO, J. C.; NASCIMENTO, J. A. M.; CAVALCANTE, Í. H. L.; DIAS, T. J. 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. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2010v31n4Sup1p1281>

CAVALCANTE, L. F.; REBEQUI, A. M.; SENA, G. S. A.; NUNES, J. C. Irrigação com águas salinas e uso de biofertilizante bovino na formação de mudas de pinhão-manso. **Irriga**, v. 16, n. 3, p. 288-300, 2011. <https://doi.org/10.15809/irriga.2011v16n3p288>

CONGROVE, C. E.; COSGROVE, W. J. (Org.). The dynamics of global water futures: driving Forces 2011 - 2050. Paris: Unesco, 2012. (Global water futures 2050, 02).

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

CORWIN, D. L. Climate change impacts on soil salinity in agricultural areas. **European Journal of soil science**, v. 72, n. 2, p. 842 – 862, 2021. <https://doi.org/10.1111/ejss.13010>

COSTA, C. S. B.; ARMSTRONG, R.; DETRÉS, Y.; KOCH, E. W.; BERTILLER, M.; BEESKOW, A.; NEVES, L. S.; TOURN, G. M.; BIANCIOTTO, O. A.; PINEDO, L. B.; BLESSIO, A. Y.; ROMAN, N. S. Effect of ultraviolet-B radiation on salt marsh vegetation: Trends of the genus *Salicornia* along the Americas. **Photochemistry Photobiology**, v. 82, p. 878–886, 2006.

COSTA, C. S. B.; CHAVES, F. C.; ROMBALDI, C. V.; SOUZA, C. R. Bioactive compounds and antioxidant activity of three biotypes of the sea asparagus *Sarcocornia ambigua* (Michx.) M. A. Alonso & M. B. Crespo: a halophytic crop for cultivation with shrimp farm effluent. **South African Journal of Botany**, v.117, p. 95-100, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2018.05.011>

COSTA, C. S. B.; VICENTI, J. R. M.; MORÓN-VILLARREYES, J. A.; CALDAS, S.; CARDOSO, L. V.; FREITAS, R. F.; D’OCA, M. G. M. Extraction and characterization of lipids from *Sarcocornia ambigua* meal: A halophyte biomass produced with shrimp farm effluent irrigation. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 86, n. 2, p. 935 – 943, 2014. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201420130022>

CROCE, R.; AMEROMGEN, H. V. Natural strategies for photosynthetic light harvesting. **Nature Chemical Biology**, v. 10, p. 492-501, 2014. <http://www.nature.com/doi/10.1038/nchembio.1555>

CROFT, H.; CHEN, J. M.; LUO, X.; BARTLETT, P.; CHEN, B.; STAEBLER, R. M. Leaf chlorophyll content as a proxy for leaf photosynthetic capacity. **Global Change Biology**, v. 23, n. 9, p. 3513-3524, 2017. <https://doi.org/10.1111/gcb.13599>

CRUZ, E. S.; MARQUES, R. P.; ROCHA, A. T.; FREITAS, D. F.; CERQUEIRA JÚNIOR, E. P.; SOARES, B. K. L. Física, química e mineralogia de solos sódico e solódicos no Semiárido Pernambucano. In: XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do

Solo, 35., 2015, Natal. Anais eletrônicos... Natal: SBCS, 2015. P. 1 – 4.
<https://www.eventosolos.org.br/cbcs2015/arearestrita/arquivos/2434.pdf>

D'OCA, M. G. M.; MORÓN-VILLARREYES, J. A.; LEMÕES, J. S.; COSTA, C. S. B. Fatty acids composition in seeds of the South American glasswort *Sarcocornia ambigua*. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 84, n. 3, p. 865 – 870, 2012.
<https://doi.org/10.1590/S0001-37652012005000044>

DIAS, N. D.; BLANCO, F. F. Efeitos dos sais no solo e na planta. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade. p. 129-140, 2010.

DÖBEREINER, J.; BALDANI, V. L. D.; BALDANI, J. I. Como isolar e identificar bactérias diazotróficas de plantas não-leguminosas. EMBRAPA – SPI, EMBRAPACNPAB, 60p., 1995

DONCATO, K. B.; COSTA, C. S. B. Growth the mineral composition of two lineages of the sea asparagus *Sarcocornia ambigua* irrigated with shrimp farm saline effluent. **Experimental agriculture**, v.54, n. 3, p. 399 – 416, 2017.
<https://doi.org/10.1017/S0014479717000096>

DONCATO, K. B. Otimização das condições de cultivo e produção por colheitas múltiplas de *Salicornia neei*, *Apium graveolens* e *Paspalum vaginatum* em sistema aquapônico salino. 2020. 132 f. Tese (Doutorado em Aquicultura) – Universidade Federal do Rio Grande, Programa de Pós-Graduação em Aquicultura, Rio Grande, 2020.

