**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA**
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**JOÃO JONES DA SILVA**

# DESEMPENHO DE ESPÉCIES NATIVAS DA CAATINGA NA RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS POR SAIS NO SERTÃO PARAIBANO

**AREIA**
**2024**

**JOÃO JONES DA SILVA**

# DESEMPENHO DE ESPÉCIES NATIVAS DA CAATINGA NA RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS POR SAIS NO SERTÃO PARAIBANO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Agronomia.

**Orientador:** Prof.(o) Dr. Jacob Silva Souto

**AREIA**
**2024**

**Catalogação na publicação**
**Seção de Catalogação e Classificação**

S586d Silva, João Jones da.
Desempenho de espécies nativas da Caatinga na recuperação de áreas degradadas por sais no Sertão Paraibano / João Jones da Silva. - Areia:UFPB/CCA, 2024.
168 f. : il.

Orientação: Jacob Silva Souto.
Tese (Doutorado) - UFCG/CSTR.

1. Agronomia. 2. Salinidade do solo. 3. Espécies florestais resilientes. 4. Recuperação de solos sálicos. 5. Restauração ecológica. 6. Plantas fitoextratoras. I. Souto, Jacob Silva. II. Título.

UFPB/CCA-AREIA CDU 631/635(043.2)

Elaborado por LUCIANNA SILVESTRE DE CASTRO AZEVÊDO - CRB-15/973

**JOÃO JONES DA SILVA**

# DESEMPENHO COM ESPÉCIES NATIVAS DA CAATINGA NA RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS POR SAIS NO SERTÃOPARAIBANO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Agronomia.

Aprovado em: 14/11/2024

## BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
gov.br JACOB SILVA SOUTO
Data: 25/11/2024 09:33:31-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Presidente da Banca Examinadora
Prof. Dr. Jacob Silva Souto – CSTR/UFCG
(Orientador)

Documento assinado digitalmente
gov.br EDNALDO BARBOSA PEREIRA JUNIOR
Data: 26/11/2024 13:43:23-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. Ednaldo Barbosa Pereira Júnior – IFPB/Sousa

Documento assinado digitalmente
gov.br WALTER ESFRAIN PEREIRA
Data: 10/12/2024 22:19:35-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. Walter Esfrain Pereira – CCA/UFPB

Documento assinado digitalmente
gov.br PATRICIA CARNEIRO SOUTO
Data: 12/12/2024 11:46:07-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof.ª Drª. Patrícia Carneiro Souto – CSTR/UFCG

Documento assinado digitalmente
gov.br JUSSARA SILVA DANTAS
Data: 12/12/2024 14:23:09-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof.ª Dr. Jussara Silva Dantas – CSTR/UFCG

Ao meu Senhor e meu Deus toda minha gratidão, DEDICO.

## AGRADECIMENTOS

Ao Prof.º Dr. **Jacob Silva Souto**, pela orientação, compreensão, ensinamentos e por toda a experiência repassada durante nosso tempo de convívio. Muito obrigado professor!

A**o** Prof.º Dr. **Ednaldo Babosa Pereira Júnior**, pela amizade e pela colaboração durante todos os meses de procedimentos e coletas dos dados. Parte desse trabalho só foi possível se realizar devido a sua ajuda. Muito obrigado!

Ao Prof.º Engº. Agrônomo Dr. **Hermano Oliveira Rolim** pela sua valiosa contribuição e ajuda em todas as etapas dessa pesquisa, sem sua ajuda seria muito mais complexo. Meu muito obrigado!

Ao Prof.º Dr. **Walter Esfrain Pereira** CCA/UFPB, pela ajuda nas análises e compreensão dos dados estatísticos.

Às professoras Prof.ª Dra. **Patrícia Carneiro Souto** e Prof.ª. Dra. **Jussara Silva Dantas,** pelas suas contribuições e colaboração no enriquecimento deste estudo.

Ao Programa de **Pós-Graduação em Agronomia** – **PPGA**, por toda contribuição para minha formação.

À minha família, em especial, a minha esposa, **Luciana Rocha de Lima**, meu filhinho **João Lucas Rocha Silva**, que tantas vezes foi comigo para Areia – PB para me dar companhia e apoio sem sua força e energia seria impossível vencer mais uma etapa em minha vida.

À minha mãe, **Valderice Maria de Andrade (*in memoriam*) e ao meu pai José Pedro da Silva (*in memoriam*)** foram eles dois que sempre me incentivaram e deram muita força para estudar, sem eles também com certeza não teria chegado até aqui, minha GRATIDÃO!, e aos meus irmãos, principalmente, posso citar minha irmã, **Ana Maria de Andrade (Aninha)**, pelas orações, pelo o amor e pela confiança. Amo a todos!

Enfim, a todos os familiares, amigos, técnicos e professores da CCA/UFPB e do Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia da Paraíba – IFPB, Campus de Sousa, que direto e indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

*Gênesis 2:15 (NVI): "O Senhor Deus colocou o homem no jardim do Éden para cuidar dele e cultivá-lo."*

O processo de reflorestamento com espécies arbóreas da Caatinga representa um ato de esperança na restauração de ecossistemas degradados. Como Aldo Leopold disse, "*Apenas quando a última árvore for derrubada, o último peixe for morto e o último rio for poluído é que o homem perceberá que não pode comer dinheiro".*

Nossas ações de reflorestamento são um investimento no futuro de nossa terra e na sobrevivência de suas comunidades.

## BIOGRAFIA DO AUTOR

João Jones da Silva, filho de José Pedro da Silva (in memoriam) e Valderice Maria de Andrade (*in memoriam*), nasceu no dia 18 de janeiro de 1972, em São José da Lagoa Tapada, PB. Ingressou no ano de 2007 no curso de Agronomia do Centro de Ciência e Tecnologia Agroalimentar, da Universidade Federal de Campina Grande, em Pombal, PB, e depois no Curso de Licenciatura em Ciências Agrárias da UFPB, conclui em 2014. Em 2015 ingressou no Mestrado em Agronomia, pelo Programa de Pós-graduação em Sistemas Agroindustriais do Centro de Ciência e Tecnologia Agroalimentar, da Universidade Federal de Campina Grande – Pombal, PB, com área de concentração em Gestão e Tecnologia Ambiental, desenvolvendo pesquisas com ênfase em recuperação de áreas degradas afetadas por sais, defendendo a dissertação em 2016. Em 2022 foi selecionado para o doutorado pelo Programa de Pós-graduação em Agronomia do Centro de Ciências Agrárias/UFPB – Areia, PB.

SILVA. J. J. Universidade Federal da Paraíba: novembro de 2024. **Desempenho de espécies nativas da Caatinga na recuperação de áreas degradadas por sais no sertão paraibano.** Orientador: Prof. Dr. Jacob Silva Souto.


## RESUMO

A região semiárida do Nordeste brasileiro é caracterizada principalmente pelo bioma da Caatinga, abriga uma rica diversidade botânica e fisionômica, refletindo a variação nas condições de solo e precipitação. Contudo, a ação humana tem reduzido significativamente a cobertura vegetal, fragmentando o bioma e ameaçando sua biodiversidade. Um dos principais agentes dessa degradação é a remoção da vegetação nativa, frequentemente seguida de queimadas para o estabelecimento de culturas agrícolas. Após o esgotamento do solo, essas áreas são frequentemente convertidas em pastagens e, eventualmente, abandonadas. Com o objetivo de recuperar uma área degradada e afetada pela salinidade, foi conduzido um estudo no Perímetro Irrigado de São Gonçalo, no município de Sousa, sertão paraibano. A pesquisa, realizada do período chuvoso de 2022 até a estiagem de 2023, utilizou espécies nativas da Caatinga no processo de recuperação do solo degradado. Foram plantadas mudas de quatro espécies: aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão), catingueira (*Cenostigma pyramidale* (Tul.), pau-ferro (*Libidibia ferrea* (Mart. ex Tul.) L.P. Queiroz) e sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.). No total, 48 mudas de cada espécie foram implantadas, com espaçamento de 3,0 m x 3,0 m entre as plantas. Durante o estudo, foram avaliadas alterações nos atributos químicos do solo, com ênfase na redução da salinidade após o plantio das espécies. Os resultados indicaram que aroeira, catingueira e pau-ferro apresentaram eficácia na diminuição dos níveis de salinidade e na melhoria dos parâmetros químicos do solo. Por outro lado, a espécie sabiá não apresentou resultados satisfatórios nesse aspecto. Com base nos resultados, recomenda-se o uso de Myracrodruon urundeuva, Cenostigma pyramidale e Libidibia ferrea como espécies-chave para a recuperação de áreas degradadas pela salinidade. Além de promover a biodiversidade, essas espécies contribuem significativamente para a melhoria dos atributos edáficos do solo. O estudo fornece uma base científica para intervenções futuras em áreas degradadas, destacando o papel dessas espécies nativas no manejo sustentável do bioma Caatinga.



**Palavras-chave**: salinidade do solo; espécies florestais resilientes; recuperação de solos sálicos; restauração ecológica; plantas fitoextratoras.

SILVA. J. J. Federal University of Paraíba: November 2024 **Performance with native Caatinga species in the recovery of areas degraded by salts in the Paraíba State**. Advisor: Prof. Dr. Jacob Silva Souto.

## ABSTRACT

The semiarid region of the Brazilian Northeast, predominantly occupied by the Caatinga biome, The semiarid region of the Brazilian Northeast, characterized mainly by the Caatinga biome, is home to a rich botanical and physiognomic diversity, reflecting the variation in soil and precipitation conditions. However, human action has significantly reduced vegetation cover, fragmenting the biome and threatening its biodiversity. One of the main agents of this degradation is the removal of native vegetation, often followed by burning to establish agricultural crops. After soil depletion, these areas are often converted to pasture and eventually abandoned. With the aim of recovering a degraded area affected by salinity, a study was conducted in the Irrigated Perimeter of São Gonçalo, in the municipality of Sousa, in the backlands of Paraíba. The research, carried out from the rainy season of 2022 to the dry season of 2023, used native species of the Caatinga in the process of recovering the degraded soil. Seedlings of four species were planted: aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão), catingueira (*Cenostigma pyramidale* (Tul.), pau-ferro (*Libidibia ferrea* (Mart. ex Tul.) L.P. Queiroz) and sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.). In total, 48 seedlings of each species were planted, with a spacing of 3.0 m x 3.0 m between plants. During the study, changes in soil chemical attributes were evaluated, with emphasis on the reduction of salinity after planting the species. The results indicated that aroeira, catingueira and pau-ferro were effective in reducing salinity levels and improving soil chemical parameters. On the other hand, the sabiá species did not present satisfactory results in this aspect. Based on the results, the use of Myracrodruon urundeuva, Cenostigma pyramidale and Libidibia ferrea as key species for recovery is recommended. of areas degraded by salinity. In addition to promoting biodiversity, these species contribute significantly to improving soil edaphic attributes. The study provides a scientific basis for future interventions in degraded areas, highlighting the role of these native species in the sustainable management of the Caatinga biome.

**Keywords:** soil salinity; resilient forest species; recovery of salic soils; ecological restoration; phytoextractive plants.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

**CAPÍTULO I -** DESEMPENHO DA AROEIRA (*MYRACRODRUON URUNDEUVA*, ALLEMÃO) E CATINGUEIRA (*CENOSTIGMA PYRAMIDALE*) (TUL.)) NA RECUPERAÇÃO DE SOLOS EM ÁREA DEGRADADOS POR SAIS NO SERTÃO PARAIBANO ..... 31

**Figura 1 -** Localiza da área de estudo. (PISG, 2021), Fonte: Google Earth® ..... 39

**Figura 2** - Média mensal de Chuvas em Sousa, 2023 ..... 39

**Figura 3 -** Médias das temperaturas máximas e mínimas em Sousa**,** 2023..... 40

**Figura 4** - Aroeira (Myracrodruon urundeuva). Sousa, Brasil. Fonte: autor (2024)..... 44

**Figura 5 -** Catingueira (Cenostigma pyramidale). Sousa, Brasil. Fonte: autor (2024) ..... 44

**Figura 6 -** Plantio de aroeira.....**Figura 7 -** Plantio de catingueira ..... 45

**Figura 8** - Representa efeitos das plantas na redução da condutividade elétrica do solo em função dos tratamentos. Sousa, PB, (Brasil), 2024. CV: 72,49%..... 46

**Figura 9 -** Efeitos dos tratamentos na redução do pH em $H_2O$ do solo em função dos tratamentos. Sousa, PB, (Brasil), 2024. CV: 9,10% ..... 48

**Figura 10** - Efeitos dos tratamentos na redução do pH da pasta do solo em função dos tratamentos Sousa, PB, (Brasil), 2024. CV: 10,80 % ..... 50

**Figura 11 -** Efeitos dos tratamentos na redução de sódio trocável do solo em função dos tratamentos. Sousa, PB, (Brasil), 2024. CV: 72,80% ..... 52

**Figura 12 -** Efeitos dos tratamentos na redução de sódio solúvel do solo em função dos tratamentos. Sousa, PB, (Brasil), 2024. CV: 70,12% ..... 54

**Figura 13 -** Efeitos dos tratamentos na formação de potássio trocável do solo em função das épocas. Sousa, PB, Brasil, (2024). CV: 31,33%..... 56

**Figura 14 -** Efeitos dos tratamentos na formação de potássio solúvel do solo em função dos tratamentos. Sousa, PB, Brasil, (2024). CV: 75,36% ..... 57

**Figura 15 -** Representa os teores de cálcio em função dos tratamentos. Sousa, PB, (Brasil), 2024. CV: 28,94% ..... 59

**Figura 16 -** Efeitos dos tratamentos na formação de magnésio trocável do solo em função dos tratamentos. Sousa, PB, (Brasil), 2024. CV: 57,12% ..... 60

**Figura 17 -** Efeitos dos tratamentos na formação de magnésio solúvel do solo em função dos tratamentos. Sousa, PB, (Brasil), 2024. CV: 68,28% ..... 63

**Figura 18 -** Representa efeitos dos tratamentos na manutenção da CTC do solo. Sousa, PB,

(Brasil), 2024. CV: 33,88%. ..... 64
**Figura 19 -** Efeitos das plantas na redução e interação da porcentagem de sódio trocável (PST) do solo em função dos tratamentos. Sousa, PB, (Brasil), 2024. CV: 49,95% ..... 66
**Figura 20 -** Efeitos das plantas na redução e interação da porcentagem de sódio trocável (PST) na solução solúvel do solo em função dos tratamentos. Sousa, PB, (Brasil), 2024. CV: 83,32%. ..... 68
**Figura 21**- Efeitos dos tratamentos na redução do RAS ajustada do solo. Sousa, PB, (Brasil), 2024. CV: 77,69% ..... 70
**Figura 22** - Efeitos dos tratamentos nas épocas da Soma da Bases do solo em função dos tratamentos. Sousa, PB, (Brasil), 2024. CV: 33,88%. ..... 72
**Figura 23 -** Efeitos da interação dos tratamentos e nas épocas na redução dos bicarbonatos do solo em função dos tratamentos. Sousa, PB, (Brasil), 2024. CV: 51,55% ..... 73
**Figura 24** - Efeitos dos tratamentos na redução dos carbonatos do solo em função dos tratamentos. Sousa, PB, (Brasil), 2024. CV: 105,31% ..... 74
**Figura 25 -** Representa efeitos dos tratamentos na redução dos cloretos do solo em função dos tratamentos. Sousa, PB, (Brasil), 2024. CV: 87,47%. ..... 76
**Figura 26 -** Armadilha confeccionada para captura da macrofauna do solo. Sousa, PB, (Brasil), 2024 ..... 79
**Figura 27**- Armadilha confeccionada para captura da macrofauna do solo. Sousa, PB, (Brasil), 2024 ..... 79
**Figura 28 -** População e frequência relativa (%) de indivíduos da macrofauna do solo coletados na área de plantio de Aroeira, após dois anos de estudo, dezembro de 2023. São Gonçalo, Sousa, PB, (Brasil), 2024 ..... 85
**Figura 29 -** População e frequência relativa (%) de indivíduos da macrofauna do solo coletados na área de plantio de catingueira, após dois anos de avaliação, dezembro de 2023. São Gonçalo, Sousa, PB, (Brasil), 2024, (Brasil)..... 86
**Figura 30 -** População e frequência relativa (%) de indivíduos da macrofauna do solo coletados, na área sem cultivo (testemunha), após dois anos de experimentação, dezembro de 2023. São Gonçalo, Sousa, PB, (Brasil) ..... 88
F**igura 31 -** Índice de Shannon (H) e o Índice uniformidade de Pielou (e). São Gonçalo, Sousa, PB, (Brasil), 2024 ..... 90
**CAPÍTULO II** - DESEMPENHO COM PAU-FERRO (*LIBIDIBIA FERREA* MART. EX

TUL) L.P. QUEIROZ) E SABIÁ (*MIMOSA (CAESALPINIAEFOLIA* BENTH.) NA RECUPERAÇÃO DE SOLOS EM ÁREA DEGRADADOS POR SAIS NO SERTÃO PARAIBANO ..... 104

**Figura 1 -** Localiza da área de estudo. (PISG, 2021), Fonte: Google Earth® ..... 110

**Figura 2 -** Média mensal de Chuvas em Sousa, 2023 ..... 110

**Figura 3** - Médias das temperaturas máximas e mínimas em Sousa, 2023. ..... 111

**Figura 4** - Pau-ferro Sousa, PB, Brasil, 2024. ..... 115

**Figura 5 -** Sabiá, Sousa, PB, Brasil, 2024. ..... 115

**Figura 6 -** Plantio de pau-ferro **Figura 7-** plantio de sabiá ..... 116

**Figura 8 -** Efeitos das plantas na redução da condutividade elétrica do solo em função dos tratamentos. Sousa, PB, (Brasil), 2024. CV: 72,49% ..... 118