DUARTE, B.; SANTOS, D.; MARQUES, J. C.; CAÇADOR, I. Ecophysiological adaptations of two halophytes to salt stress: Photosynthesis, PS II photochemistry and anti-oxidant feedback—Implications for resilience in climate change. **Plant Physiology Biochemistry**, v, 67, p. 178–188, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2013.03.004>

DUBEY, R. Photosynthesis in plants under stressful conditions. In Handbook of Photosynthesis; PESSARAKLI, M., Ed.; Taylor & Francis Group: Boca Raton, FL, USA, 2005; p. 710–730.

ELOI, W. M.; DUARTE, S. N.; SOARES, T. M.; SILVA, E. F. F.; MIRANDA, J. H. Rendimento comercial do tomateiro em resposta à salinização ocasionada pela fertirrigação em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 15, n. 5, p.471-476, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662011000500006>

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 3 ed. Brasília – DF: Embrapa, 2017, 573 p.

ESTRADA DE LOS SANTOS, P.; BUSTILLOS-CRISTALES, R.; CABALLERO MELLADO, J. *Burkholderia*, a genus rich in plant-associated nitrogen fixers with wide.

Environmental and geographic distribution. **Applied. Environmental Microbiology**, v 67, p.2790-2798, 2001.

FAN, P.; NIE, L.; JIANG, P.; FENG, J.; Lv, S.; CHEN, X.; BAO, H.; GUO, J.; TAI, F.; WANG, J.; JIA, W.; LI, Y. Transcriptome analysis of *Salicornia europaea* under saline conditions revealed the adaptive primary metabolic pathways as early events to facilitate salt adaptation. **Plos One**, v. 12, p. e80595, 2013.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0080595>

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. Status of the world's soil resources. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils, Rome, Italy, 2015, 648p.

FARAHANI, E.; EMAMI, H.; KELLER, T.; FOTOVAT, A.; KHORASSANI, R. Impact of monovalent cations on soil structure. V. 32, p. 57 – 67, 2018.
<https://doi.org/10.1515/intag-2016-0091>

FERREIRA NETO, M.; GHEYI, H. R.; FERNANDES, P. D.; HOLANDA, J. S.; BLANCO, F. F. Emissão foliar, relações iônicas e produção do coqueiro irrigado com água salina. **Ciência Rural**, v.37, n.6, p. 1.675 - 1.681, 2007.
<https://doi.org/10.1590/S0103-84782007000600026>

FERNANDES, P. D.; BRITO, M. E. B.; GHEYI, H. R.; ANDRADE, A. P.; MEDEIROS, S. S. Halofitismo e agricultura bioassalina. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.; GOMES FILHO, E. (ed). **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. 2.ed. INCTSal: Fortaleza, 2016. Cap. 15, p.209-242.

FERNANDES-JÚNIOR, P. I.; AIDAR, S. T.; MORGANTE, C. V.; GAVA, C. A. T.; ZILLI, J. E.; SOUZA, L. S. B.; MARINHO, R. C. N.; NÓBREGA, R. S. A.; BRASIL, M. S.; SEIDO, S. L.; MARTINS, L. M. V. The resurrection plant *Tripogon spicatus* (Poaceae) harbors diversity of plant growth promoting bacteria in northeastern Brazilian Caatinga. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v 39, n. 4, p.993-1002, 2015. <https://doi.org/10.1590/01000683rbcs20140646>

FIGUEIREDO, V. S. Perspectivas de recuperação para áreas em processo de desertificação no semiárido da Paraíba – Brasil. **Scripta Nova**, v. 17, n. 453, p. 25-39, 2013.

FLOWERS, T. J.; COLMER, T. D. Salinity tolerance in halophytes. **New Phytologist**, v. 179, p. 945-963, 2008. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02531.x>

FREIRE, M. B. G. S.; FREIRE, F. J.; SOUZA, E. R. Fitorremediação de solos afetados por sais. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.; GOMES FILHO, E. (ed). **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. 2.ed. INCTSal: Fortaleza, 2016. Cap. 15, p.209-242.

FREIRE, M. B. G. S.; PESSOA, L. G. M.; GHEYI, H. R. Métodos de análises químicas para solos afetados por sais. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.; GOMES FILHO, E. (ed). **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. 2.ed. INCTSal: Fortaleza, 2016. Cap. 10, p.123-148.

FREITAS, R. F.; COSTA, C. S. B. Germination responses to salt stress of two intertidal populations of the perennial glasswort *Sarcocornia ambigua*. **Aquatic Botany**, v. 117, p. 12–17, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2014.04.002>

FURQUIM, S. A. C.; SANTOS, M. A.; VIDOCA, T. T.; BALBINO, M. A.; CARDOSO, E. L. Salt-affected soils evolution and fluvial dynamics in the Pantanal wetland, Brazil. **Journal Geoderma**, v. 286, p. 139-152, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.10.030>

GALINSKI, E. A. Osmoadaptation in bacteria. **Advances in Microbial Physiology**, v. 37, p. 273-328, 1995.