**Figura 9 -** Efeitos das plantas na redução do pH em (H2O) do solo em função dos tratamentos. Sousa, PB, (Brasil), 2024. CV: 9,10% ..... 120

**Figura 10 -** Efeitos das plantas na redução do pH em pasta sataturada do solo em função dos tratamentos. Sousa, PB, (Brasil), 2024. CV: 10,80 % ..... 122

**Figura 11-** Efeitos das plantas na redução dos teores de sódio trocável do solo em função dos tratamentos. Sousa, PB, (Brasil), 2024. CV: 72,80% ..... 124

**Figura 12 -** Efeitos das plantas na redução dos teores de sódio solúvel do solo em função dos tratamentos. Sousa, PB, (Brasil), 2024. CV: 70,12% ..... 126

**Figura 13 -** Efeitos das plantas na formação dos teores de potássio trocável do solo em função dos tratamentos. Sousa, PB, (Brasil), 2024. CV: 31,33% ..... 127

**Figura 14 -** Efeitos das plantas na formação dos teores de potássio solúvel do solo em função dos tratamentos. Sousa, PB, (Brasil), 2024. CV: 75,36% ..... 128

**Figura 15 -** Efeitos das plantas na formação dos teores de cálcio do solo em função dos tratamentos. Sousa, PB, (Brasil), 2024. CV: 28,94% ..... 130

**Figura 16 -** Efeitos das plantas na formação dos teores de magnésio trocável do solo em função dos tratamentos. Sousa, PB, (Brasil), 2024. CV: 57,12% ..... 132

**Figura 17-** Efeitos das plantas na formação dos teores de magnésio solúvel do solo. Sousa em função dos tratamentos, PB, (Brasil), 2024. CV: 68,28% ..... 133

**Figura 18 -** Efeitos das plantas na formação das bases trocáveis do solo em função das épocas. Sousa, PB, (Brasil), 2024. CV: 33,88%. ..... 135

**Figura 19 -** Efeitos das plantas na redução dos carbonatos do solo em função dos tratamentos.

Sousa, PB, (Brasil), 2024. CV: 105,31%..... 137
**Figura 20 -** Efeitos das plantas na redução dos bicarbonatos do solo em função dos tratamentos. Sousa, PB, (Brasil), 2024. CV: 51,55%..... 139
**Figura 21 -** Efeitos das plantas na redução dos cloretos do solo em função dos tratamentos. Sousa, PB, (Brasil), 2024. CV: 87,47%..... 140
Fi**gura 22** - Efeitos das plantas na redução dos sulfatos do solo em função dos tratamentos. Sousa, PB, (Brasil), 2024. CV: 68,77%..... 142
**Figura 23** - Efeitos das plantas na interação da capacidade de troca de cátions (CTC) do solo em função dos tratamentos. Sousa, PB, (Brasil), 2024. CV: 33,88%..... 143
**Figura 24** - Efeitos das plantas na redução e interação da relação de adsorção de sódio (RAS) do solo em função dos tratamentos. Sousa, PB, (Brasil), 2024. CV: 77,69% ..... 145
**Figura 25 -** Efeitos das plantas na redução e interação da porcentagem de sódio trocável (PST) na solução solúvel do solo em função dos tratamentos. Sousa, PB, (Brasil), 2024. CV: 83,32%. ..... 147
**Figura 26 -** Efeitos das plantas na redução e interação da porcentagem de sódio trocável (PST) do solo em função dos tratamentos. Sousa, PB, (Brasil), 2024. CV: 49,95%. ..... 149
**Figura 27-** Armadilha confeccionada para captura da macrofauna do solo. Sousa, PB, Brasil), 2024 ..... 151
**Figura 28 -** Armadilha confeccionada para captura da macrofauna do solo. Sousa, PB, (Brasil), 2024 ..... 151
**Figura 29 -** População e frequência relativa (%) de indivíduos da macrofauna do solo coletados na área de plantio do pau-ferro, após dois anos de estudo, dezembro de 2023. São Gonçalo, Sousa, PB, (Brasil), 2024..... 157
**Figura 30 -** População e frequência relativa (%) de indivíduos da macrofauna do solo coletados na área de plantio do sabiá, após dois anos de estudo, dezembro de 2023. São Gonçalo, Sousa, PB, (Brasil), 2024 ..... 158
**Figura 31-** População e frequência relativa (%) de indivíduos da macrofauna do solo coletados, na área sem cultivo (testemunha), após dois anos de experimentação, dezembro de 2023. São Gonçalo, Sousa, PB, (Brasil), 2024 ..... 160
**Figura 32-** Índice de Shannon (H) e o Índice uniformidade de Pielou (e). São Gonçalo, Sousa, PB, (Brasil), 2024 ..... 162

## LISTA DE TABELAS

**CAPÍTULO I** - DESEMPENHO DA AROEIRA (*MYRACRODRUON URUNDEUVA*, ALLEMÃO) E CATINGUEIRA (*CENOSTIGMA PYRAMIDALE*) (TUL.)) NA RECUPERAÇÃO DE SOLOS EM ÁREA DEGRADADOS POR SAIS NO SERTÃO PARAIBANO ..... 31

**Tabela 1 -** Caracterização Química do solo em área experimental, a uma profundidade de 0 a 20 cm. Sousa, PB, (Brasil), 2024 ..... 41

**Tabela 2** - Caracterização da Salinidade do Solo no extrato de saturação, a uma profundidade de 0 a 20 cm. Sousa, PB, (Brasil), 2024 ..... 42

**Tabela 3 -** Caracterização dos atributos físicos do solo, a uma profundidade de 0 a 20 cm. Sousa, PB, (Brasil), 2024 ..... 43

**Tabela 4 -** Valores médios da biometria das plantas nativas (altura e diâmetro de caule) em áreas degradadas por sais. Perímetro Irrigado de São Gonçalo. Sousa, PB, (Brasil), 2024 44

**Tabela 5 -** Planta, parcela, classes, ordens taxonômicas e número de indivíduos da macrofauna do solo coletados no cultivo de aroeira, após dois anos de avaliação em dezembro de 2023, São Gonçalo, Sousa, PB, (Brasil) ..... 80

**Tabela 6 -** Planta, parcela, classes, ordens taxonômicas e número de indivíduos da macrofauna do solo coletados no cultivo de catingueira, após dois anos de avaliação em dezembro de 2023, São Gonçalo, Sousa, PB, (Brasil) ..... 82

**Tabela 7**- Planta, parcela, classes, ordens taxonômicas e número de indivíduos da macrofauna do solo coletados na área da testemunha (solo sem cultivo), após dois anos de avaliação em dezembro de 2023. São Gonçalo, Sousa, PB, (Brasil). ..... 83

**CAPÍTULO II** - DESEMPENHO COM PAU-FERRO (*LIBIDIBIA FERREA* MART. EX TUL) L.P. QUEIROZ) E SABIÁ (*MIMOSA (CAESALPINIAEFOLIA* BENTH.) NA RECUPERAÇÃO DE SOLOS EM ÁREA DEGRADADOS POR SAIS NO SERTÃO PARAIBANO ..... 104

**Tabela 1 -** Caracterização Química do solo em área experimental, a uma profundidade de 0 a 20 cm. Sousa, PB, (Brasil), 2024 ..... 112

**Tabela 2** - Caracterização da Salinidade do Solo no extrato de saturação, a uma profundidade de 0 a 20 cm. Sousa, PB, (Brasil), 2024 ..... 113

**Tabela 3 -** Caracterização dos atributos físicos do solo, a uma profundidade de 0 a 20 cm.

Sousa, PB, (Brasil), 2024..... 114
**Tabela 4** - Valores médios da biometria das plantas nativas (altura e diâmetro de caule) em áreas degradadas por sais. Perímetro Irrigado de São Gonçalo. Sousa, PB, (Brasil), 2024 115
**Tabela 5** - Planta, parcela, classes, ordens taxonômicas e número de indivíduos da macrofauna do solo coletados após dois anos de avaliação em dezembro de 2023, São Gonçalo, Sousa, PB, (Brasil), 2024. ..... 152
**Tabela 6** - Planta, parcela, classes, ordens taxonômicas e número de indivíduos da macrofauna do solo coletados após dois anos de avaliação em dezembro de 2023, São Gonçalo, Sousa, PB, (Brasil), 2024. ..... 154
**Tabela 7**- Planta, parcela, classes, ordens taxonômicas e número de indivíduos da macrofauna do solo coletados na área da testemunha (solo sem cultivo), após dois anos de avaliação em dezembro de 2023. São Gonçalo, Sousa, PB, (Brasil), 2024..... 155

**SUMÁRIO**

**1. INTRODUÇÃO GERAL ..... 18**
**2. REFERENCIAL TEÓRICO ..... 21**
**2.1 Ajuste Osmótico ..... 25**
**2.2 Controle de entrada e compartimentalização de íons tóxicos ..... 26**
**2.3 Ajuste hidráulico ..... 26**
**2.4 Síntese de Antioxidantes ..... 26**
**2.5 Estratégias morfológicas ..... 26**
**REFERÊNCIAS ..... 28**
**CAPÍTULO I - Desempenho da aroeira (Myracrodruon urundeuva, Allemão) e catingueira (Cenostigma pyramidale) (tul.)) na recuperação de solos em área degradados por sais no sertão paraibano ..... 31**
**1. INTRODUÇÃO ..... 34**
**2. REFERENCIAL TEÓRICO ..... 36**
**3. MATERIAL E MÉTODOS ..... 40**
**3.1 Área do experimento ..... 38**
**3.2 Delineamento experimental ..... 40**
**3.3 Preparo das covas, plantio e irrigação de manutenção das mudas ..... 40**
**3.4 Diagnóstico dos atributos químicos e fertilidade do solo ..... 41**
**3.5 Atributos físico do solo ..... 43**
**3.6 Médias das alturas e do diâmetro do caule das plantas ao longo de dois anos de avaliação ..... 43**
**3.7 Croqui da área de plantio das mudas ..... 45**
**3.8 Análise Estatística ..... 45**
**4. RESULTADOS E DISCUSSÃO ..... 48**
**5. CARACTERIZAÇÃO DA MACROFAUNA DO SOLO ..... 78**
**5.1 Avaliação da população e frequência relativa de indivíduos em cada área estudada. 84**
**5.2 O índice de diversidade de Shannon (H) o índice de uniformidade de Pielou (e) 88**
**CAPÍTULO II - Desempenho compau-ferro (Libidibia ferrea mart. Ex Tul L.P. Queiroz) e sabiá (Mimosa (caesalpiniaefolia Benth.) na recuperação de solos em área degradados por sais no sertão paraibano. ..... 103**
**1. INTRODUÇÃO ..... 106**
**2. REFERENCIAL TEÓRICO ..... 107**
**3. MATERIAL E MÉTODOS ..... 109**
**3.1 Área do experimento ..... 109**
**3.1 Delineamento experimental ..... 111**
**3.2 Preparo das covas, plantio e irrigação de manutenção das mudas ..... 111**
**3.3 Diagnóstico dos atributos químicos e fertilidade do solo ..... 112**
**3.4 Atributos de Salinidade ..... 112**
**3.5 Atributos físico do solo ..... 114**
**3.6 Médias das alturas e do diâmetro do caule das plantas ao longo de dois anos de avaliação ..... 114**
**3.7 Croqui da área de cultivo ..... 115**
**3.8 Análise Estatística ..... 116**
**3.9 Análises Estatística. ..... 129**
**4. RESULTADOS E DISCUSSÃO ..... 130**
**5. CARACTERIZAÇÃO DA MACROFAUNA DO SOLO ..... 150**

**5.1 Avaliação da população e frequência relativa de indivíduos em cada área estudada ..... 156**
**5.2 O índice de diversidade de Shannon (H) o índice de uniformidade de Pielou (e) da Macrofauna do Solo ..... 161**

**6. CONCLUSÕES ..... 164**
**REFERÊNCIAS ..... 165**

# 1. INTRODUÇÃO GERAL

A área de estudo compreende o Perímetro Irrigado de São Gonçalo (PISG) , cujo território se estende por 5.548 hectares de terras localizadas no Vale do rio Piranhas, município de Sousa (PB), distando aproximadamente 15 km da cidade de Sousa e 440 km da capital João Pessoa, Estado da Paraíba, segundo informações do Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS, 2020). No que se refere ao quantitativo populacional, o referido Perímetro é formado por uma população maior que a de muitos municípios do Semiárido brasileiro, são 7.862 habitantes, os quais estão assentados em quatro áreas, a sede, São Gonçalo, com 2.510, e três agrovilas, que são: Núcleo I, com 2.212; Núcleo II, com 2.040; e o Núcleo III, com 1.100 habitantes (Araújo et al., 2018).

O PISG está inserido em região de clima semiárido, com chuvas irregulares no tempo e no espaço, concentradas nos meses de janeiro a maio, estabelecendo um longo período de estiagem nos meses restantes do ano (DNOCS, 2020). Conforme dados da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), a pluviometria média é de 800 mm anuais (EMBRAPA, 2006). Na região do PISG, as temperaturas variam entre 25 °C a 38°C, a umidade relativa do ar fica entorno de 64% e enquanto a evapotranspiração anual chega a ultrapassar os 2.000 mm a, quase três vezes maior que a pluviometria. O relevo é predominantemente aplainado, com altitude média de 235 metros acima do nível do mar. Os solos predominantes na região são o Argissolo, Vertissolo Háplico, Planosolos, a vegetação natural é classificada como Caatinga hiperxerófila, sem folhas na estação seca, com abundância de cactáceas e plantas de pequeno porte (IBGE, 2023).

Os solos têm consistência que varia de arenosa a argilosa, com fertilidade natural oscilante entre boa e média. A vegetação típica da localidade é composta por caatinga, com espécies arbóreas, arbustivas, herbáceas, cactáceas e bromeliáceas (Silva Neto, 2013).
Atualmente, a Caatinga ocupa uma extensão de 912.519 km² (Silva; Tabarelli, 2017), sendo um dos biomas mais ameçados, onde Unidades de Conservação são escassas (Guilietti et al., 2006). Para a região semiárida, no Bioma Caatinga, predominase um regime de chuvas restritos, com menos de 1.000 mm por ano, com uma floresta constituída de árvores, arbustos e ervas anuais (Veloso et al, 2002; Guilietti et al., 2006).

No Brasil, o Bioma Caatinga é considerado um mosaico de paisagens. Diante disso, o uso desenfreado dos recursos naturais é um problema de grande dimensão com muitas áreas em processo de desertificação por atividades antrópicas e com remanescentes altamente fragmentadas (Leal; et al, 2008).

Esse processo de degradação ambiental se inicia com a substituição da vegetação nativa por espécies cultivadas, provocando um rompimento no ciclo e na dinâmica natural, prejudicando todo o ecossistema (Silveira et al., 2015). Existem plantas que possuem a capacidade de rebrotar ou possuem mecanismos eficientes para ocupar ambientes degradados; algumas são excelentes em recuperação de solo, altamente tolerantes ao sol, à chuva ou à seca e outras possuem capacidade atrativa de fauna (Santorelli; Filho, 2017).

A região semiárida do Nordeste brasileiro é caracterizada principalmente pelo bioma da Caatinga. Apresenta grande diversidade botânica e variabilidade fisionômica, de um local para outro, refletindo, dessa forma, a grande diversidade de solos e condições de precipitação na região. A exploração de lenha realizada de forma predatória ao longo das últimas décadas, sem o devido manejo florestal, e sem levar em consideração adversidade climática que ocorre com frequência da região com a baixa precipitação, característica que o caracteriza como semiárida, agrava ainda mais essa situação, levando a uma redução das reservas de madeira da região. Além das implicações econômicas devem também ser considerados os danos ambientais provocados por essas atividades, que por sua vez têm repercussões socioeconômicas.

A ação antrópica vem reduzindo a cobertura vegetal da Caatinga, tornando-a um verdadeiro mosaico natural, fragmentando o bioma e prejudicando assim a sua biodiversidade. Em regiões tropicais, uma das causas mais frequentes de degradação é a remoção da vegetação seguida de queimada, para o cultivo de culturas agrícolas. Após a exaustão do solo, a área é transformada em pastagem e abandonada posteriormente. O desmatamento de outra área começa mais um ciclo de degradação, que pode levar à desertificação pela ausência de práticas conservacionistas, falta de recursos para obtenção de insumos, ausência de planejamento, a médio e longo prazos, e pressão pelo uso e ocupação do solo.

A pesquisa buscou a recomposição florestal da Caatinga, com intuito de recuperar uma área, com sérios problemas ambientais de compactação e salinização ou sodicidade, localizada no Perímetro Irrigado de São Gonçalo, município de Sousa, sertão da Paraíba. No tocante ao Perímetro irrigado de São Gonçalo, local da pesquisa, nas décadas de 70, 80 e 90 o monocultivo do arroz, foi intenso, em seguida monocultivo do coco, todos os cultivos irrigado por inundação, cultivo esse que necessitava de grandes aéreas, provocando o desmatamento, grande demanda de água e o uso intensivo e redução da fertilidade do solo, ao ponto dos solos passarem a serem caracterizados como salinos e ou sódicos.

A vegetação que predomina no semiárido brasileiro, cobrindo a maior parte de sua extensão geográfica, é a Caatinga e, em consequência dos fatores climáticos, grande parte das espécies vegetais são caducifólias, ou seja, têm folhas decíduas, que caem na época de estiagem

em resposta à escassez de água, influenciando desta forma, na denominação do termo "Caatinga" que significa "mata-branca" no tupi-guarani (Loiola et al., 2012).

As fisionomias de Caatinga são muito variáveis, dependendo do regime de chuvas e do tipo de solo, variando de florestas altas e secas com até 15-20 m de altura em solos melhores e em localidades mais úmidas, até afloramentos de rochas com arbustos baixos esparsos e espalhados, com cactos e bromeliáceas nas fendas (Prado, 2003). Considerando as diferentes fisionomias, a Caatinga possui um patrimônio biológico bastante diversificado, com ocorrência de táxons raros, endêmicos e uma riqueza inestimável de espécies vegetais e animais (Giulietti et al., 2004).