GILL, S. S.; TUJEDA, N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 48, n. 12, p. 909 – 930, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2010.08.016>

GLENN, E. P.; BROWN, J. J.; O'LEARY, J. W. Irrigating crops with seawater. **Scientific American**, v.279, p.76-81, 1998.

GOMES, M. A. C.; PESTANA, I. A.; SANTA-CATARINA, C.; HAUSER-DANIS, R. A.; SUZUKI, M. S. Salinity effects on photosynthetic pigments, proline, biomass and nitric oxide in *Salvinia auriculata* Aubl. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 29, e9, p. 1-13, 2017. <https://doi.org/10.1590/S2179-975X4716>

GRUPTA; HUANG. Mechanism of salinity tolerance in plants: Physiological, biochemical, and molecular characterization. **International Journal of Genomics**, v. 2014, p.1-18, 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/701596>

HARA, F. A. S.; OLIVEIRA, L. A. Características fisiológicas e ecológicas de isolados de rizóbios oriundos de solos ácidos e alcalinos de Presidente Figueiredo, Amazonas. **Acta Amazônica**, v. 34, n. 3, p. 343-357, 2004. <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672004000300002>

HASANUZZAMAN, M.; BHUYAN, M. H. M. B.; NAHAR, K.; HOSSAIN, M. S.; MAHMUD, J.; HOSSEN, M. S.; MASUD, A. A. C.; MOUMITA.; FUJITA, M. Potassium: A vital regulator of plant responses and tolerance to abiotic stresses. **Agronomy**, v. 8, n. 3, p. 1- 29, 2018. <https://doi.org/10.3390/agronomy8030031>

HASSANI, A.; AZAPAGIC, A.; SHOKRI, N. Global predictions of primary soil salinization under changing climate in the 21st century. **Nature communications**, v. 12, p. 1-17, 2021. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-26907-3>

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE; EMBRAPA. Mapa de Solos do Brasil. Rio de Janeiro: IBGE, 2001. http://geoinfo.cnps.embrapa.br/maps/new?layer=geonode:brasil_solos_5m_20201104

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Normais Climatológicas do Brasil (1981-2010). Brasília – DF. 2019.

ISAYENKOV, S. V.; MAATHUIS, F. J. M. Plant salinity stress: many unanswered questions remain. **Frontiers in plant science**, v. 10, n. 80, p. 1 - 11, 2019.

<https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00080>

JAMES, R. A., CAEMMERER, S. V., CONDON, A. G., ZWART, A. B., MUNNS, R. Genetic variation in tolerance to the osmotic stress component of salinity stress in durum wheat. **Functional Plant Biology**, v. 35, n. 2, p. 111-123, 2008.

<http://dx.doi.org/10.1071/FP07234>

JHA, B., GONTIA, I., HARTMANN, A. The roots of the halophyte *Salicornia brachiata* are a source of new halotolerant diazotrophic bacteria with plant growth-promoting potential. *Plant Soil*, v. 356, p. 265–277.2012.

KADER, M. A.; LINDBERG, S. Cytosolic calcium and pH signaling in plants under salinity stress. **Plant Signaling e Behavior**, v. 5, n. 3, p. 233-238, 2010.

<https://dx.doi.org/10.4161%2Fpsb.5.3.10740>

KAMRAN, M.; PARVEEN, A.; AHMAR, S.; MALIK, Z.; HUSSAIN, S.; CHATTHA, M. S.; SALEEM, M. H.; ADIL, M.; HEIDARI, P.; CHEN, J. T. An overview of hazardous impacts of soil salinity in crops, tolerance mechanisms, and amelioration through selenium supplementation. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 21, n. 1, p. 1 – 27, 2020. <https://dx.doi.org/10.3390%2Fijms21010148>

KUNUGI, M.; SATOH, S.; IHARA, K.; SHIBATA, K.; YAMAGISHI, Y.; KOGAME, K.; OBOKATA, J.; TAKABAYASHI, A.; TANAKA, A. Evolution of green plants accompanied changes in light-harvesting systems. **Plant & Cell Physiology**, v. 57, n. 6, p. 1231-1243, 2016. <https://doi.org/10.1093/pcp/pew071>

KUSVURAN, S. Effects of drought and salt stresses on growth, stomatal conductance, leaf water and osmotic potentials of melon genotypes (*Cucumis melo* L.). **African Journal Agricultural Research**, v. 7, n. 5, p. 775-781, 2012.

<http://dx.doi.org/10.5897/AJAR11.1783>

LACERDA, C. F.; COSTA, R. N. T.; BEZERRA, M. A.; GHEYI, H. R. Estratégias de manejo para uso de água salina na agricultura. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.(ed). **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. INCTSal: Fortaleza, 2010. Cap. 17, p303-317.

LEAL, I. G.; ACCIOLY, A. M. A.; NASCIMENTO, C. W. A.; FREIRE, M. B. G. S.; MONTENEGRO, A. A. A.; FERREIRA, F. L. Fitorremediação de solo salino sódico por *Atriplex nummularia* e gesso de jazida. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, v.32, n.3, 1065-1072, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000300015>

LEMOS, R. C.; SANTOS, R. D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 2.ed Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; Embrapa-SNLCS, 1984. 46P.

LEYSER, O. The control of shoot branching: an example of plant information processing. **Plant, Cell & Environment**, v. 32, n. 6, p. 694-703, 2009.

<https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2009.01930.x>

LI, Y.; CHEN, C.; WEN, K.; LI, G.; CAO, P.; ZHANG, Y.; TACKETT, T. M. Abandoned reverse osmosis membrane effects on phytoremediation of saline soils with trees. *Ecological Engineering*, v. 84, p. 660-667, 2015.

LIMA JUNIOR, J. A.; SILVA, A. L. P. Estudo do processo de salinização para indicar medidas de prevenção de solos salinos. **Enciclopédia Biosfera**, v. 6, n. 11, p. 1 - 21, 2010.

LIU, X. Z.; WANG, C. Z.; SU, Q.; LI, C. K. The potential resource of halophytes for developing bio-energy in China coastal zone. **Herald Journal of Agriculture and Food Science Research**, v.1, p.44-51, 2012.

LOCONSOLE, D.; CRISTIANO, G.; LUCIA, B. Glassworts: From wild salt marsh species to sustainable edible crops. **Agriculture**, v. 9, n. 1, p. 1-12, 2019.
<https://doi.org/10.3390/agriculture9010014>

LOCONSOLE, D.; CRISTIANO, G.; LUCIA, B. Glassworts: From wild salt marsh species to sustainable edible crops. **Agriculture**, v. 9, n. 1, p. 1-12, 2019.
<https://doi.org/10.3390/agriculture9010014>

LOSS, A.; ROSSI, C. Q.; FRANCELINO, M. R. A origem da salinidade no continente Antártico. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 33, n. 2, p. 106-117, 2010.

LV, S.; JIANG, P.; CHEN, X.; FAN, P.; WANG, X.; LI, Y. Multiple compartmentalization of sodium conferred salt tolerance in *Salicornia europaea*. *Plant Physiology and Biochemistry*, v. 51, p. 47-52, 2012.
<https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2011.10.015>

MA, B.; GONG, J. A meta-analysis of the publicly available bacterial and archaeal sequence diversity in saline soils. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 29, n. 12, p. 2325-2334, 2013.

MACHADO, R. M. A.; SERRALHEIRO, R. P. Soil salinity: effect on vegetable crop growth. Management practices to prevent and mitigate soil salinization. **Horticulturae**, v. 3, n. 30, p. 1 - 13, 2017. <https://doi.org/10.3390/horticulturae3020030>

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 219p.

MASTERS, D.; BENES, S.; NORMAN, H. Biosaline agriculture for forage and livestock production. **Agriculture Ecosystem Environments**, v.119, p.234-248, 2007.
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.08.003>

MENG, X.; ZHOU, J.; SUI, N. Mechanisms of salt tolerance in halophytes: current understanding and recent advances. **De Gruyter**, v. 13, p. 149-154, 2018.
<https://dx.doi.org/10.1515/biol-2018-0020>

MERINO, N.; TOLEDO-ARANA, A., VERGARA-IRIGARAY, M.; VALLE, J.; SOLANO, C.; CALVO, E.; LOPEZ, J. A.; FOSTER, T. J.; PENADÉS, J. R.; LASA, I.