Do ponto de vista vegetacional, a caatinga é peculiar e diversificada em fisionomia e composição, sendo representada por aproximadamente 5.344 espécies de fanerógamas e dessas 318 espécies são endêmicas. Em se tratando de espécies lenhosas, as famílias *Euphorbiaceae* e *Fabaceae* são geralmente as que se encontram com o maior número de indivíduos por espécie em estudos realizados nas regiões de Caatingas. Já a família *Cactaceae*é uma das com grande número de espécies endêmicas, sendo representada por 41 espécimes (Tabarelli; Silva, 2003; Giulietti et al., 2004).

O plantio de espécies nativas são práticas importantes na conservação do solo e na proteção da biodiversidade local, as espécies nativas da caatinga pode ser fator essencial na redução de impactos ambientais como na recuperação de solos degradados nessa região semiárida do Brasil. A caatinga é um bioma único, caracterizado por sua alta biodiversidade e adaptabilidade das plantas, evitando à escassez de água e principalmente evita a degradação de solos, entre os fatores positivos do reflorestamento leva a conservação do solo e dos recursos naturais.

Outro aspecto que iremos abordar é a macrofauna do solo que caracteriza como um componente essencial dos ecossistemas terrestres, desempenhando papéis críticos na ciclagem de nutrientes, na melhoria da estrutura do solo e na decomposição da matéria orgânica. O entendimento de sua ecologia e importância é fundamental para a conservação e manejo sustentável dos solos e dos ecossistemas terrestres.

No Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS), os solos salino-sódicos foram reformulados e, na última atualização, são denominados Solódicos, como um grupo de referência específico. Essa mudança reflete um esforço para alinhar a terminologia às características pedológicas observadas nos solos brasileiros e às novas abordagens de manejo e uso sustentável.

O local da pesquisa é caracterizado por solos degradados, classificados como sálicos,

com alto teor de sódio ($Na^+$), e uma porcentagem de sódio trocável (PST) elevada (PST > 15), além de apresentar um pH superior a 8,5. Essa área está situada no Perímetro Irrigado de São Gonçalo, no município de Sousa, no sertão paraibano. Por muitas décadas, foi utilizada para o monocultivo de arroz irrigado por inundação, seguido pelo monocultivo de coco, também praticado por inundação e com drenagem ineficiente. Essas práticas contribuíram significativamente para a degradação do solo. Diante disso, o presente estudo teve como objetivo avaliar a capacidade de adaptação da aroeira, catingueira, pau ferro e sabiá às condições de salinidade do solo em área degradada por sais, no Período Irrigado de São Gonçalo, município de Sousa, sertão paraibano, quantificando as mudanças na composição do solo após o plantio das espécies mencionadas, incluindo a redução dos níveis de salinidade.

Os solódicos são solos afetados por alta concentração de sódio trocável, resultando em condições de baixa permeabilidade, dispersão de partículas do solo e degradação estrutural. A salinidade e a sodicidade são os fatores dominantes, influenciando suas propriedades físicas, químicas e biológicas.

Os solódicos caracterizados pelo predomínio de sódio trocável e efeitos estruturais, como a dispersão de partículas e a impermeabilidade do solo. E os solos sódicos (não Solódicos): Alta sodicidade, mas sem influência significativa de salinidade no momento da caracterização.

Os solódicos podem ser classificados como um Grupo de Classe subordinado dentro de classes mais amplas, como os Planossolos**,** Luvissolos ou Chernossolos, dependendo de suas características pedogenéticas dominantes.

## 3. REFERENCIAL TEÓRICO

As mudanças climáticas, embora de natureza global, têm impactos distintos, nas diferentes regiões do mundo. Na última década, regiões como o Semiárido brasileiro, passaram a enfrentar eventos climáticos mais extremos, na forma de secas, que se tornaram mais intensas, frequentes, abrangentes e duradouras. É o caso da maior seca do século, que ocorreu no período 2011-2017 na região (Buriti; Barbosa, 2018; Paredes-Trejo, 2021 b).

O Relatório especial sobre “Mudança do Clima e Degradação das Terras”, do Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática (IPCC, 2019), reforçou os riscos da desertificação para as populações humanas. Os especialistas evidenciaram a situação particularmente preocupante do Brasil, que possui uma das áreas secas e em processo de desertificação mais densamente povoadas do mundo.

De acordo com a nova delimitação do Semiárido (SUDENE, 2021), a região semiárida brasileira possui atualmente uma área de 1.322.680,27 $Km^2$, abrangendo 1.427 municípios, com população estimada em 31,7 milhões de pessoas. Segundo as pesquisas científicas têm chamado atenção sobre o ponto de não retorno da vegetação, em razão de danos fisiológicos deixados por secas repetidas, fazendo com que as plantas percam sua capacidade de se autor recuperar.

Pesquisadores analisaram os efeitos de várias secas repetidas, no período de 1900 a 2018, sobre a resiliência de ecossistemas florestais. A pesquisa identificou situações nas quais a redução no crescimento das árvores foi maior em uma seca subsequente, de intensidade severa, mesmo que a seca anterior tenha sido moderada (Anderegg et. al., 2020). Isso demostra a importância de compreender as variações entra e interespecíficas para o manejo sustentável de espécies arbóreas da Caatinga e para a formulação de estratégias eficazes de conservação em cenários de aumento da frequência de devastação da cobertura vegetal e de eventos extremos. Os impactos das secas subsequentes geralmente são mais deletérios do que as secas iniciais, no crescimento e na mortalidade de algumas árvores. Porém, esse efeito difere enormemente por tipo de árvore e ecossistema (Anderegg et. al., 2020).

Outro agravante na degradação dos solos do semiárido do Nordeste do Brasil, acontece nos perímetros irrigados, onde o manejo inadequado da irrigação e por ineficiência do sistema de drenagem, vem causando a salinização de extensas áreas nesses locais.

A salinidade é uma condição do solo que ocorre principalmente nas regiões áridas e semiáridas do mundo. A precipitação pluviométrica limitada nessas regiões, associada à baixa atividade bioclimática, menor grau de intemperização, drenagem deficiente e a utilização de água de má qualidade, conduzem à formação de solos com alta concentração de sais (Holanda et al., 2007). Um dos grandes desafios da humanidade é tornar as atividades de exploração dos recursos naturais sustentáveis.

Atualmente são evidentes os problemas de degradação dos solos relacionados com atividades antrópicas. Os solos degradados por sais podem ser de três tipos: solos salinos: têm alta concentração de sais solúveis, o que reduz a disponibilidade de água para as plantas; solos sódicos: possuem elevado teor de sódio trocável, o que deteriora a estrutura do solo, tornando-o menos permeável e dificultando a infiltração de água; solos salino-sódicos: apresentam ambos os problemas (altos níveis de sais e sódio), sendo os mais difíceis de recuperar.

No método convencional a recuperação do solo salino, a lavagem e drenagem eficiente é suficiente, nos solos sódicos e salino-sódicos além da drenagem e lavagem devem também adicionar corretivos químicos com fonte de cálcio ou ácidos ou formadores de ácidos, sendo muito oneroso e dispendioso, o que se pode recorrer a métodos alternativos como o uso de

plantas tolerantes.

A salinização do solo é um problema que vem crescendo em todo o mundo. Estima-se existir cerca de 1 a 5 bilhões de hectares de solos afetados por sais, com grande parte de todas as áreas irrigadas do mundo sofrendo com a redução da produção devido ao excesso de sais no solo (Ribeiro et al., 2003; Sousa, 2007).

A origem dos problemas de salinidade se confunde com a própria formação dos solos, que é um produto da intemperização das rochas, envolvendo processos físicos, químicos e biológicos, mediante a ação de fatores como clima, relevo, organismos vivos e o tempo (Ribeiro et al., 2003; Dias et al, 2010). O excesso de sais limita severamente a produção agrícola principalmente nas regiões áridas e semiáridas, onde cerca de 25% da área irrigada encontra-se salinizada (FAO, 2011).

O crescimento populacional e a pressão econômica para produção de alimentos têm contribuído sensivelmente para expansão da área de solos degradados por salinidade e sodicidade, possivelmente, em consequência do uso inadequado de terras marginais e do manejo inadequado da irrigação e do solo (Ribeiro et al., 2003).

A Caatinga é caracterizada como uma floresta sazonalmente seca, com vegetação arbustiva decídua que perde suas folhas durante a estação seca. Seus troncos apresentam uma coloração branca a acinzentada (Tabarelli et al., 2018). Atualmente, é dividida em nove ecorregiões, sendo que oito delas foram inicialmente propostas por Velloso, Sampaio e Pareyn (2002) e esta classificação permanece até os dias atuais.

Este bioma abrange aproximadamente 70% da região nordeste e 11% do território nacional, incluindo os estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia, Minas Gerais e Maranhão (Veloso; Sampaio; Pareyn, 2002; Maciel, 2010). Caracterizado por um clima quente e semiárido, a Caatinga apresenta temperaturas elevadas (25-30°C), pouca disponibilidade hídrica, chuvas concentradas em poucos meses do ano e uma grande diversidade de solos e relevos (Veloso; Sampaio; Pareyn, 2002; Sampaio, 2010; Silva; Leal; Tabarelli, 2017; Tabarelli et al., 2018). Com poucas áreas protegidas (Unidades de Conservação representam apenas 2% do total), é um dos biomas menos estudados e também um dos mais alterados, sofrendo um extenso processo de desertificação devido ao uso irregular dos recursos, o que resulta na extinção de muitas espécies (Veloso; Sampaio; Pareyn, 2002; Leal; Tabarelli; Silva, 2003; Coe; Sousa, 2014), tornando-se um dos mais fragilizados por atividades humanas (Sampaio, 2010).

O bioma Caatinga apresenta uma variedade de paisagens, com vegetação caducifólia, xerófila e espinhosa, incluindo diferentes fisionomias: caatinga arbustiva-arbórea em mata seca

e úmida, formações abertas com cactáceas e bromeliáceas. A vegetação típica da caatinga é encontrada nas depressões sertanejas meridional e setentrional, uma ao norte e outra ao sul do bioma (Veloso; Sampaio; Pareyn, 2002).

A prática de irrigação, sendo este instrumento para o aumento da produtividade, quando utilizado de forma inadequada, pode aumentar a concentração sais no solo, alterando sua fertilidade, podendo levar também a alteração das características químicas do solo e à degradação (Souza, 2013).

No Brasil, esse fator é verificado em todo país, sendo comum na região Nordeste, onde aproximadamente 25% das áreas irrigadas foram salinizadas (Gheyi, 2000). Práticas de adubação orgânica, através aplicação de resíduos agroindustriais (cama de frango esterco de suíno,), industriais (lodo de curtume) e urbanos (lodo de esgoto), têm sido constantes nas áreas agrícolas brasileira aumentando a concentração de sais no solo (Souza, 2013). Além disso, o uso de fertilizantes também tem contribuído para a expansão de solo degradados por sais.

Outro índice importante é observar em ambientes degradados é a presença da macrofauna do solo, que revela como bioindicador de qualidade do solo. A macrofauna do solo compreende organismos que são visíveis a olho nu e têm um tamanho maior em comparação com a mesofauna e a microfauna do solo. No entanto, não há um tamanho fixo que defina a macrofauna, mas geralmente, os organismos da macrofauna do solo têm tamanhos que variam de alguns milímetros a vários centímetros de comprimento. Isso pode incluir uma variedade de organismos, como: Minhocas, besouros, centopeias, aracnídeos, larvas de insetos, lesmas e caracóis, entre outros.

A macrofauna edáfica é composta por animais invertebrados que passam uma parte do ciclo vital ou toda a vida no solo. Segundo (Pereira et al. 2012), um número significativo de organismos habita o solo e está em permanente interação com o mesmo. As atividades exercidas por estes determinam, em grande parte, as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (Correia; Andrade, 2008). A classe Arachnida é representada pelas ordens Pseudos corpionida (pseudoescorpiões), Palpigradi (palpígrados) e Acari (ácaros). A classe Insecta é representada pelas ordens Díptera (dípteros), Coleóptera (coleópteros ou besouros) e (isópteros ou cupins) (Souto et al., 2008; Barros et al., 2010; Pereira et al., 2012; Morais et al., 2013).

Nesse sentido, a macrofauna do solo desempenha um papel fundamental na manutenção da fertilidade e da saúde do solo, contribuindo para o funcionamento saudável dos ecossistemas e para o sucesso da agricultura. Seus efeitos positivos na aeração, estrutura do solo, ciclagem de nutrientes e controle biológico têm um impacto direto na produtividade e na sustentabilidade dos sistemas terrestres. A prática de reflorestar com árvores nativas da caatinga desempenha

um papel crucial na recuperação de solos degradados, promovendo a restauração ecológica, a sustentabilidade agrícola e a conservação da biodiversidade na região semiárida do Brasil. Essa prática não só melhora a qualidade do solo, mas também contribui para a adaptação às condições climáticas desafiadoras e a promoção do desenvolvimento sustentável.

Nesse sentido, o reflorestamento com espécies arbóreas nativas da Caatinga desempenha um papel fundamental na recuperação de solos degradados. Essa prática não apenas promove a restauração ecológica, mas também fortalece a sustentabilidade agrícola e a conservação da biodiversidade na região semiárida do Brasil. Além de melhorar a qualidade do solo, o reflorestamento contribui significativamente para a adaptação às condições climáticas adversas e para o avanço do desenvolvimento sustentável.

Visando recuperar áreas degradadas pela salinização, diversas técnicas vêm sendo utilizadas como o uso de corretivos químicos, lavagem do solo e técnicas de biorremediação. Biorremediação é o processo nos quais organismos vivos (microrganismos, fungos, plantas, entre outros) são utilizados a fim de remediar solos contaminados. Dentro da biorremediação aborda-se o uso da fitorremediação para a diminuição da salinidade. Esse processo consiste no uso de plantas com potencial fito extrator de sais, as quais podem ser uma alternativa de recuperação do solo.

Plantas com esse potencial são geralmente plantas halófitas, apresentando determinadas características como tolerância a salinidade e elevada produção de biomassa. As plantas nativas da Caatinga são tolerantes a diversos tipos de solos e clima.

As plantas possuem mecanismos fisiológicos, tais como ajuste osmótico efetivo, eficiência no uso de água, exclusão e sequestro de sais, modificação das raízes que auxilia no processo de sobrevivência da planta e com isso, mantendo o processo de recuperação. Os mecanismos bioquímicos são produção de antioxidantes, metabolismo de osmólitos, modulação de fito-hormônios, que mantem a planta ativa em ambientes estressantes.

As plantas enfrentam o estresse salino quando há excesso de sais no solo, especialmente cloreto de sódio (NaCl), que afeta negativamente o crescimento, a produtividade e a sobrevivência vegetal. Para lidar com esse estresse, as plantas ativam uma série de mecanismos fisiológicos e bioquímicos que podem ser agrupados **em estratégias de** evitação**,** tolerância **e** exclusão.

### 2.1 Ajuste Osmótico

Acúmulo de solutos compatíveis (osmorreguladores) em que as plantas sintetizam compostos como prolina, glicina betaína, manitol e açúcares solúveis. Esses solutos ajudam a

manter o potencial osmótico celular, permitindo a absorção de água, sem interferir nos processos metabólicos.

Absorção seletiva de íons: As raízes ajustam a captação de nutrientes essenciais ($K^+$, $Ca^{2+}$) em detrimento de íons tóxicos como $Na^+$ e $Cl^-$, para evitar desequilíbrios osmóticos e nutricionais.

**2.2 Controle de entrada e compartimentalização de íons tóxicos**

A Exclusão de $Na^+$ pelas raízes algumas plantas limitam a entrada de $Na^+$ e $Cl^-$ pelas raízes, reduzindo a toxicidade. Como também a Sequestração de $Na^+$ e $Cl^-$ em vacúolos, o armazenamento de íons tóxicos em vacúolos evita seu acúmulo no citoplasma, protegendo enzimas e organelas sensíveis. Outro mecanismo seria Regulação pelo sistema SOS (Salt Overly Sensitive), este sistema regula o transporte de $Na^+$ para fora do citoplasma via proteínas de efluxo $Na^+/H^+$, utilizando bombas de prótons para energia.

**2.3 Ajuste hidráulico**

A Redução da condutância estomática, onde as plantas fecham parcialmente os estômatos para minimizar a perda de água por transpiração, embora isso possa comprometer a fotossíntese. Como a diminuição da condutividade hidráulica em que as plantas ajustam o transporte de água nos tecidos para reduzir os impactos do estresse hídrico associado à salinidade.

**2.4 Síntese de Antioxidantes**

O estresse salino induz a produção de espécies reativas de oxigênio (EROs), como peróxido de hidrogênio ($H_2O_2$) e superóxido ($O_2^-$). Para combater esses radicais livres, as plantas ativam sistemas antioxidantes, como também **e**nzimáticos, como o superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e peroxidases (POD). E os não enzimáticos, como **a** Glutationa, ácido ascórbico (vitamina C) e carotenoides.

**2.5 Estratégias morfológicas**

As plantas também tem estratégia na Redução da área foliar, como ocorre nas plantas nativas da Caatinga, onde minimiza a transpiração e reduz a captação de sais pelas raízes. E o espessamento da cutícula onde diminui a perda de água pela evaporação. E também as plantas fazem alterações no sistema radicular, algumas plantas desenvolvem raízes mais profundas ou modificam a anatomia radicular para evitar áreas de alta salinidade, é o caso das plantas nativas que possuem sistema radicular bem desenvolvido.

As respostas fisiológicas e bioquímicas ao estresse salino envolvem a integração de mecanismos que limitam os danos celulares, mantêm o metabolismo funcional e possibilitam a sobrevivência em condições adversas. A capacidade de uma planta de tolerar a salinidade depende da eficiência desses mecanismos, que podem variar amplamente entre espécies e variedades.

As espécies das plantas foram escolhidas por observação, onde percebe-se que na região essas espécies são endêmicas, as espécies de aroeira, catingueira, pau-ferro e sabiá são vistos em todos os tipos de terrenos e relevos, em cima dos topos das montanhas e em toda parte plana e de altitude e em diversos de tipos de solos, inclusive em solos que apresenta ser muito rochoso.

Com esse propósito, o estudo teve como objetivo a utilização de plantas nativas da Caatinga na recuperação dos parâmetros de qualidade do solo, e consequentemente, sua recuperação promovendo sua reabilitação e avaliando a macrofauna edáfica do solo. As plantas tem esse potencial mitigador de melhorar os atributos do solo em todos seus aspectos, químico, físico e biológico.

## REFERÊNCIAS

ALLEN, C. D. **Climate-induced forest dieback: an escalating global phenomenon**. In: Unasylva, v. 60, n. 231, 2009. p. 43-49

ANDEREGG, William R. L. **Divergent forest sensitivity to repeated extreme droughts**. In: Nature Climate Change, v. 10, 2020. p. 1091–1095. Disponível em: https://www.nature.com/articles/s41558-020-00919-1

ARAÚJO, D. C.; VIEIRA, A. S.; QUEIROGA, F. A.; FIGUEIREDO, F. N. L.; SILVA, L. B.; SARMENTO, R. C. S. S. **Proposta de um modelo de gestão para o uso eficiente da água no perímetro irrigado de São Gonçalo no Sertão paraibano**. Revista Brasileira de Gestão Ambiental, Pombal, v.12, n. 1, p. 43-57, 2018

AZEVEDO, J. C. R.; SOUZA, L. C. P.; KUMMER, L. **Indicadores de qualidade de solos de área de mineração e metalurgia de chumbo: II - mesofauna e plantas**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 34, n. 4, p. 1413-1426, 2010.

BARROS, Y. J.; MELO, V. F.; SAUTTER, K. D.; BUSCHLE, B.; OLIVEIRA, E. B.; BURITI, Catarina de Oliveira; BARBOSA, H. A. **Um século de secas. Lisboa- Portugal**, 2018. 454 p.

COE, H. H. G.; SOUSA, L. O. F. **The brazilian "Caatinga": ecology and vegetal biodiversity of a semiarid region. In: Dry forests: ecology, species diversity, and sustainable management**. Nova publishers, 2014. 201 p

CORREIA, M. E. F.; ANDRADE, A. G. **Formação de serrapilheira e ciclagem de nutrientes. In**: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais.** 2ª edição. Porto Alegre: editora Metropole, 2008. 654p.

DIAS, N. S.; LIRA, R. B.; BRITO, R. F.; SOUSA NETO, O. N.; FERREIRA NETO, M.; OLIVEIRA, A. M. 2010. **Produção de melão rendilhado em sistema hidropônico com rejeito da dessalinização de água em solução nutritiva**. R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, v.14, n.7, p.755– 761.

DNOCS. **Perímetro Irrigado de São Gonçalo**. DNOCS, Fortaleza, 2020. Disponível em: **http://www.dnocs.gov.br/~dnocs/doc/canais/perimetros_irrigados/pb/sao_goncalo**.htm. Acesso em: [06 de outubro de 2023].

GIULIETTI, A. M.; NETA, A. L. B.; CASTRO, A. A. J. F.; GAMARRA-ROJAS, C. F. L.; SAMPAIO, E. V. S. B.; VIRGÍNIO, J. F.; QUEIROZ, L. P.; FIGUEIREDO, M. A.; RODAL, M. J. N.; BARBOSA, M. R. V.; HARLEY, R. M. **Diagnóstico da vegetação nativa do bioma caatinga. In**: SILVA, J. M. C.; TABARELLI, M.; FONSECA, M. T. **Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação**. Ministério do Meio Ambiente, Brasília. 2004. 382p.

HOLANDA, A. C.; SANTOS, R. V.; SOUTO, J. S.; ALVES, A. R. 2007. **Desenvolvimento inicial de espécies arbóreas em ambientes degradados por sais.** Revista de Biologia e

Ciências da Terra, v.7, n.1, p.39-50

IBGE. **Banco de Dados de Informações Ambientais** - BDiA. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: https://bdiaweb.ibge.gov.br. Acessado em: [05 de dezembro de 2023].

IPCC. **Climate Change and Land: an IPCC Special Report on climate change, desertifi cation, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fl uxes in terrestrial ecosystems**. August 2019.

LEAL, I. G.; ACCIOLY, A. M. A.; NASCIMENTO, C. W. A.; FREIRE, M. B. G. S.; MONTENEGRO, A. A. A; FERREIRA, F. L. 2008. **Fitorremediação de Solo Salino Sódico por Atriplex nummularia e Gesso de Jazida**. R. Bras. Ci. Solo., v.32, n.3, 1065- 1072.

LOIOLA, M. I. B.; PATERNO, G. B. C.; DINIZ, J. A.; CALADO, J. F.; OLIVEIRA, A. C. P. **Leguminosas e seu potencial de uso em comunidades rurais de São Miguel do Gostoso – RN**. Revista Caatinga, Mossoró, v. 23, n. 3, p. 59-70, jul.-set., 2010.

LOIOLA, M. I. B.; ROQUE, A. A.; OLIVEIRA, A. C. P. **Caatinga: vegetação do semiáridodo Brasil.** Revista Ecologia, v.4, p.14-19, 2012.

MACIEL, B. A. **Unidades de conservaçao no bioma Caatinga. In**: GARIGLIO et al. (Coord.). **Uso sustentavel e conservaçao dos recursos florestais da caatinga**. Brasília: Serviço florestal brasileiro, 2010. 368 p

MORAIS, J. W.; OLIVEIRA, F. G. L.; BRAGA, R. F.; KORASAKI, V. **Mesofauna. In:** MOREIRA. F. M. S.; CARES, J. E.; ZANETTI, R.; STÜRMER, S. L. (Eds.). **O ecossistema solo: componentes, relações ecológicas e efeitos na produção vegetal.** Lavras: Editora UFLA; 2013. 351p.

PAREDES-TREJO, F.; BARBOSA, H. A.; GIOVANNETTONE, J.; LAKSHMI KUMAR, T. V.; KUMAR-THAKUR, M.; BURITI, Catarina de Oliveira. **Long-term spatiotemporal variation of droughts in the Amazon River Basin**. *Water*, v. 13, p. 351–366, 2021b.

PEREIRA, R. C.; ALBANEZ, J. M.; MAMÉDIO, I. M. P. **Diversidade da meso e macrofauna edáfica em diferentes sistemas de manejo de uso do solo em Cruz das Almas – BA**. Revista Magistra, v. 24 (número especial), p. 63-76, 2012.

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

PRADO, D. E. **As caatingas da América do Sul. In**: LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. **Ecologia e conservação da caatinga**. Recife: editora Universitária/UFPE; 2003. 822p.

SANTORELLI, P. A. R.; FILHO, E.M. C. **Guia de plantas da regeneração natural do Cerrado e da Mata Atlântica. Agroicone,** São Paulo, Abril, 2017. 140 p. Disponível em: https://www.inputbrasil.org/wp-content/uploads/2017/05/INPUT_Agroicone_Guia-dePlantas-

da- Regeneracao-Natural-do-Cerrado-e-da-Mata-Atlantica.pdf . Acesso em: [02 de outubro de 2023].

SILVA NETO, M. F. **A problemática da salinização do solo no Perímetro Irrigado de São Gonçalo – PB**. 2013. 139 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2013.

SILVA, J. M. C.; LEAL, I. R.; TABARELLI, M. **Caatinga: the largest tropical dry forest region in South America. Cham: Springer**, 2017. 487 p

SILVEIRA, L. P. et al. **Poleiros artificiais e enleiramento de galhada na restauração de área degradada no Semiárido da Paraíba, Brasil. Nativa, Pesquisas agrárias e ambientais**, Mato Grosso, v.3, n.3, p.165-170, 2015 . Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/282351882_Poleiros_Artificiais_e_Enleiramento de_Galhada_na_Restauracao_de_Area_Degradada_no_Semiarido_da_Paraiba_Brasil. Acesso em: [08 de outubro de 2023].

SOUSA. C. H. C. 2007. **Análise da tolerância a salinidade em plantas de sorgo, feijão de corda e algodão.** Fortaleza. 73f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

SOUTO, P. C.; SOUTO, J. S.; MIRANDA, J. R. P.;SANTOS, R. V.; ALVES, A. R. **Comunidade microbiana e mesofauna edáficas em solo sob caatinga no semiárido da Paraíba**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.32, n.32, p.151-160, 2008.

SUDENE. **Resolução CONDEL/SUDENE no 150**, de 13 de dezembro de 2021.

TABARELLI, M. **The Future of the Caatinga. In**: SILVA, J. M. C.; LEAL, I. R.; TABA RELLI, M. (Coord.). **Caatinga: The largest tropical dry forest region in South America. Cham:** Springer International Publishing, 2017. Cap. 19, 461474 p.

TABARELLI, M. **Caatinga: legado, tragetória e desafios rumo à sustentabilidade**. Revista Ciência e Cultura, v.70, n.4. 2018. Disponível em: http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252018000400009. Acesso em: [25 de outubro de 2023].

TEIXEIRA, P.C., **Manual de métodos de análise de solo. 3ª. ed. Revisada e ampliada**. Brasília, DF: Embrapa, 2017.

VELOSO, A. L.; SAMPAIO, E. V. S. B.; PAREYN, F. G. C. **Ecorregiões propostas para o Bioma Caatinga. Recife: Associação plantas do nordeste**; Instituto de Conservação Ambiental The Nature Conservancy do Brasil, 2002. 76p.

# CAPÍTULO I

## DESEMPENHO DA AROEIRA (*MYRACRODRUON URUNDEUVA*, ALLEMÃO) E CATINGUEIRA (*CENOSTIGMA PYRAMIDALE*) (TUL.)) NA RECUPERAÇÃO DE SOLOS EM ÁREA DEGRADADOS POR SAIS NO SERTÃO PARAIBANO

SILVA. J.J. Universidade Federal da Paraíba: novembro de 202024. **Desempenho da aroeira (*Myracrodruon urundeuva*, Allemão) e catingueira (*Cenostigma pyramidale*) (Tul.)) na recuperação de solos em área degradados por sais no sertão paraibano**. Orientador: Dr. Jacob Silva Souto

## RESUMO

A exploração desenfreada da Caatinga tem causado degradação em diversas áreas. Nesse contexto, a restauração ecológica, através de estratégias de plantio de mudas nativas, torna- se uma ferramenta essencial para mitigar as pressões humanas sobre os ecossistemas naturais exauridos. Diante disso, objetivou-se avaliar a capacidade de adaptação da aroeira (Myracrodruon urundeuva Allemão) e catingueira (Cenostigma pyramidale Tul. Gagnon & G.P.), às condições do solo salino-sódico, quantificando as mudanças na composição do solo, incluindo a fertilidade e salinidade. Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado com parcela subdividida no tempo, do período chuvoso de 2022 ao período de estiagem de 2023, totalizando dois anos e dois períodos de avaliação, com três tratamentos, cultivo de aroeira, cultivo de catingueira e solo sem cultivo (testemunha) e cinco repetições. Foram avaliadas a fertilidade e a salinidade do solo durante 24 meses. O plantio das espécies foi eficaz na redução dos parâmetros do solo, principalmente, a condutividade elétrica do solo, o pH da pasta de saturação e a PST, auxiliando na recuperação do solo salino-sódico. Conclui-se que as espécies estudadas contribuíram na melhoria dos atributos do solo, na diversidade da população da macrofauna do solo, recomendando a utilização dessas espécies nativas no processo de recuperação de solo degradados por sais.

**Palavras-chave**: *Myracrodruon urundeuva*, *Cenostigma pyramidale*, recuperação de solos, manejo sustentável, salino-sódico

SILVA. J.J. Federal University of Paraíba: November 202024. **Performance of the aroeira (Myracrodruon urundeuva, Allemão) and catingueira (Cenostigma pyramidale) (Tul.)) in the recovery of soils in areas degraded by salts in the backlands of Paraíba**. Advisor: Dr. Jacob Silva Souto

## ABSTRACT

The unbridled exploitation of the Caatinga has caused degradation in several areas. In this context, ecological restoration, through strategies of planting native seedlings, becomes an essential tool to mitigate human pressures on depleted natural ecosystems. Therefore, the objective of this study was to evaluate the adaptation capacity of the aroeira (Myracrodruon urundeuva Allemão) and catingueira (Cenostigma pyramidale Tul. Gagnon & G.P.) to the conditions of the saline-sodic soil, quantifying the changes in soil composition, including fertility and salinity. A completely randomized design with a split plot in time was used, from the rainy season of 2022 to the dry season of 2023, totaling two years and two evaluation periods, with three treatments, aroeira cultivation, catingueira cultivation and uncultivated soil (control) and five replicates. Soil fertility and salinity were evaluated for 24 months. Planting these species was effective in reducing soil parameters, mainly soil electrical conductivity, saturation paste pH and TSP, helping to recover saline-sodic soil. It was concluded that the species studied contributed to improving soil attributes and the diversity of the soil macrofauna population, recommending the use of these native species in the recovery process of soil degraded by salts.

**Keywords**: *Myracrodruon urundeuva*, *Cenostigma pyramidale*, soil recovery, sustainable management, saline-sodic

## 1. INTRODUÇÃO

Foram milhares de espécies e variedades de plantas que alimentavam nossos ancestrais foram extintas, e mais espécies estão desaparecendo a cada dia (FAO, 2022).

Segundo a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO, 2021), à nível mundial, 424 milhões de hectares de solo superficial (0-30 cm) são afetados pelo o sal, onde 85% destes, são solos salinizados, 10% sódicos e 5% salino-sódicos, atualmente solódicos.

A salinidade é uma condição do solo que ocorre principalmente nas regiões áridas e semiáridas do mundo. A precipitação pluviométrica limitada nessas regiões, associada à baixa atividade bioclimática, menor grau de intemperização, drenagem deficiente e a utilização de água de má qualidade, conduzem à formação de solos com alta concentração de sais, (Holanda et al., 2007). Um dos grandes desafios da humanidade é tornar as atividades de exploração dos recursos naturais sustentáveis. Atualmente são evidentes os problemas de degradação dos solos relacionados com atividades antrópicas.

A salinização do solo é um problema que vem crescendo em todo o mundo. Estima-se existir cerca de 1 a 5 bilhões de hectares de solos afetados por sais, com grande parte de todas as áreas irrigadas do mundo sofrendo com a redução da produção devido ao excesso de sais no solo (Ribeiro et al., 2003; Sousa, 2007).

A origem dos problemas de salinidade se confunde com a própria formação dos solos, que é um produto da intemperização das rochas, envolvendo processos físicos, químicos e biológicos, mediante a ação de fatores como clima, relevo, organismos vivos e o tempo (Ribeiro et al., 2003; Dias et al, 2010). O excesso de sais limita severamente a produção agrícola principalmente nas regiões áridas e semiáridas, onde cerca de 25% da área irrigada encontra-se salinizada (FAO, 2011).

As secas múltiplas impactam na resiliência de ecossistemas florestais. Os impactos das secas subsequentes geralmente são mais deletérios do que as secas iniciais, no crescimento e na mortalidade de algumas árvores. Porém, esse efeito difere enormemente por tipo de árvore e ecossistema (Anderegg et. al., 2020).

Os recursos florestais têm sofrido grande pressão ao longo dos tempos, tanto através do desmatamento para fins agropecuários, como da extração de matéria-prima para suprir as diferentes necessidades da indústria. Nas regiões em que tais recursos já foram explorados em demasia, a solução para reverter esse quadro são os plantios florestais, e, nesse caso, as sementes

constituem o ponto de partida na produção das mudas (IBAMA 1998).

A aroeira (*Myracrodruon urundeuva)* é nativa da Caatinga, porém, não é uma espécie endêmica do Brasil. Ocorre em todas as regiões do país, sendo em todos os estados do Nordeste, Centro-Oeste (exceto DF), Sudeste, Sul e alguns estados da região Norte (Acre, Rondônia e Tocantins). Presente nos domínios fitogeográficos: Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa, Pantanal. (Luz et al., 2020). A Aroeira tem altura de 5-20 m na Caatinga e Cerrado, podendo atingir 30 m e cerca de 1 m de diâmetro em florestas pluviais bem conhecida devido às suas propriedades farmacológicas, árvore de tronco reto, alta com larga copa e ramos finos (Maia; Silva et al., 2012).

A Catingueira (*Cenostigma pyramidale),* é uma árvore de porte médio, encontrada em várzeas úmidas ou no Seridó semiárido, com cheiro característico nas folhas quando esmagadas, casca acinzentada, quase lisa e vagens achatadas com ápice agudo que se contorcem ao liberar as sementes (Maia; Silva et al., 2012).

A redução da cobertura florestal nativa na Caatinga, como resultado de seus processos históricos de ocupação humana, contribuiu para o cenário atual de fragmentação de habitats, perda da diversidade biológica e ameaça de extinção de espécies. Com o passar do tempo, a intensificação dessas atividades, atrelado às condições ambientais peculiares de algumas regiões, tornaram várias áreas vulneráveis ao processo de desertificação (Perez-Marin et al., 2012). Algumas plantas possuem a capacidade de sobreviver em condições estressantes. Esse fator se dá devido aos mecanismos bioquímicos, fisiológicos, anatômicos e morfológicos que estas desenvolvem, auxiliando na aclimatação ao estresse salino, possibilitando o seu desenvolvimento mesmo em condições desfavoráveis (Santos, 2018). Nessas perspectivas que as plantas nativas da Caatinga possuem mecanismos de sobrevivências em diversos tipos de solo e clima.