- Protein A mediated multicellular behavior in *Staphylococcus aureus*. **Journal Bacteriology**, v. 91, p. 832-43, 2019. <https://doi.org/10.1128/JB.01222-08>
- MORGAN, S. H.; MAITY, P. J.; GEILFUS, CHRISTOPH-MARTIN; LINDBERG, S.; MÜHLING, K. H. Leaf ion homeostasis and plasma membrane H⁺-ATPase activity in *Vicia faba* change after extra calcium and potassium supply under salinity. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.82, s. n, p. 244 - 253, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2014.06.010>
- MÜLLER, D.; LEYSER, O. Auxin, cytokine and the control of shoot branching. **Annals of Botany**, v. 107, n. 7, p. 1203-1212, 2011. <https://dx.doi.org/10.1093/aob/afm069>
- MUNNS R. Comparative physiology of salt and water stress. **Plant, Cell & Environment**, v. 25, n. 2, p. 239–250, 2002. <https://doi.org/10.1046/j.0016-8025.2001.00808.x>
- MUNNS, R. Genes and salt tolerance: Bringing them together. **New Phytologist**, v, 167, n. 3, p. 645–663, 2005. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2005.01487.x>
- MUNNS, R.; GILLIHAN, M. Salinity tolerance of crops – what is the cost? **New Phytologist**, v. 208, n. 3, p. 668-673, 2015. <https://doi.org/10.1111/nph.13519>
- MUNNS, R.; TESTER, L. M. Mechanisms of Salinity Tolerance. **Annual Review of Plant Biology**, v. 59, n. 1, p. 651-681, 2008. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911>
- MUSYIMI, D. M.; NETONDO, G. W.; OUMA, G. Effects of salinity on gas exchange and nutrients uptake in avocados. **Journal of Biological Sciences**, v. 7, p. 496-505, 2007. <https://dx.doi.org/10.3923/jbs.2007.496.505>
- NASCIMENTO, C. W. A.; HESTERBERG, D.; TAPPERO, R. Imaging Zn and Ni distributions in leaves of different ages of the hyperaccumulator *Noccaea caerulescens* by synchrotron-based X-ray fluorescence. **Journal of Hazardous Materials**, v, 408, p. 124813-124832, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124813>
- NAVADA, S.; VADSTEIN, O.; GAUMET, F.; TVETEN, A.; SPANU, C.; MIKKELSEN, O.; KOLAREVIC, J. Biofilms remember: Osmotic stress priming as a microbial management strategy for improving salinity acclimation in nitrifying biofilms. **Water research**, v. 176, p. 1 – 9, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115732>
- NETONDO, G. W.; ONYANGO, J. C.; BECK, E. Sorghum and salinity: II. Gas exchange and chlorophyll fluorescence of sorghum under salt stress. **Crop Science**, v. 44, p. 806-811, 2004.
- NEVES, A. L. R.; ALVES, M. P.; LACERDA, C. F.; GHEYI, H. R. Aspectos socioambientais e qualidade da água de dessalinizadores nas comunidades rurais de Pentecoste-CE. **Revista Brasileira de Água**, Taubaté, v. 12, n. 1, p. 124-135. <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1722>

NOCELLI, N.; BOGINO, P. C.; BANCHIO, E.; GIORDANO, W. Roles of extracellular polysaccharides and biofilm formation in heavy metal resistance of rhizobia. **Materials**, v. 9, n. 6, p. 1-19, 2016. <https://doi.org/10.3390/ma9060418>

NORMAN, H. C.; MASTERS, D. G.; WILMOT, M. G.; RINTOUL, A. J. Effect of supplementation with grain, hay or straw on the performance of Weaner Merino sheep grazing old man (*Atriplex nummularia*) or river (*Atriplex amnicola*) saltbush. **Grass and Forage Science**, v.63, p.179-192, 2008. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2007.00623.x>

OOSTERHUIS, D.; LOKA, D.; KAWAKAMI, E.; AND PETTIGREW, W. The physiology of potassium in crop production. **Advances in Agronomy**, v. 126, p. 203 – 234, 2014. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800132-5.00003-1>

OREN, A. Bioenergetics aspects of halophilism. **Microbiology and Molecular Biology Reviews**, v. 63, n. 2, p. 334-348, 1999.

ORSINI, F.; ALNAYEF, M.; BONA, S.; MAGGIO, A.; GIANQUINTO, G. Low stomatal density and reduced transpiration facilitate strawberry adaptation to salinity. **Environmental and Experimental Botany**, v. 81, n. 1, p. 1-10, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2012.02.005>

OUYANG, L.; PEI, H.; XU, Z. Low nitrogen stress stimulating the indole-3-acetic acid biosynthesis of *Serratia* sp. ZM is vital for the survival of the bacterium and its plant growth-promoting characteristic. **Archives Microbiology**, v. 199, n. 3, p. 425 – 432, 2017. <https://doi.org/10.1007/s00203-016-1312-7>

OZAWA, T.; WU, J.; FUJII, S. Effect of inoculation with a strain of *Pseudomonas pseudoalcaligenes* isolated from the endorhizosphere of *Salicornia europaea* on salt tolerance of the glasswort. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 53, n. 1, p. 12–16, 2007. <https://doi.org/10.1111/j.1747-0765.2007.00098.x>

PARAMISPARAM, P.; AHMED, O. H.; OMAR, L.; CH'NG, H. Y.; JOHAN, P. JOHAN, P. D.; HAMIDI, N. H. **Agronomy**, v. 11, n. 10, p. 1 – 30, 2021. <https://doi.org/10.3390/agronomy11102081>

PATEL, S. *Salicornia*: Evaluating the halophytic extremophile as a food and a pharmaceutical candidate. **3 Biotech**, v. 6, n. 104, p. 1 - 10, 2016. <https://dx.doi.org/10.1007/s13205-016-0418-6>

PEDROTTI, A.; CHAGAS, R. M.; RAMOS, V. C.; PRATA, A. P. N.; LUCAS, A. A. T.; SANTOS, P. B. Causas e consequências do processo de salinização dos solos. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v. 19, n. 2, p.1308-1324, 2015. <https://dx.doi.org/10.5902/2236117016544>