Para evitar danos provocados pelos altos níveis de sais no solo, as plantas utilizam alguns mecanismos, sendo estes: exclusão de sódio via sistema SOS (Salt Overly Sensitive), que permite a homeostase iônica no citoplasma; a compartimentalização vacuolar (Kabala; Janicka-Russak, 2012, conforme citado por Santos (2018) e ajustamento osmótico, sendo estes as principais respostas das plantas ao ambiente salino (Chaum; Kirdmanee, 2009, conforme citado por Santos (2013). Nesse e outros aspectos as plantas são peças fundamentais em melhorias dos atributos do solo.

Com o objetivo de recuperar uma área degradada e afetada por sais, propõe-se o plantio de espécies nativas da Caatinga, como Aroeira e Catingueira. Essa estratégia visa melhorar os

atributos do solo, incluindo a fertilidade e salinidade, além de restabelecer a macrofauna edáfica local e promover a restauração das condições naturais do ecossistema.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

A aroeira é uma espécie amplamente conhecida e utilizada pelas populações rurais, especialmente no nordeste do Brasil, por suas aplicações medicinais (Albuquerque; Andrade, 2002; Almeida; Albuquerque, 2002; Albuquerque, 2006; Lucena et al., 2007; Oliveira et al., 2007; Oliveira, Barros; Moita Neto, 2010; Aguiar; Barros, 2012; Oliveira et al., 2012; Baptistel et al., 2014; Pereira Júnior et al., 2014; Almeida Neto et al., 2015; Saraiva et al., 2015; Aguiar Galvão et al., 2018; Silva et al., 2019). As cascas são a parte da planta mais utilizada e comercializada para finalidade medicinal (Alves et al., 2016).

É altamente adaptada às condições semiáridas, com alta resistência ao estresse hídrico, suas folhas, quando decompostas, enriquecem o solo com matéria orgânica, melhorando sua fertilidade. A aroeira apresenta um sistema radicular profundo que ajuda a fixar o solo, prevenindo a erosão, especialmente em áreas de encostas. Em solos afetados por sais, a aroeira pode atuar indiretamente, melhorando as condições físicas e químicas do solo por meio da ciclagem de nutrientes e da cobertura vegetal. É utilizada em projetos de reflorestamento por sua capacidade de promover sombreamento e favorecer o microclima, permitindo que outras espécies colonizem a área.

É uma planta nativa com forte uso na medicina popular como adstringente, balsâmica, analgésica, cicatrizante, anti-inflamatória, antibacteriana. Aplicada em diversos tratamentos contra inflamações (Pareyn et al., 2018). A utilização de frutos, folhas, cascas ou outras partes da planta devem ser efetuada com cautela, pois apresentam pequenas quantidades de alquil-fenois, que podem causar dermatite alérgica em pessoas sensíveis (Camillo, 2018). Cascas e resina são usadas para a produção de tanino, corantes e remédios; Folhas como forragem para bovinos; as flores são melíferas. (Pareyn et al., 2018).

Tem grande importância ornamental, na arborização urbana, além do uso na recuperação de áreas degradadas (Pareyn et al., 2018). Apesar da sua indicação e potencial paisagístico, só pode ser utilizada nas áreas verdes sem acesso público, pela possibilidade de causar reações alérgicas (Henriques; Vichiato; Vichiato, 2018). Suas Flores produzem néctar em abundancia que atraem muitas espécies de abelhas nativas, sendo produzido um mel saboroso e muito apreciado. Além de o néctar ser um atrativo, a resina, proveniente de lesões na casca, também é coletada pelas abelhas.

Na estação seca apresenta recursos florais fundamentais na alimentação de alguns insetos (Maia; Silva et al., 2012). A Aroeira tem fenofases de brotação e desfolhamento, observou-se que a perda de folhas é crescente nos meses finais da época mais chuvosa, na Caatinga, passando longo período desfolhando, brotando de novembro a fevereiro, em média. Tem picos de frutificação no meio do inverno e começo da primavera.

Os recursos florestais têm sofrido grande pressão ao longo dos tempos, tanto através do desmatamento para fins agropecuários, como da extração de matéria-prima para suprir as diferentes necessidades da indústria. Nas regiões em que tais recursos já foram explorados em demasia, a solução para reverter esse quadro são os plantios florestais, e, nesse caso, as sementes constituem o ponto de partida na produção das mudas (IBAMA 1998).

A Catingueira (*Cenostigma pyramidale) (Tul.)*), é uma árvore de porte médio, encontrada em várzeas úmidas ou no Seridó semiárido, com cheiro característico nas folhas quando esmagadas, casca acinzentada, quase lisa e vagens achatadas com ápice agudo que se contorcem ao liberar as sementes (Maia, 2012). Pertencente à amília Fabaceae, gênero *Cenostigma* Tul., recebendo o nome científico *Cenostigma pyramidale.* Já apresentou outros nomes, como *Poincianella pyramidalis*, tendo como basiônimo *Caesalpinia pyramidalis.* (Tropicos, 2020). Possui nomes populares atribuídos devido ao odor desagradável de suas folhas: Catingueira, Catinga-de-porco, Catingueiro-das-folhas-largas, Pau-de-porco, Pau de rato (CNIP, 2020). Encontrada nos estados de Alagoas, Bahia, Cerara, Mato Grosso, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte, Sergipe (CNIP, 2020).

Devido ao seu crescimento rápido, essa espécie pode ser utilizada em reflorestamentos de áreas degradadas e também em projetos de paisagismo urbano (Silva et al., 2012). Pode ser manejada, através da poda, para produzir forragem durante a época seca, quando normalmente se encontra sem folhas. As folhas desta espécie, quando submetida a processo de fenação, oferecem uma massa forrageira volumosa e bastante nutritiva (Loiola et al., 2010).

É uma leguminosa espécie pioneira, capaz de crescer em solos pobres e compactados, condições comuns em áreas degradadas. a catingueira possui associações simbióticas com bactérias fixadoras de nitrogênio, o que enriquece o solo e melhora sua qualidade para o estabelecimento de outras plantas, suas raízes promovem a aeração e drenagem do solo, enquanto sua biomassa adiciona matéria orgânica, reduzindo os efeitos da salinidade. Ela oferece cobertura ao solo, protegendo-o contra os efeitos do sol e diminuindo a evaporação da água, o que é importante em solos salinizados. Como espécie pioneira, a catingueira é frequentemente utilizada em projetos de recuperação ambiental, criando condições propícias

para a sucessão ecológica.

É importante fonte de recursos para algumas abelhas que são seus principais polinizadores. Outros visitantes florais também coletam néctar das flores de catingueira como, por exemplo, borboletas, beija-flores e abelhas sem ferrão. Recomenda-se o plantio de mudas de catingueira em áreas de criação e conservação de abelhas nativas (Silva et al., 2012).

Como outras espécies consideradas endêmicas da Caatinga, também perde as folhas na estação seca, sendo uma das primeiras a rebrotar na época chuvosa, é importante na formação da serapilheira e na manutenção da matéria orgânica do solo, alcançando vegetação plena aproximadamente um mês após o início da estação. A floração ocorre na transição das épocas seca-chuvosa e na chuvosa, seguida da frutificação, por isso, as plantas são peças importantes na restauração e recuperação do agrossistema.

## 3. MATERIAL E MÉTODOS

### 3.1 Área do experimento

O estudo foi realizado em condições de campo, abrangendo o período chuvoso de 2022 até o período de estiagem de 2023, no campus do Instituto Federal da Paraíba (IFPB), localizado no distrito de São Gonçalo, município de Sousa, Paraíba, Brasil. As coordenadas geográficas do local são 6°50′22″S e 38°17′57″W.

A região apresenta clima semiárido quente, classificado como BSh segundo Köppen, caracterizado por uma evaporação superior à precipitação. A precipitação média anual é de aproximadamente 800 mm, concentrada principalmente entre os meses de janeiro e junho. A temperatura média anual é de 28°C, e a umidade relativa média do ar é de 64%.

As mudas de aroeira (*Myracrodruon urundeuva*) e catingueira (*Cenostigma pyramidalis*) utilizadas no experimento foram produzidas no setor de produção de mudas do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Campus Sousa, para atender à demanda do plantio. A área experimental, situada a uma altitude de 220 m, possui 2.400 m² e está localizada no Perímetro Irrigado de São Gonçalo (PISG), município de Sousa, Paraíba, conforme ilustrado na Figura 1.

**Figura 1.** Localiza da área de estudo. (PISG, 2021), Fonte: Google Earth®.

A evaporação supera a precipitação em quase três vezes, evidenciando o déficit hídrico característico do clima semiárido. Em 2023, a precipitação registrada em Sousa/São Gonçalo foi de 713,8 mm, valor inferior à média histórica (Figura 2).

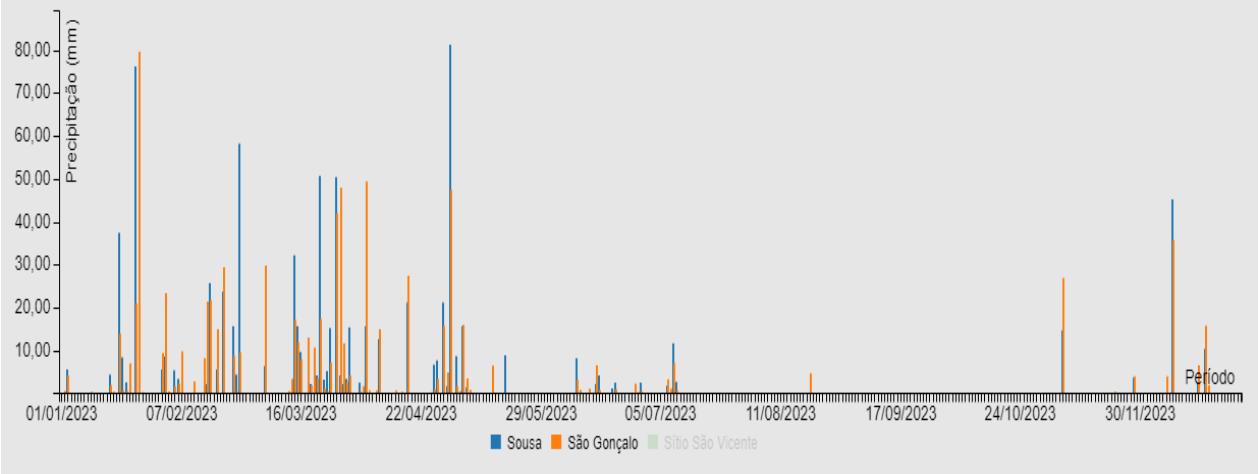



**Figura 2**. Média mensal de Chuvas em Sousa, 2023

*Fonte: http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/meteorologia-chuvas-grafico/?id_municipio=210&date_chart=2024-01-05&period=week. Acesso dezembro de 2023*

As temperaturas também atingiram recordes históricos em outubro de 2023, com máxima de 38° C e mínima noturna de 23° C, valores significativamente superiores às médias históricas, conforme ilustrado na Figura 3.

**Figura 3.** Médias das temperaturas máximas e mínimas em Sousa**,** *2023.Fonte:https://pt.weatherspark.com/y/31096/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Sousa-Brasil-durante-o-ano#Figures-Temperature. Acesso dez. 2023*

## 3.2 Delineamento experimental

O delineamento utilizado foi inteiramente casualizados, (DIC) subdivididas no tempo com três tratamentos e cinco repetições. Os tratamentos foram plantio de mudas de aroeira (*Myracrodruon urundeuva*); plantio de mudas de catingueira (*Cenostigma pyramidale*) e o solo sem cultivo (solo sem manejo), servindo como testemunha. Foram plantados 48 mudas de cada espécies em DIC, utilizando 20 plantas em cada faixa como parcela úteis, desprezando as plantas da bordadura, para coletas do solo entre as plantas. As plantas foram plantadas no espaçamento de 3 m x 3 m em covas de 0,30 m x 0,30 m.

## 3.3 Preparo das covas, plantio e irrigação de manutenção das mudas

Após 60 dias no viveiro de mudas, as plantas foram transportadas para o campo para o transplante. As covas foram preparadas com dimensões de 0,30 x 0,30 m e o espaçamento entre plantas de 3,0 x 3,0 m. As plantas foram irrigadas frequentemente, principalmente em período de estiagem estabelecendo nas condições de campo e atendendo suas necessidades hídricas e, ao mesmo tempo, reduzir o estresse salino.

O sistema de irrigação de manutenção consistia em uma motobomba de 1 cv, mangueiras de 18 mm com gotejadores de vazão de 40 L/h. Amostras de solo foram coletadas em duas épocas do ano (período chuvoso e período de estiagem) durante dois anos, a uma distância de 0,50 m das plantas em cada tratamento. As amostras foram, então, levadas ao laboratório de análises de Solos, Água e Plantas do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Campus Sousa para análises

Os resultados iniciais das análises de solo indicaram que são solos bastante degradados, caracterizados por altos teores de sódio trocável e uma elevada porcentagem de

saturação por sódio (PST), considerada prejudicial para a maioria dos cultivos. Além disso, o pH muito alto do solo interfere nos processos bioquímicos das plantas, comprometendo seu desenvolvimento.

### 3.4 Diagnóstico dos atributos químicos e fertilidade do solo

Para a avaliação dos atributos químicos e da fertilidade do solo na profundidade de 0-20 cm, foram coletadas oito amostras simples para compor uma amostra composta, sendo quatro amostras coletadas em linha entre as plantas e quatro em cada lado da parcela útil da parcela. As amostras foram secas ao ar, peneiradas em peneira de malha de 2 mm e analisadas no Laboratório de Solo, Água e Plantas do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Campus Sousa, Paraíba.

Os parâmetros químicos avaliados foram: pH, $Ca^{2+}$, $Mg^{2+}$, $K^{+}$, $Na^{+}$, $H^{+}+Al^{3+}$ e saturação por sódio (PST), de acordo com Teixeira (2017). Com os resultados das análises, foram calculadas a relação de adsorção de sódio (RAS) e a percentagem de sódio trocável (PST), conforme USSL (1954). Para a caracterização química do solo 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 KCl e Mehlich 1 mol $L^{-1}$ a pH 7,0, sendo $Na^{+}$ e $K^{+}$ dosados por fotometria de chama, e $Ca^{2+}$ e $Mg^{2+}$ por titulação (Teixeira, 2017).

Realizada a caracterização química da fertilidade inicial do solo e os resultados estão apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1.** Caracterização Química do solo em área experimental, a uma profundidade de 0 a 20 cm. Sousa, PB, (Brasil), 2024

**Atributos químicos e fertilidade do solo**

| pH | P | $K^{+}$ | $Na^{+}$ | $Ca^{+2}$ | $Mg^{+2}$ | $Al^{+3}$ | $H^{+}+Al^{+3}$ | SB | t | V | m | PST |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $H_2O$ | | mg $dm^{-3}$ | ---------- | ---------- | cmolc | $dm^{-3}$ | ---------- | | | | % | % |
| 10,3 | 15 | 0,16 | 8,4 | 0,60 | 0,30 | 0,0 | 0,0 | 9,5 | 9,5 | 100 | 0 | 89 |

P: fósforo, $K^{+}$: potássio, $Na^{+}$: sódio, $Ca^{2+}$: cálcio, $Mg^{2+}$: magnésio, Al: alumínio, H + Al: hidrogênio+ alumínio, t: capacidade efetiva de troca catiônica, V: saturação por bases, m: saturação de alumínio, PST: porcentagem de sódio trocável

### 3.5 Atributos de Salinidade

Realizadas as análises de salinidade inicial do solo, sendo o pH na pasta saturada (pH), a condutividade elétrica do extrato de saturação (CE) e os sais solúveis, após a extração no extrator de Richards. No extrato de saturação, foram realizados o pH, a condutividade elétrica (CE) e os sais solúveis, após extração no extrator de Richards, os resultados estão apresentados na Tabela 2.



3

Para a 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; determinando-se, também, os cátions solúveis: $Ca^{2+}$ e $Mg^{2+}$ por titulação; $Na^{+}$ e $K^{+}$ por fotometria de emissão de chama; e o ânion $Cl^{-}$, $CO^{2-}$ e $HCO_3$ - por titulação, Tabela 2.

**Tabela 2**. Caracterização da Salinidade do Solo no extrato de saturação, a uma profundidade de 0 a 20 cm. Sousa, PB, (Brasil), 2024

| **Atributos de Salinidade** | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **CEdSm$^{-1}$** | **pHps** | **$K^{+}$** | **$Na^{+}$** | **$Ca^{+2}$** | **$Mg^{+2}$** | **$SO_4^{2-}$** | **$CO3^{2-}$** | **HCO3-** | **$Cl^{-}$** | **$RAS_{ajustada}$** | **PST %** |
| 11,04 | 11,0 | 0,10 | 89,1 | 2,5 | 2,5 | 2,57 | 19,0 | 22,5 | 100,0 | 59,7 | 87,7 |
| ..... $mmol_c\ L^{-1}$ ..... | | | | | | | | | | | |

CE: condutividade elétrica no extrato de saturação, pH: pasta Potencial Hidrogeniônico na pasta saturada, $K^{+}$: potássio solúvel, $Na^{+}$: sódio solúvel, $Ca^{2+}$: cálcio solúvel, $Mg^{2+}$: magnésio solúvel, $SO_4^{2-}$: sulfato, $CO_2^{-2}$: carbonatos, $HCO_3$-: bicarbonatos, $Cl^{-}$: cloretos, RAS ajustada: Relação de Adsorção de Sódio, PST: porcentagem de Sódio Trocável.

A caracterização do solo quanto ao grau de salinidade revelou-se que o solo pode ser classificado como solo salino-sódico, de acordo com a classificação da USSL (1954). Isso se deve à condutividade elétrica (CE) superior a 4,0 dS/m, à porcentagem de sódio trocável (PST) superior a 15 e ao pH superior a 8,5. A condutividade elétrica mede a capacidade do solo de conduzir uma corrente elétrica, que está diretamente relacionada à concentração de sais solúveis presentes no solo. Valores de CE superiores a 4,0 dS/m indicam um alto teor de sais, o que pode afetar negativamente o crescimento das plantas devido ao aumento da pressão osmótica, dificultando a absorção de água pelas raízes.

Um solo que apresenta uma porcentagem de sódio trocável (PST) de 87,7 causa diversos impactos negativos tanto no solo quanto nas plantas. A PST representa a porcentagem da Capacidade de Troca Catiônica (CTC) ocupada pelo sódio ($Na^{+}$). Quando a PST é elevada, o sódio substitui outros cátions, como cálcio ($Ca^{2+}$) e magnésio ($Mg^{2+}$), no complexo de troca da estrutura do solo. Isso leva à dispersão das partículas de argila e à degradação da estrutura do solo, resultando em baixa permeabilidade e problemas de drenagem.

Além disso, o pH do solo foi de 11,0. Um pH tão elevado indica uma alcalinidade excessiva, geralmente causada pela presença de bicarbonatos e carbonatos de sódio. Esse alto pH pode resultar em deficiências de nutrientes essenciais e toxicidades de outros elementos, impactando negativamente a disponibilidade de nutrientes para as plantas (Richards, 1954).

Análise inicial dos atributos física do solo, destacamos na Tabela 3. Na granulometria

refere-se à distribuição do tamanho das partículas do solo, categorizadas em Areia (2,0 a 0,05 mm), Silte (0,05 a 0,002 mm) e Argila (<0,002 mm). É importante por influenciar na textura, porosidade, permeabilidade, capacidade de retenção de água e aeração do solo. Solos arenosos têm alta permeabilidade e baixa capacidade de retenção de água, enquanto solos argilosos possuem alta capacidade de retenção de água e baixa permeabilidade. White, R.E. (2006).

### 3.5 Atributos físico do solo

Os atributos físicos do solo foram avaliados por meio de cálculos que determinaram a densidade, a porosidade total, o grau de floculação e a umidade. Além disso, a análise granulométrica permitiu a classificação textural do solo, conforme apresentado na Tabela 3.

Esses parâmetros são essenciais para compreender as condições físicas do solo, que influenciam diretamente sua capacidade de retenção de água, aeração e o desenvolvimento radicular, Tabela 3.

**Tabela 3.** Caracterização dos atributos físicos do solo, a uma profundidade de 0 a 20 cm. Sousa, PB, (Brasil), 2024

**Atributos físicos do solo**

| **Granulometria** | | | **Dens. Solo g/cm$^3$** | **Dens. Real** | **Porosidade Total** | **Umidade MPa** | | | **Grau de Floculação** | **Classe Textural** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Areia | Silte | Argila | | **g/cm$^3$** | **m$^3$m$^3$** | 0,01 | 0,033 | 1,5 | | |
| | | | | | | ..... g Kg$^{-1}$ ..... | | | | |
| 776 | 1,61 | 63 | 161 | 63 | 0,49 | 185 | 147 | 80 | 190 | Areia Franca |

Granulometria: Argila e Silte pelo densímetro de Boyouccos, Areia por peneiramento; Densidade aparente: método do anel volumétrico; Densidade real: método do balão com etanol; Umidade: Estimativa com base na classe textural.

A baixa umidade do solo compromete a disponibilidade de água para as plantas, reduz a atividade microbiana e interfere nos processos químicos que ocorrem no solo. O grau de floculação, que corresponde à agregação das partículas de argila em flocos ou agregados, desempenha um papel crucial na estrutura do solo. Esse atributo influencia diretamente propriedades como porosidade, aeração, permeabilidade e resistência à erosão. A floculação é favorecida pela presença de cátions como cálcio e magnésio, enquanto é prejudicada pelo sódio, conforme destacado por Teixeira, et al. (2017).

### 3.6 Médias das alturas e do diâmetro do caule das plantas ao longo de dois anos de avaliação

A avaliação biométrica das plantas foi realizada em duas plantas por parcela, considerando a altura e o diâmetro do caule ao longo de um período de dois anos, conforme os dados apresentados na Tabela 4.

**Tabela 4.** Valores médios da biometria das plantas nativas (altura e diâmetro de caule) em áreas degradadas por sais. Perímetro Irrigado de São Gonçalo. Sousa, PB, (Brasil), 2024

| | **Períodos (anos)** | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Tratamentos** | 2022 (chuvoso) | 2023(estiagem) | 2022 (chuvoso) | 2023(estiagem) |
| | **Altura da planta (m)** | | **Diâmetro do caule (mm)** | |
| **Aroeira** | 0,85 | 1,72 | 12,64 | 26,65 |
| **Catingueira** | 0,83 | 1,07 | 9,40 | 12,25 |

Fonte: Autor (2024)

As espécies foram plantadas no espaçamento de 3 m x 3 m, totalizando 48 plantas por parcela para cada espécie, aroeira (*Myracrodruon urundeuva*), Figura 4 e catingueira (*Cenostigma pyramidale*), Figura 5. O plantio foi realizado em linhas, nas parcela úteis, foram avaliados os atributos do solo entre as plantas, associados a 20 plantas em cada linha de cada espécies com cinco repetições.

O crescimento das plantas foi monitorado ao longo de dois anos, utilizando fita métrica e paquímetro medindo dados biométricos, incluindo a altura das plantas e o diâmetro do caule, conforme ilustrado nas Figuras 4 e 5.

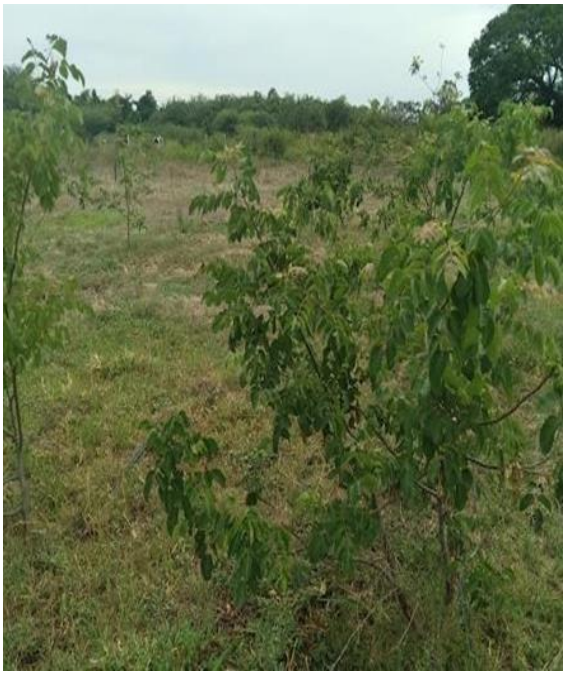


**Figura 4** Aroeira (Myracrodruon urundeuva). Sousa, Brasil. Fonte: autor (2024).

**Figura 5.** Catingueira (Cenostigma pyramidale). Sousa, Brasil. Fonte: autor (2024)

O manejo das plantas foi realizado de forma contínua, incluindo práticas como roço e coroamento das mudas, além da irrigação de manutenção das plantas em campo. Essas intervenções tiveram como objetivo promover o estabelecimento e o crescimento do sistema radicular, bem como o desenvolvimento saudável das plantas. O manejo é fundamental para

acelerar o processo de recuperação do solo, uma vez que as plantas desempenham um papel crucial na melhoria da estrutura, na redução da salinidade e no incremento da matéria orgânica, favorecendo a recuperação das propriedades químicas, físicas e biológicas do solo.

### 3.7 Croqui da área de plantio das mudas

O croqui da área de cultivo está representado abaixo. O plantio de aroeira (Myracrodruon urundeuva) e catingueira (Cenostigma pyramidale) foi realizado em delineamento inteiramente casualizado, com espaçamento de 3 m x 3 m, totalizando 48 plantas por faixa. A avaliação do solo foi conduzida em 20 plantas dentro da parcela útil, com cinco repetições, sendo os dados coletados e analisados ao longo de dois anos, conforme ilustrado nas Figuras 6 e 7.

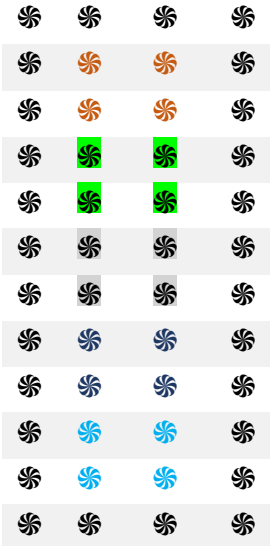


**Figura 6.** Plantio de aroeira

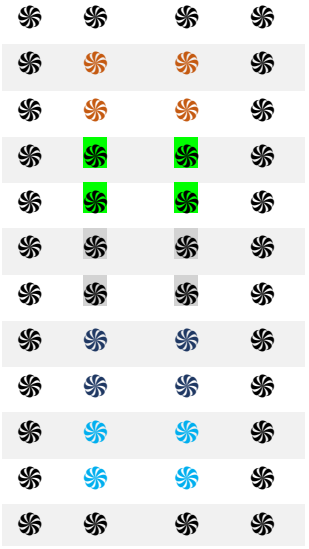


**Figura 7.** Plantio de catingueira

### 3.8 Análise Estatística

A análise estatística foi realizada utilizando o RStudio, versão R 4.3.2.

1. As variáveis avaliadas foram submetidas à análise da variância a um modelo de parcelas subdivididas no tempo.
2. As médias obtidas foram submetidas ao teste de Tukey a 5% de probabilidade, comparando-se os tratamentos e seus efeitos na melhoria das propriedades dos solos.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aroeira (*Myracrodruon urundeuva*) e a catingueira (*Cenostigma pyramidalis*) demonstraram eficiências na redução da Condutividade Elétrica do solo em comparação com a testemunha (solo sem cultivo), diferenciando-se estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância, (Figura 8). Embora a *Myracrodruon urundeuva* e a *Cenostigma pyramidalis* não sejam hiperacumuladoras de sais, elas contribuem para a remediação da salinidade do solo através de processos indiretos, como os descritos anteriormente. As plantas nativas da Caatinga, aroeira e catingueira, demonstraram uma redução na Condutividade Elétrica do solo em comparação com a testemunha (solo sem cultivo e sem manejo), conforme ilustrado na Figura 8.

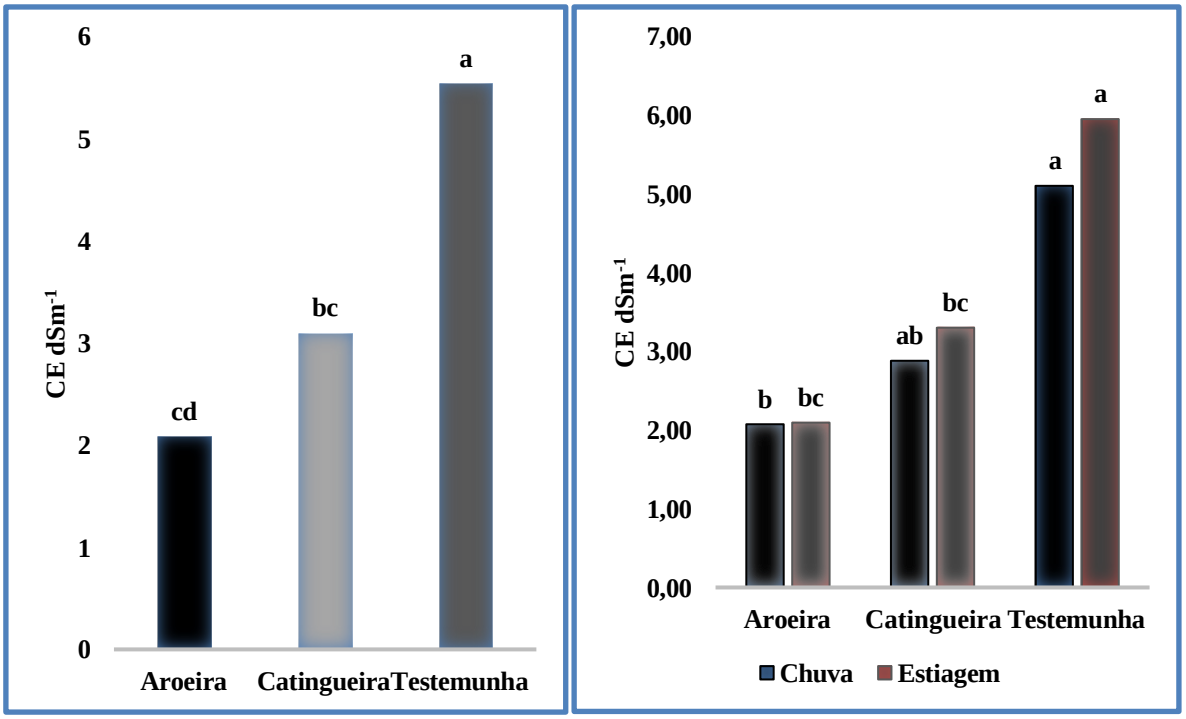



**Figura 8**. Representa efeitos das plantas na redução da condutividade elétrica do solo em função dos tratamentos. Sousa, PB, (Brasil), 2024. CV: 72,49%

A salinização do solo pode ocorrer tanto naturalmente, quanto de forma antrópica. O processo de salinização natural é influenciado pela baixa precipitação pluvial, alta evapotranspiração e presença de camadas impermeáveis (Melo; Alleoni, 2009).

A elevada taxa de natalidade e a consequente demanda por maior produção de alimentos têm contribuído para a expansão de áreas de solos degradados por salinidade e sodicidade. Este fenômeno é resultado do uso inadequado da terra e do manejo inadequado da irrigação e do solo (Ribeiro et al., 2003).

Tais condições são comuns no semiárido nordestino, tanto a *Myracrodruon urundeuva,* quanto a *Cenostigma pyramidalis* possuem sistemas radiculares profundos que melhoram a estrutura do solo, aumentando a infiltração e percolação da água. Este mecanismo facilita a lixiviação dos sais presentes na camada superficial do solo, reduzindo a salinidade e, consequentemente, a condutividade elétrica.

Embora a *Myracrodruon urundeuva* não seja uma leguminosa, a *Cenostigma pyramidalis*, como leguminosa, fixa nitrogênio atmosférico, aumentando a fertilidade e melhorando a estrutura do solo. Uma estrutura de solo melhorada promove a lixiviação de sais e reduz a Condutividade Elétrica do solo. O crescimento vigoroso dessas plantas aumenta a produção de biomassa, que, ao se decompor, libera nutrientes que estimulam a atividade biológica do solo. A atividade biológica aumenta a porosidade do solo, melhorando a lixiviação de sais e diminuindo a condutividade elétrica.

O manejo adotado no cultivo de *Myracrodruon urundeuva* e a *Cenostigma pyramidalis* contribuíram na redução da condutividade elétrica do solo principalmente através da melhoria da estrutura do solo, aumento da matéria orgânica e promoção da lixiviação de sais, importante na redução da salinidade, promovendo a recuperação de áreas degradadas.

A aroeira (*Myracrodruon urundeuva*) e a catingueira (*Cenostigma pyramidalis*) influenciaram positivamente a qualidade dos solos salino-sódicos, especialmente em relação ao potencial hidrogeniônico (pH). O pH é um fator crucial para a disponibilidade de nutrientes para as plantas e a saúde geral do solo. O manejo e o cultivo da *Myracrodruon urundeuva* e *Cenostigma pyramidalis* resultaram na redução do pH do solo em comparação com o solo sem cultivo, com variações mínimas nas épocas avaliadas, Figura 9.

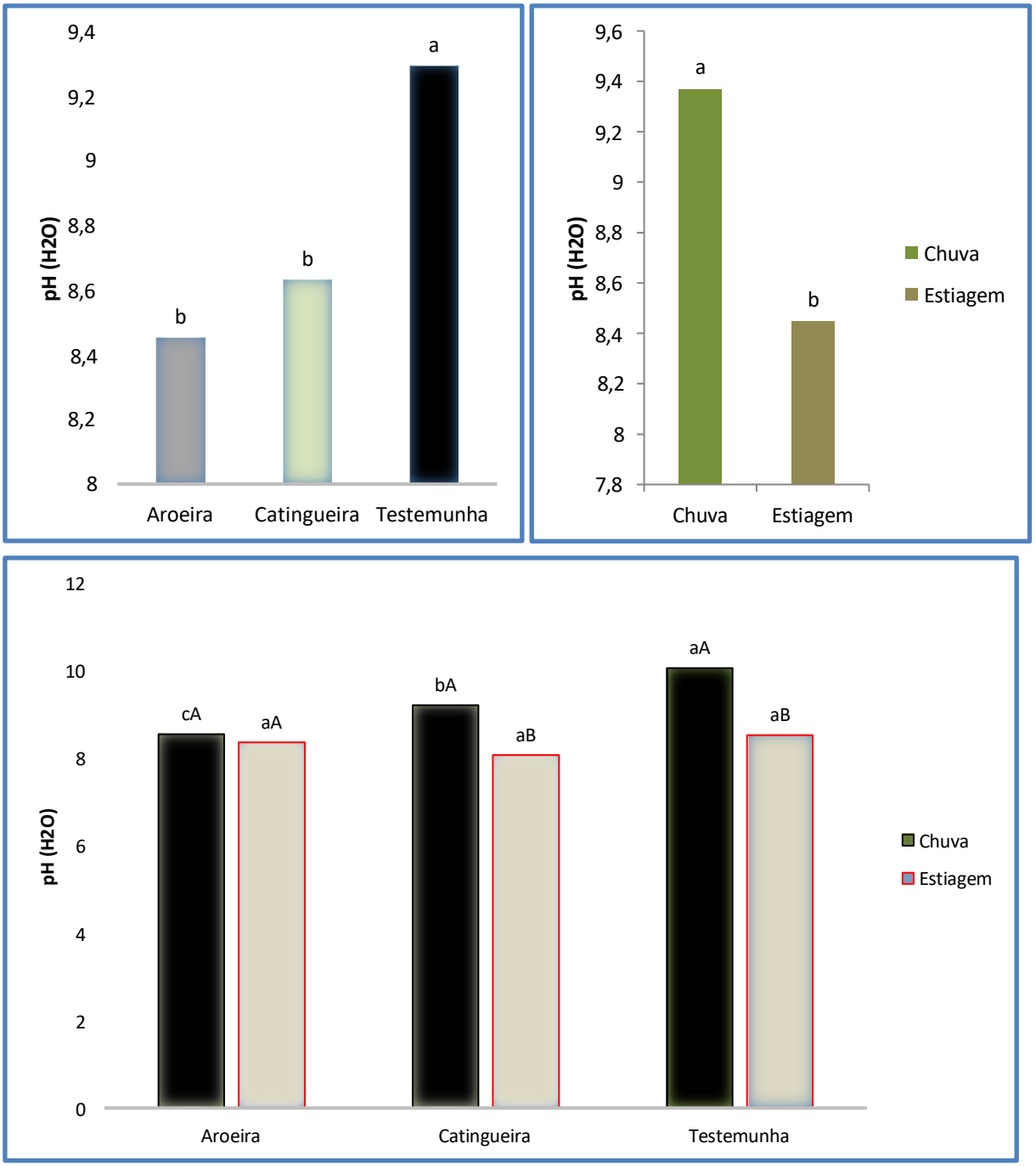



**Figura 9.** Efeitos dos tratamentos na redução do pH em $H_2O$ do solo em função dos tratamentos. Sousa, PB, (Brasil), 2024. CV: 9,10%

A influência da *Myracrodruon urundeuva* em solos salino-sódicos está relacionada acúmulo de matéria orgânica proveniente da decomposição dos restos vegetais dessas plantas, que favoreceu uma ligeira redução do pH do solo. Isso se deve à mineralização da matéria orgânica e à liberação de ácidos orgânicos durante a decomposição, que podem neutralizar parcialmente a alcalinidade do solo. O uso da distribuição relativa das frações de matéria orgânica, como indicador da mudança de manejo do solo ou da qualidade do ambiente, encontra respaldo nos trabalhos de Kononova (1982), Schnitzer; Khan (1978) e Schnitzer (1991).