PESSOA, L.G. M.; FREIRE, M. B. G. S.; ARAÚJO FILHO, J. C.; SANTOS, P. R.; MIRANDA, M. F. A.; FREIRE, F. J. Characterization and classification of halomorphic soils in the Semiarid Region of Northeastern Brazil. **Journal of agricultural science**, v. 11, n. 4, p. 405 – 418, 2019. <https://doi.org/10.5539/jas.v11n4p405>

PLASENCIA, F. A.; ESTRADA, Y.; FLORES, F. B.; ORTÍZ-ATIENZA, A.; LOZANO, R.; EGEEA, I. The Ca²⁺ sensor calcineurin B-Like protein 10 in plants: Emerging new crucial roles for plant abiotic stress tolerance. **Frontiers in plant science**, v. 11, p. 1 – 12, 2021. <https://dx.doi.org/10.3389%2Ffpls.2020.599944>

POLY, F.; MONROZIER, L. J.; BALLY, R. Improvement in the RFLP procedure for studying the diversity of *nifH* genes in communities of nitrogen fixers in soil. **Research in Microbiology**, v. 152, p.95-103, 2001. [https://doi.org/10.1016/S0923-2508\(00\)01172-4](https://doi.org/10.1016/S0923-2508(00)01172-4)

PORTO, E. R.; AMORIM, C. C.; SILVA JÚNIOR, L. G. A. Uso do rejeito da dessalinização de água salobra para a irrigação da erva-sal (*Atriplex nummularia*). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 5, n. 1, p. 111-114, 2001. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662001000100020>

PRISCO, J. T.; GOMES-FILHO, E. Fisiologia e bioquímica do estresse salino em plantas. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. (Eds.). In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. (Eds.). **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. INCTSal, Fortaleza. cap. 10, p. 143-160, 2010.

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.; QURESHI, R. H.; AHMAD, N. Reclamation of a saline sodic soil by gypsum and *Leptochloa fusca*. **Geoderma**, v. 74, p. 207-217, 1996.

R CORE TEAM (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>

RAHMAN, A.; HOSSAIN, M. S.; MAHMUD, J.; NAHAR, K.; HASANUZZAMAN, M.; FUJITA, M. Manganese-induced salt stress tolerance in rice seedlings: regulation of ion homeostasis, antioxidant defense and glyoxalase systems. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v. 22, n. 3, p. 291-306, 2016. <https://dx.doi.org/10.1007%2Fs12298-016-0371-1>

RATH, K. M.; ROUSK, J. Salt effects on the soil microbial decomposer community and their role in organic carbon cycling: A review. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 81, p. 108-123, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.11.001>

REIS, A. T.; GUIMARÃES, L. L.; ALVES, P. R.; COSTA, C. S. B.; LUCENA, E. M. P.; BONILLA, O. H. Crescimento e germinação de sementes de biótipos de *Salicornia neei* Lag. Adaptadas às condições do semiárido Nordeste. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 10, p. 75721-75735, 2020. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n10-121>

RENEV, N. O.; SUBBOTIN, A. M.; NARUSHKO, M. V.; MALCHEVSKIY, V. A. Effect of secondary bacterial metabolites from permafrost on photosynthetic activity of potato (*Solanum tuberosum* L.) in vitro culture. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 699, p. 1 – 5, 2021.

RENGASAMY, P. Soil chemistry factors confounding crop salinity tolerance – A review. **Agronomy**, v. 6, n. 4, p. 1 – 11, 2016.

<https://doi.org/10.3390/agronomy6040053>

RIBEIRO, M. R.; RIBEIRO FILHO, M.; JACOMINE, P. K. Origem e classificação dos solos afetados por sais. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.; GOMES FILHO, E. (ed). Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados. 2.ed. INCTSal: Fortaleza, 2016. Cap. 2, p.9-16.

RICHARDS, L. A. (ed.). Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Washington D.C.: U.S. Department of Agriculture, 1954. 160p. USDA. Agriculture Handbook, 60.

SABRA, A.; DAAYF, F.; RENAULT, S. Differential physiological and biochemical responses of three Echinacea species to salinity stress. **Scientia Horticulturae**, v. 135, p. 23 – 31, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.11.024>

SANTOS, R. V.; CAVALCANTE, L. F.; VITAL, A. F. M.; LACERDA, C. F.; SOUZA, E. R.; LIMA, G. S. Interação salinidade-fertilidade do solo. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.; GOMES FILHO, E. Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados. Fortaleza: INCT Sal, 2016. cap. 18, p. 277-293.

SAWAR, M.; KREMER, R. J. Determination of bacterially derived auxins using a microplate method. **Letters in Applied Microbiology**, London, v. 20, p. 282–285, 1995. <https://doi.org/10.1111/j.1472-765X.1995.tb00446.x>

SCHNEIDER, A.; GODIN, C.; BOUDON, F.; DEMOTES-MAINARD, S.; SAKR, S.; BERTHELOOT, J. Light regulation of axillary bud outgrowth along plant axes: an overview of the roles of sugars and hormones. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, p. 1 – 17, 2019. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.012961>

SCHOSSLER, T. R.; MACHADO, D. M.; ALAN MARIO ZUFFO, A. M.; ANDRADE, F. R.; PIAUILINO, A. C. Salinidade: Efeitos na fisiologia e na nutrição mineral de plantas. **Enciclopédia Biosfera**, v.8, n.15; p.1563-1578, 2012.