O cultivo da *Cenostigma pyramidalis* também contribuiu para a redução do pH do solo após a incorporação de resíduos vegetais de *Cenostigma* pyramidalis. Os ácidos orgânicos liberados durante a decomposição da matéria orgânica foram provavelmente os responsáveis por essa redução, tornando o solo menos alcalino. Os ácidos húmicos são, portanto, um marcador natural do processo de humificação e refletem, como tal, tanto a condição de gênese, como de manejo do solo.

Os ácidos húmicos ($C_{AH}$) e ácidos fúlvicos ($C_{AF}$)Solos de ambientes temperados, naturalmente férteis, apresentam teores relativos maiores de ácidos húmicos e valores da relação $C_{AH}/C_{AF}$ maiores que 1,0 (Kononova, 1982). Já a fração orgânica dos solos tropicais é dominada pelas huminas e, tanto a intensa mineralização dos resíduos, como as restrições edáficas à atividade biológica, tornam os valores da relação $C_{AH}/C_{AF}$ menores do que 1,0 (Dabin, 1981; Ortega, 1982; Canellas et al., 2000).

Os ácidos húmicos são compostos orgânicos complexos que resultam da decomposição e transformação da matéria orgânica no solo, sendo um indicador natural do processo de humificação. Eles refletem tanto as condições de formação (gênese) do solo quanto as práticas de manejo aplicadas. Em solos de ambientes temperados, que são naturalmente férteis, os teores de ácidos húmicos são relativamente altos. Nesses solos, a relação entre ácidos húmicos ($C_{AH}$) e ácidos fúlvicos ($C_{AF}$) geralmente é maior que 1,0. Isso significa que há uma maior proporção de ácidos húmicos em relação aos ácidos fúlvicos, indicando um processo de humificação avançado e estável. Solos com essa característica tendem a ter boa estrutura, alta fertilidade e capacidade de retenção de nutrientes.

Portanto, os ácidos húmicos e a relação $C_{AH}/C_{AF}$ são indicadores importantes da qualidade do solo, refletindo as condições ambientais e as práticas de manejo que influenciam a humificação da matéria orgânica. Solos temperados com $C_{AH}/C_{AF} > 1,0$ tendem a ser mais férteis e bem estruturados, enquanto solos tropicais com $C_{AH}/C_{AF} < 1,0$ indicam rápida decomposição da matéria orgânica e possíveis limitações na fertilidade e capacidade de retenção de nutrientes. Além disso, a biomassa de *Myracrodruon urundeuva* e *Cenostigma pyramidalis* acumula matéria orgânica ao solo, cuja decomposição libera ácidos orgânicos que podem reduzir o pH do solo. Além disso, as raízes dessas plantas liberam exsudatos contendo compostos ácidos, contribuindo para a acidificação local do solo.

A melhoria na estrutura do solo, promovida pela adição de matéria orgânica, aumenta a capacidade de infiltração de água e promove reações químicas que podem resultar na redução do pH. Essa alteração na química do solo contribui para a disponibilidade de nutrientes e a

saúde geral do solo, beneficiando as plantas cultivadas em ambientes desafiadores.

Em relação ao pH na pasta de saturação, também houve redução em função dos tratamentos, o manejo adotado pode ter contribuído para a redução do pH na pasta saturada em comparação com o solo sem cultivo. As plantas nativas da Caatinga mostraram-se eficientes na redução do pH da pasta saturada, conforme ilustrado na Figura 10.

O acúmulo de matéria orgânica melhora a estrutura do solo, facilitando a infiltração de água e promovendo reações químicas que resultam na redução do pH da pasta saturada. A Aroeira e a Catingueira demonstraram-se eficazes na redução do pH da pasta saturada em solos salino-sódicos em comparação ao solo sem cultivo, Figura 10.

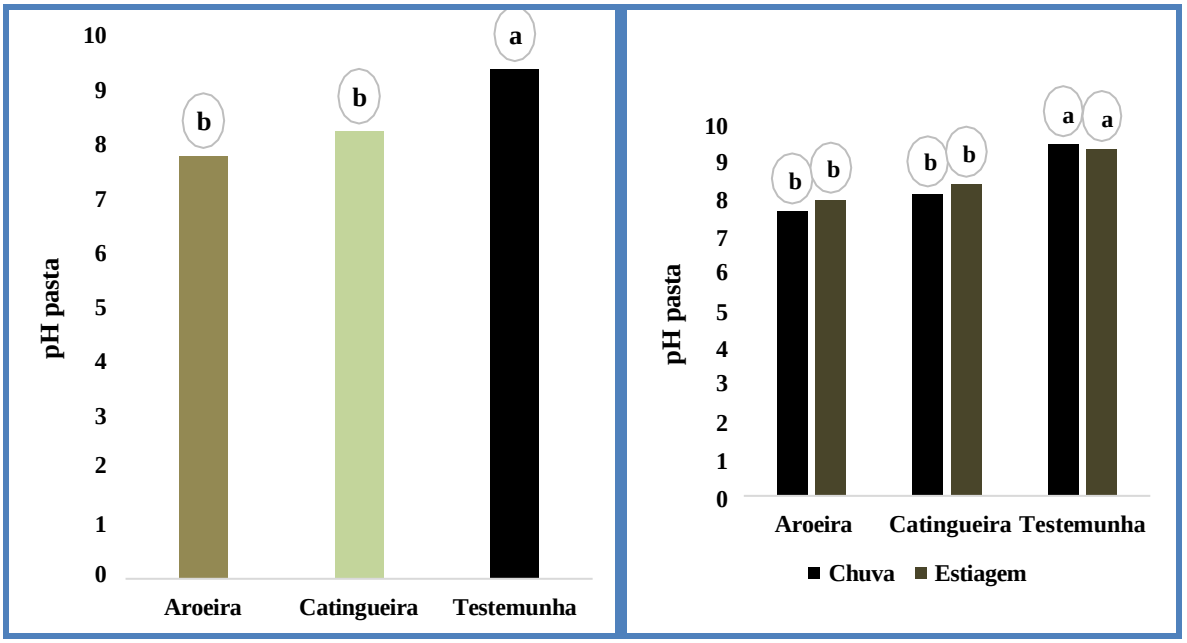



**Figura 10**. Efeitos dos tratamentos na redução do pH da pasta do solo em função dos tratamentos Sousa, PB, (Brasil), 2024. CV: 10,80 %

A Aroeira (*Myracrodruon urundeuva*) e a Catingueira (*Cenostigma pyramidalis*), diferenciaram estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% da testemunha (solo sem cultivo), demonstrando a eficiência dessas plantas e do manejo adotado na recuperação de solos com problemas de sais, (**Figura 10**). São plantas adaptadas às condições áridas e semiáridas, têm demonstrado potencial significativo na melhoria das propriedades químicas dos solos salino-sódicos. Um aspecto crucial da qualidade do solo é o pH da pasta saturada, que afeta diretamente a disponibilidade de nutrientes e a atividade microbiana.

As análises de pH em pasta saturada e de condutividade elétrica em extrato de saturação requerem o preparo prévio de uma pasta saturada de solo. Inicialmente, determina-se o pH da pasta saturada (pH). Em seguida, essa pasta é submetida à filtração a vácuo, obtendo-

se o extrato de saturação, no qual se mede a condutividade elétrica (CE) (Richards et al., 1954).

A planta auxilia na condução da água e infiltração no perfil do solo, através do sistema radicular da planta, dissolvendo cátions solúveis e liberando $H^+$. A decomposição da biomassa da Aroeira liberou ácidos orgânicos no solo, neutralizando a alcalinidade e diminuindo o pH da pasta saturada. Estudos de Gheyi et al. (1995), Cavalcante et al. (2002), Gheyi et al. (2008) e Miranda et al. (2011) confirmam que tratamentos com gesso e fontes orgânicas em solos salino-sódicos resultam em redução do pH.

A mesma contribuição na redução do pH foi observada com a incorporação de matéria orgânica de *Cenostigma* pyramidalis. Os ácidos orgânicos liberados durante a decomposição da matéria orgânica foram provavelmente os principais responsáveis por essa redução. Valores baixos de pH (<5,5) podem diminuir a decomposição da matéria orgânica, aumentando o alumínio trocável e a solubilidade dos compostos de ferro e alumínio (Ernani, 2008).

As plantas não diferiram estatisticamente pelo teste de Tukey, indicando que a decomposição da matéria orgânica dessas plantas libera ácidos orgânicos que neutralizam a alcalinidade, reduzindo o pH e melhorando as condições químicas do solo. Essa redução no pH pode aumentar a disponibilidade de nutrientes e melhorar a saúde geral do solo, beneficiando o crescimento das plantas em ambientes adversos.

As práticas de manejo visando à sustentabilidade dos perímetros irrigados e à eficiência das técnicas de recuperação dos solos salinos, salino-sódicos e sódicos estão associadas ao conhecimento da origem e evolução do problema, bem como à execução de programas de obtenção e prospecção de variedades culturais mais resistentes à salinidade (Melo et al., 2008; Fernandes et al., 2010; Sá et al., 2013). Vários trabalhos já foram realizados no Brasil, com o intuito de comparar o efeito dos resíduos de várias plantas no pH do solo e na disponibilidade de Ca, Mg e K, bem como na complexação do Al (Franchini et al., 1999; 2003; Amaral et al., 2004).

O cultivo de plantas como aroeira e catingueira mostrou-se eficaz na redução do pH de solos salino-sódicos em comparação à testemunha. Este efeito é crucial para a recuperação de áreas degradadas e a melhoria da fertilidade do solo, tornando-o mais adequado para o cultivo agrícola. A adoção de práticas de cultivo com plantas adaptadas ao ambiente salino-sódico pode ser uma estratégia sustentável para a recuperação e a manutenção da saúde do solo.

Em relação ao fósforo não houve diferença entre os cultivos nos tratamentos com aroeira (*myracrodruon urundeuva*) e a catingueira (*Cenostigma pyramidalis*) e a testemunha na formação de fósforo do solo, apesar desse fósforo não está disponível em

função do pH.

Em relação ao sódio trocável do solo, a aroeira (*Myracrodruon urundeuva*) e a catingueira (*Cenostigma pyramidalis*) foram eficazes na redução do sódio trocáveis do solo, diferenciando estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, Figura 11.

A *Cenostigma pyramidalis* também demonstrou eficácia na redução do sódio trocável em solos salino-sódicos. O estudo destacou que a matéria orgânica proveniente da decomposição da biomassa da catingueira melhora a estrutura do solo e promove a lixiviação de sódio. A catingueira apresentou uma redução significativa nos níveis de sódio trocável no solo. Este efeito foi atribuído à melhoria da estrutura do solo e à atividade biológica aumentada pela presença de matéria orgânica, Figura 11.

As raízes dessas plantas liberam exsudatos que ajudam na descompactação do solo, melhorando a infiltração de água e a lixiviação de sódio. Além disso, a ciclagem de nutrientes promovida pela decomposição da biomassa dessas plantas aumenta a presença de cátions competidores (como cálcio e magnésio), que podem substituir o sódio nos complexos de troca do solo. Não houve diferenças significativas entre as plantas na redução do sódio, porém, a Catingueira foi a planta que mais reduziu os teores de sódio no solo, apresentando menor redução no período de estiagem, Figura 11.

Não houve diferença significativa nas épocas estudadas em relação ao sódio nos trocáveis do solo.

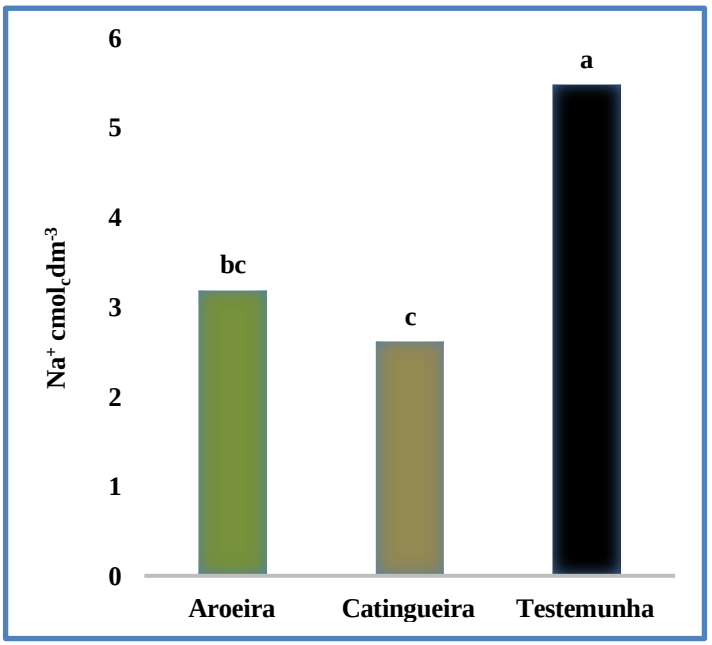



**Figura 11.** Efeitos dos tratamentos na redução de sódio trocável do solo em função dos tratamentos. Sousa, PB, (Brasil), 2024. CV: 72,80%

Muitos dos problemas relacionados com excesso de sais e sódio trocável são inerentes ao solo no estado virgem. Outros, entretanto, aparecem após a irrigação. Nas áreas irrigadas, é comum o surgimento de salinidade devido à água de irrigação com altas concentrações de sais ou a práticas de manejo inadequadas que não visam a conservação da capacidade produtiva dos solos.

Exemplos dessas práticas incluem sistemas de drenagem ineficientes, quantidade inadequada de água e uso indiscriminado e excessivo de fertilizantes (Hayward & Wadleigh, 1949; Lyerly; Longenecker, 1962; McNeal, 1976). A acumulação de sais e sódio nos solos é um fenômeno observado sob condições de aridez. A alta taxa de evaporação e baixa precipitação, associadas às características do material de origem e às condições geomorfológicas e hidrológicas, condicionam a formação de solos com teores elevados de sais solúveis e sódio trocável (Whitemore, 1975). Com o aumento de sais na rizosfera, muitos processos nas plantas são afetados devido ao declínio do potencial de água do solo e até mesmo nas folhas (Lima et al., 2014).

A *Myracrodruon urundeuva*) e a *Cenostigma pyramidalis* desempenham papéis importantes na redução do sódio trocável em solos salino-sódicos. Essas espécies vegetais, características do bioma Caatinga, possuem estratégias naturais que melhoram as propriedades químicas do solo, contribuindo para a redução dos níveis de sódio e melhorando a sua fertilidade. Solos afetados por sais, também conhecidos como solos halomórficos ou solos salinos e sódicos, são desenvolvidos em condições adversas de drenagem e caracterizados pela presença de sais solúveis, sódio trocável ou ambos, em horizontes ou camadas próximas à superfície (Ribeiro, 2010).

A *Myracrodruon urundeuva* e a *Cenostigma pyramidalis* desempenham papéis fundamentais na redução do sódio trocável em solos salino-sódicos. Através do acúmulo de matéria orgânica, melhoria da estrutura do solo e promoção da lixiviação de sódio, essas espécies ajudam a melhorar a qualidade do solo, tornando-o mais adequado para o cultivo agrícola e contribuindo para a sustentabilidade dos ecossistemas semiáridos.

Com relação ao sódio solúvel a aroeira (*Myracrodruon urundeuva*) e a catingueira (*Cenostigma pyramidalis*) foi importante e contribuiu significativamente na redução do sódio solúvel em solos salino-sódicos. Essas espécies vegetais, típicas da Caatinga, possuem características que ajudam a melhorar as condições químicas do solo, tornando-os mais adequados para o cultivo agrícola. O cultivo da Aroeira foi o que mais contribuiu para a redução do sódio solúvel do solo, Figura 12.