SENA, P. T. S. NASCIMENTO, T. R.; LINO, J. O. S.; OLIVEIRA, G. S.; NETO, R. A. F.; FREITAS, A. D. S.; FERNANDES-JÚNIOR, P. I.; MARTINS, L. M. V. Molecular, physiological, and symbiotic characterization of cowpea rhizobia from soils under different agricultural systems in the semiarid region of Brazil. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 20, p. 1178-1192, 2020. <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00203-3>

SHARMA, P. K.; HALL, D. O. Changes in carotenoid composition and photosynthesis in sorghum under high light and salt stresses. **Journal Plant Physiology**, v. 140, n. 6, p. 661-666, 1992.

SHIN, Y. K.; BHANDARI, S. R.; CHO, M. C.; LEE, J. G. Evaluation of chlorophyll fluorescence parameters and proline content in tomato seedlings grown under different

salt stress conditions. **Horticulture, Environment, and Biotechnology**, v. 61, p. 433-443, 2020.

SILVA, A. R. A.; BEZERRA, F. M. L.; LACERDA, C. F.; SOUSA, C. H. C.; BEZERRA, M. A. Physiological responses of dwarf coconut plants under water deficit in salt-affected soils. **Revista Caatinga**, v. 30, n. 2, p. 447 - 457.
<https://doi.org/10.1590/1983-21252017v30n220rc>

SILVA, Y. J. A. B.; CANTALICE, J. R. B.; SING, V. P.; NASCIMENTO, C. W. A.; SILVA, Y. J. Heavy metal concentrations and ecological risk assessment of the suspended sediments of a multi-contaminated Brazilian watershed. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 41, n. 1, p. 1-11, 2019. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v41i1.42620>

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. 181-197.

SOUZA, E. R.; FREIRE, M. B. G. S.; MELO, D. V. M.; MONTENEGRO, A. A. A. Management of *Atriplex nummularia* Lindl. In a salt affected soil in a semi arid region of Brazil. **International journal of phytoremediation**, v. 16,n.1, p. 73 – 85, 2014.
<http://dx.doi.org/10.1080/15226514.2012.759529>

SOUZA, M. M.; MENDES, C. R.; DONCATO, K. B.; BADIALE-FURLONG, E.; COSTA, C. S. B. Growth, phenolics, photosynthetic pigments, and antioxidant response of two new genotypes of sea asparagus (*Salicornia neei* Lag.) to salinity under greenhouse and field conditions. **Agriculture**, v. 8, n. 7, p. 1-18, 2018.
<https://doi.org/10.3390/agriculture8070115>

SOUZA, R.; AMBROSINI, A.; PASSAGLIA, L. M. P. Plant growth-promoting bacteria as inoculants in agricultural soils. **Genetics and Molecular Biology**, v. 38, n. 4, p. 401 – 419, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-475738420150053>

SUSARLA, S.; MEDINA, V. F.; Mc CUTCHEON, S. C. Phytoremediation: an ecological solution to organic chemical contamination. **Ecological Engineering**, v. 18, n. 5, p. 647–658, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0925-8574\(02\)00026-5](https://doi.org/10.1016/S0925-8574(02)00026-5)

SYLVESTER-BRADLEY, R.; ASKAWA, N.; LATORRACA, S.; MAGALHÃES, F. M. M.; OLIVEIRA, L. A.; PEREIRA, R. M. Levantamento quantitativo de microrganismos solubilizadores de fosfato na rizosfera de gramíneas e leguminosas forrageiras na Amazônia. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 12, n. 1, p. 12-22, 1982.

SZYMAŃSKA, S.; BORRUSO, L.; BRUSETTI, L.; HULISZ, P.; FURTADO, B. HRYNKIEWICZ, K. Bacterial microbiome of root-associated endophytes of *Salicornia europaea* in correspondence to different levels of salinity. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, p. 25420-25431, 2018. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2530-0>

SZYMAŃSKA, S.; PŁOCINICZAK, T.; PIOTROWSKA-SEGET, Z.; HRYNKIEWICZ, K. Endophytic and rhizosphere bacteria associated with the roots of

the halophyte *Salicornia europaea* L. – community structure and metabolic potential. **Microbiological Research**, v. 192, p. 37-51, 2016.

<https://doi.org/10.1016/j.micres.2016.05.012>

TABOT, P. T.; ADAMS, J. B. Early responses of *Bassia diffusa* (Thunb.) Kuntze to submergence for different salinity treatments. **South African Journal of Botany**, v. 84, p. 19–29, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2012.10.002>

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2017. p. 121; 127.

TAMBURINI, E.; FERRARI, G.; MARCHETTI, M. G.; PEDRINI, P.; FERRO, S. Development of FT-NIR models for the simultaneous estimation of chlorophyll and nitrogen content in fresh apple (*Malus Domestica*) leaves. **Sensors**, v. 15, p. 2662-2679, 2015. <http://dx.doi.org/10.3390/s150202662>

TAMURA, K.; STECHER, G.; PETERSON, D.; FILIPSKI, A.; KUMAR, S. MEGA6: Molecular evolutionary genetics analysis version 6.0. **Molecular Biology and Evolution**, v. 30, n. 12, p. 2725–2729, 2013. <https://doi.org/10.1093/molbev/mst197>

THOMAS, G. W. Exchangeable cations. In: Page, A. L. (ed). Methods of soil analysis. Part-2 chemical methods. Madison: American Society of Agronomy, 1982, p.159-165.

TIMM, T. G.; SILVA JÚNIOR, A. A.; BERTIN, R. L.; TAVARES, L. B. B. Processamento de conservas de *Sarcocornia perennis*. **Agropecuária Catarinense**, v. 28, n. 1, p. 97-102, 2015.

TUJETA, N. MAHAJAN, S. Calcium signaling network in plants. **Plant Signaling e Behavior**, v. 2, n. 2, p. 79 – 85, 2007. <https://dx.doi.org/10.4161%2Fpsb.2.2.4176>

UNITED NATIONS - ONU. World population prospects. New York, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, Highlights (ST/ESA/SER.A/423). 2019. 46p.

UNITED STATES SALINITY LABORATORY – USSS STAFF. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Washington, U.S. Department of Agriculture, 1954. 160p. (Handbook 60).

VENTURA, Y.; ESHEL, A.; PASTERNAK, D.; SAGI, M. The development of halophyte-based agriculture: Past and present. **Annals of Botany**, v. 115, n. 3, p. 529–540, 2015. <https://doi.org/10.1093/aob/mcu173>

VENTURA, Y.; M SAGI. Halophyte crop cultivation: The case for *Salicornia* and *Sarcocornia*. **Environmental and Experimental Botany**, v. 92, p. 144-153, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envexpbot.2012.07.010>

VENTURA, Y; WUDDINEH, W. A.; MYRZABAYEVA, M.; ALIKULOV, Z.; KHOZIN-GOLDBERG, I.; SHPIGEL, M.; SAMOCHA, T. M.; SAGI, M. Effect of seawater concentration on the productivity and nutritional value of annual *Salicornia*

and perennial *Sarcocornia* halophytes as leafy vegetable crops. **Scientia Horticulturae**, v. 128, n. 3, p. 189-196, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.02.001>

VERSALOVIC, J.; SCHNEIDER, M.; BRUIJN, F. J. & LUPSKI, J. R. Genomic fingerprinting of bacteria using repetitive sequence-based polymerase chain reaction. **Methods in Molecular and Cellular Biology**, v. 5, p. 25-40, 1994.

VÉRY, A. A.; SENTENAC, H. Molecular mechanisms and regulation of K⁺ transport in higher plants. **Annual review of plant biology**, v 54, p. 575–603, 2003. Disponível em:< <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.54.031902.134831>>

VILLARREAL, M. R.; NAVARRO, D. A.; PONCE, N. M.; ROJAS, A. M.; STORTZ, C. A. Perennial halophyte *Salicornia neei* Lag.: Cell wall composition and functional properties of its biopolymers. **Food Chemistry**, v. 350, p. 1-9, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128659>

WEISBURG, W. G.; BARNS, S. M.; PELLETIER, D. A.; LANE, D. J. 16S ribosomal DNA amplification for phylogenetic study. **Journal of Bacteriology**, v. 173, n. 2, p.697–703, 1991.

YADARE, J. S. P.; GIRDHAR, I. K. The effects of different magnesium:calcium ratios and sodium adsorption ratio values fo leaching water on the properties of calcareous versus noncalcareous soils. **Soil Science**, v. 131, p. 194-198, 1981.

ZEHRA, A.; GUL, B.; ANSARI, R.; KHAN, M.A. Role of calcium in alleviating effect of salinity on germination of *Phragmites karka* seeds. **South African Journal of Botany**, v.78, s.n, p. 122 – 128, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2011.05.016>

ZHU, J. K. Salt and drought stress signal transduction in plants. **Annual Review of Plant Biology**, Oxford, v.53, n.1, p.247-273, 2002. <https://dx.doi.org/10.1146%2Fannurev.arplant.53.091401.143329>

ZIELEWICZ, W.; WRÓBEL, B.; NIEDBAŁA, G. Quantification of chlorophyll and carotene pigments content in mountain melick (*Melica nutans* L.) in relation to edaphic variables. **Forests**, v. 11, p. 1-16, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/f11111197>