A ciclagem de nutrientes promovida por essas espécies pode melhorar a proporção de outros cátions no solo (como cálcio e magnésio), ajudando a substituir o sódio nos complexos de troca do solo. O estudo mostrou que possivelmente o acúmulo da matéria orgânica das plantas estudadas melhorou a estrutura do solo, aumentando a capacidade de infiltração de água e promovendo a lixiviação de sódio. A aroeira foi mais eficiente na redução dos teores de sódio no solo do que a Catingueira, em comparação com a testemunha (solo sem cultivo), conforme mostrado na Figura 12.

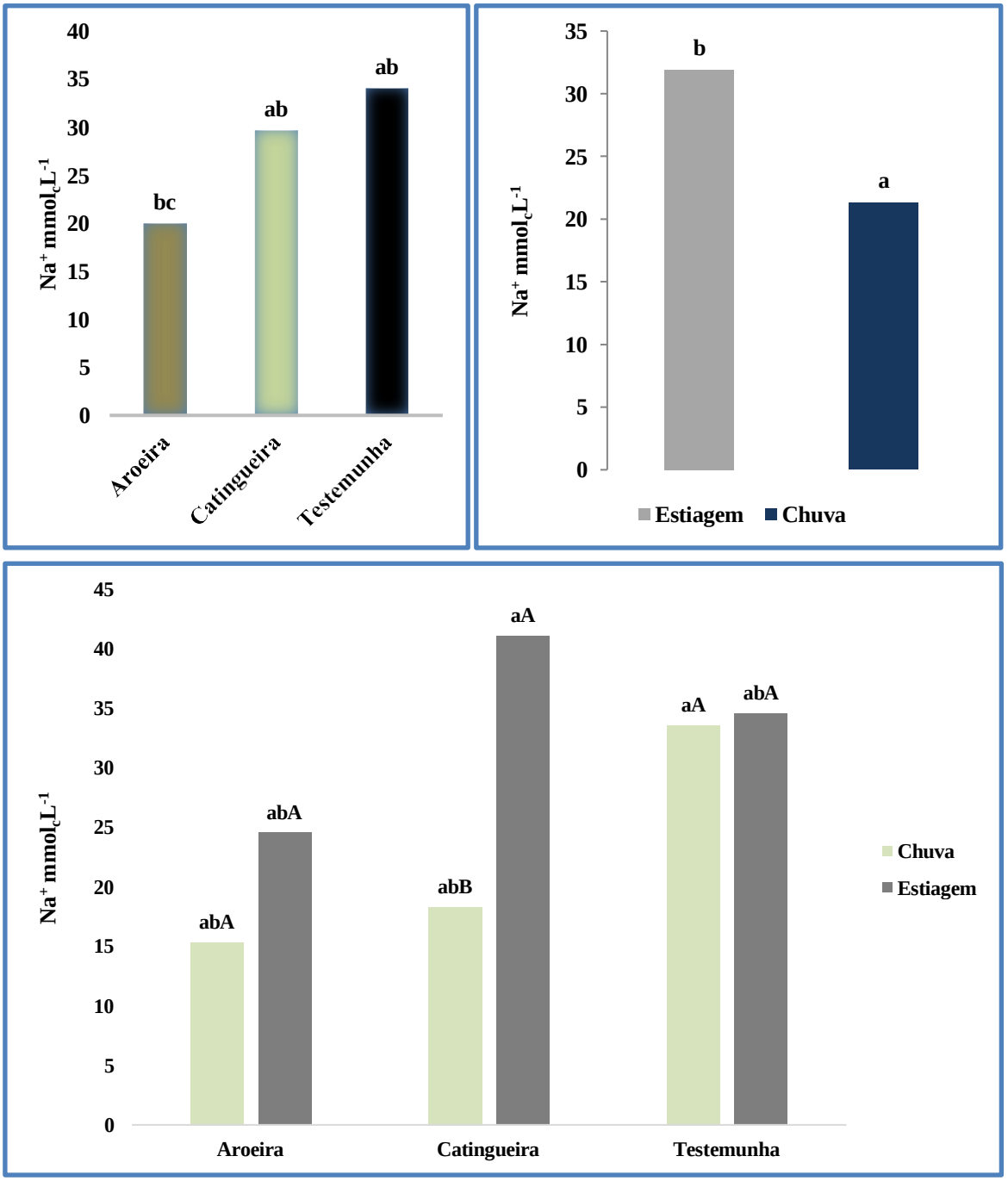



**Figura 12**. Efeitos dos tratamentos na redução de sódio solúvel do solo em função dos tratamentos. Sousa, PB, (Brasil), 2024. CV: 70,12%

Possivelmente a aroeira possui mecanismos que contribuem para a redução do sódio solúvel no solo, como a ciclagem de nutrientes e a melhoria da estrutura do solo. Estudos indicam que a presença da *Myracrodruon urundeuva* em solos salino-sódicos contribui para a redução dos níveis de sódio solúvel. Essa melhoria é atribuída à decomposição da serapilheira da Aroeira, que adiciona matéria orgânica ao solo e promove a lixiviação de sódio.

A salinidade reduz o crescimento e o desenvolvimento das plantas por efeito osmótico, ocasionando estresse hídrico devido a problemas de íons específicos que acarretam a diminuição do potencial de água no solo, restrição de absorção de água pelas raízes e efeito tóxico resultante da concentração de íons no protoplasma (Shannon, 1997; Tobe; Omasa, 2000; Oliveira et al., 2011).

Diversos trabalhos têm sido conduzidos para elucidar os efeitos causados pela salinidade em diversas culturas, Coelho et al. (2013) avaliaram os efeitos do estresse salino no solo e observaram redução na evapotranspiração e no potencial osmótico foliar do feijoeiro (*Vigna unguiculata* L. (Walp.)). Em feijão-de-corda, Abreu (2012) realizou análise fisiológica, bioquímica e proteômica de respostas ao estresse salino em diferentes cultivares, inferindo que a tolerância diferencial pode estar relacionada com a regulação dos níveis de proteínas envolvidas nos passos iniciais da fotossíntese. O manejo da aroeira e da catingueira demonstrou que essas plantas têm tolerância ao estresse salino e são capazes de reduzir os efeitos dos sais no crescimento e desenvolvimento da planta.

O acúmulo da matéria orgânica proveniente da decomposição das folhas e galhos da Aroeira e da Catingueira melhora a estrutura do solo e promove a lixiviação de sódio. Além disso, pode ocorrer exsudação radicular, onde as raízes dessas plantas liberam exsudatos que ajudam na descompactação do solo e na melhoria da infiltração de água, facilitando a remoção do sódio.

A *Myracrodruon urundeuva* e a *Cenostigma pyramidalis* desempenham papéis cruciais na redução do sódio solúvel em solos salino-sódicos. Por meio da adição de matéria orgânica, da melhoria da estrutura do solo e da promoção da lixiviação, essas espécies contribuem para a melhoria da qualidade do solo, tornando-o mais adequado para o cultivo e aumentando a sustentabilidade dos ecossistemas semiáridos.

Com relação ao potássio nos trocáveis, não houve diferenças significativas entre os tratamentos, pelo teste de Tukey ao nível de 5% entre os tratamentos. A disponibilidade de potássio foi maior no período de estiagem. O potássio nos trocáveis foi maior no período de estiagem, provavelmente nesse período ter menor conteúdo de água no perfil do solo e no

período chuvoso ser menor, por ter maior diluição dos sais presentes no solo e, consequentemente, a diluição do potássio é maior refletindo em menor quantidade presente no solo, Figura 13.

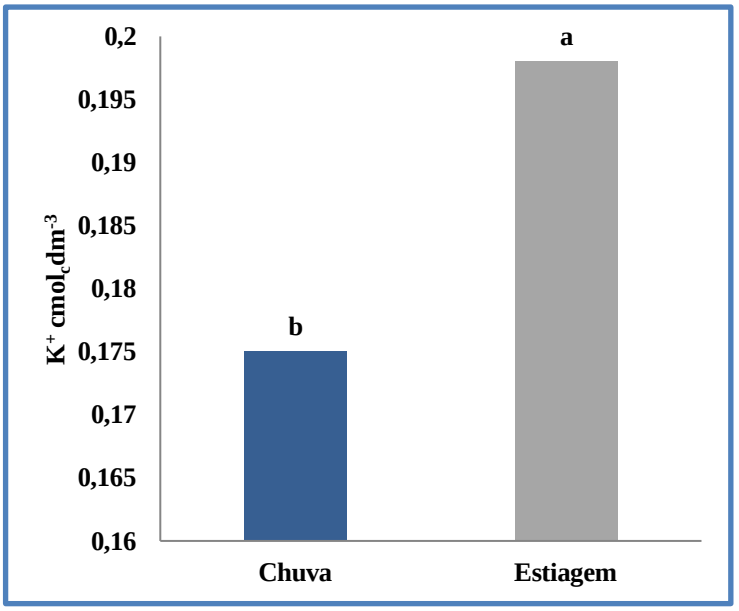



**Figura 13**. Efeitos dos tratamentos na formação de potássio trocável do solo em função das épocas. Sousa, PB, Brasil, (2024). CV: 31,33%

Nesse parâmetro, observamos que a aroeira (*Myracrodruon urundeuva*) e a catingueira (*Cenostigma pyramidalis*) contribuíram para a formação de potássio solúvel no solo, mesmo não havendo diferença significativa pelo teste de Tukey, em comparação com a testemunha Figura 14. Na interação entre as épocas estudadas, o período chuvoso obteve a maior formação de potássio solúvel, principalmente no plantio da aroeira, provavelmente ser uma planta que tenha maior desempenho nesse ambiente. No período de chuvas apresenta maior quantidade de potássio solúvel no solo, explica-se pelo fato de, em períodos de chuva, a quantidade de água na interface sólida ser maior, e, consequentemente, haver maior dissolução dos sais solúveis no solo Figura 14.

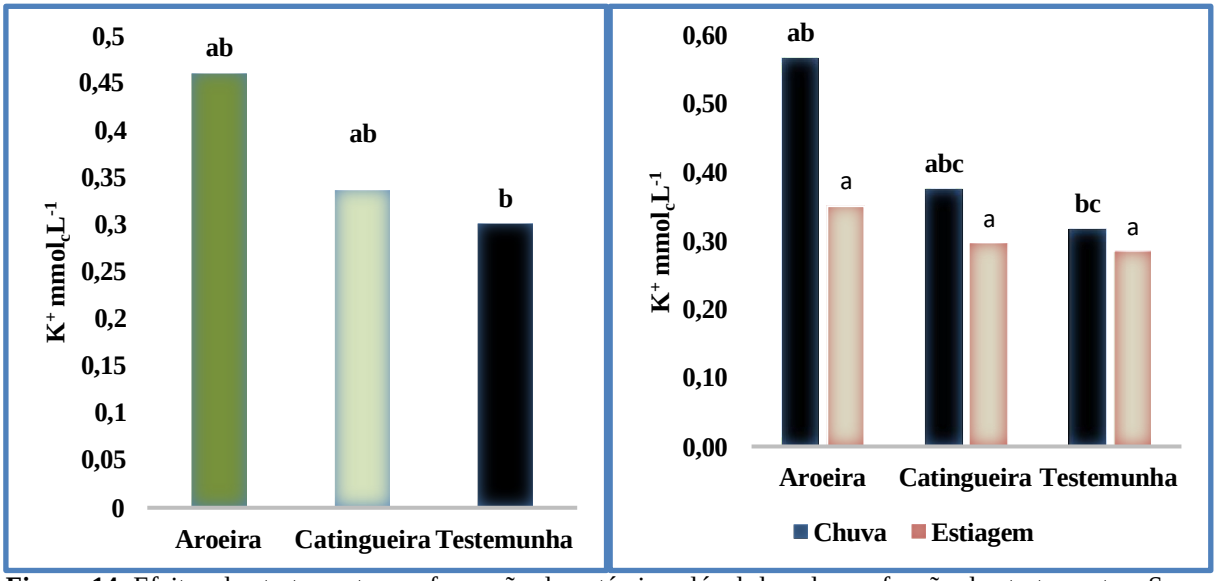



**Figura 14**. Efeitos dos tratamentos na formação de potássio solúvel do solo em função dos tratamentos. Sousa, PB, Brasil, (2024). CV: 75,36%

A salinização consiste na acumulação de sais solúveis em água no solo, incluindo os íons de potássio ($K^+$), magnésio ($Mg^{2+}$), cálcio ($Ca^{2+}$), cloreto ($Cl^-$), sulfato ($SO_4^{2-}$), carbonato ($CO_3^{2-}$), bicarbonato ($HCO_3^-$) e sódio ($Na^+$) (Abrol et al., 1988). Para o potássio, pode-se destacar que todas as espécies aumentaram a disponibilidade no solo em quantidades expressivas quando comparadas com a testemunha, apesar de não haver diferença significativa pelo teste de Tukey, figura 14.

No entanto, maior destaque ocorreu para a aroeira, que apresentou maior disponibilidade de K na profundidade estudada (0-20 cm), sem nenhuma aplicação de fertilizantes. Estudo de Franchini et al. (2001) mostrou que a aplicação de extratos de plantas incrementou o K disponível no solo até a camada de 15-20 cm, e que o efeito mais expressivo foi observado para a aveia preta, não diferindo do nabo forrageiro, resultados que corroboram os dados apresentados aqui.

A *Myracrodruon urundeuva* e a *Cenostigma pyramidalis* são espécies vegetais importantes no contexto do bioma Caatinga, especialmente em solos salino-sódicos. Esses solos são caracterizados por altos níveis de sais solúveis e sódio trocável, que podem impactar negativamente a fertilidade do solo e a produtividade das plantas.

Na dinâmica dos nutrientes no solo, incluindo o potássio solúvel, a *Myracrodruon urundeuva* e a *Cenostigma pyramidalis*, como plantas adaptadas às condições adversas da Caatinga, podem desempenhar um papel na melhoria das propriedades químicas do solo, incluindo a mobilização de potássio. A Aroeira tem um sistema radicular profundo que pode acessar nutrientes das camadas mais profundas do solo e trazê-los para a superfície. Segundo pesquisas, a presença de Myracrodruon urundeuva pode aumentar a disponibilidade de

nutrientes no solo devido à decomposição de sua serapilheira e à exsudação radicular.

O potássio participa de múltiplos processos fisiológicos, como a regulação osmótica, o equilíbrio iônico, a manutenção de água por meio do controle da abertura estomática, o alongamento e estabelecimento do turgor celular, a síntese de proteínas, carboidratos e ATP, o transporte de açúcares no floema, a resistência a doenças, bem como a geada, seca e salinidade, além de contribuir na ativação de inúmeras enzimas, muitas delas participantes dos processos de respiração e fotossíntese (Furlani, 2004; Meurer, 2006; Raven; Ever; Eichhorn, 2010; Taiz; Zeiger, 2013; Ermani et al., 2007; Malavolta, 1980).

A *Cenostigma pyramidalis* também contribui para a melhoria das condições do solo em ambientes salino-sódicos. Suas folhas ricas em nutrientes e a capacidade de fixação biológica de nitrogênio podem promover um ambiente mais favorável para a solubilização de potássio. Melo et al. (2016) relataram que a catingueira, ao ser usada em sistemas agroflorestais, melhorou a fertilidade do solo e a disponibilidade de potássio solúvel, possivelmente devido à sua ação na ciclagem de nutrientes e na melhoria da estrutura do solo.

Ambas as espécies, através da deposição de matéria orgânica e da atividade radicular, podem alterar a composição iônica do solo, promover a solubilização de potássio e outros nutrientes, e melhorar a estrutura do solo, facilitando a lixiviação de sais e reduzindo a salinidade e sodicidade.

A *Myracrodruon urundeuva* e a *Cenostigma pyramidalis* desempenham papéis cruciais na melhoria dos solos salino-sódicos, particularmente na formação e disponibilidade de potássio químico. A presença dessas espécies promove a ciclagem de nutrientes, melhora a estrutura do solo e aumenta a disponibilidade de potássio, contribuindo para a sustentabilidade dos ecossistemas semiáridos e a produtividade agrícola. Os resultados dos teores dos elementos analisados mostram que houve melhorias nos teores de potássio solúveis no solo em função dos tratamentos.

Com relação ao cálcio, observamos que a aroeira e a catingueira contribuíram na formação de cálcio no solo, diferenciando estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5%, em comparação com a testemunha, figura 15.

Provavelmente a *Cenostigma* pyramidalis deve apresentar maior teor de nutrientes em suas folhas, que ao se decompor, aumentam os níveis de cálcio no solo. (Sampaio, 1995). Não houve diferença estatísticas nos teores de Calcio entre os tratamentos, apesar da Aroeira, proporcionar maiores teores de cálcio no solo, figura 15.

Com relação as épocas (chuva e estiagem) na chuva os teores de cálcio foram menores,

em função da dissolvição do cálcio no solo com o aumento da água no solo, figura 15.

Em relação a interação de cada época e os tratamentos, a Catingueira (*Cenostigma* pyramidalis), proporcionou aumento nos teores de cálcio em comparação aos outros tratamentos, confirmando ser uma planta que promover altos teores de cálcio ao solo, mesmo em períodos de estiagem, contribuindo no processo de reciclagem de nutrientes e recuperação de solos, figura 15.

Nos períodos estudados, a estiagem foi o período que mais contribuiu na formação de cálcio no solo, explica-se, pelo fato em período de maior quantidade de água no solo, os cátions solúveis são dissolvidos, figura 15. A oxidação biológica de compostos orgânicos que contêm Ca pode também resultar na formação de $CaCO_3$ (Pocknee & Sumner, 1997). Nesse caso, o teor de $Ca^{2+}$ no extrato poderia diminuir, uma vez que o $CaCO_3$ é menos solúvel que as formas orgânicas de Cálcio.

As plantas nativas da Caatinga, como a *Myracrodruon urundeuva* e a *Cenostigma pyramidalis*, desempenham um papel significativo na recuperação de áreas degradadas, especialmente quando irrigadas. Estas plantas podem contribuir para o aumento dos teores de cálcio no solo de várias maneiras. Os mecanismos pelos quais essas espécies nativas contribuem para o aumento do teor de cálcio no solo.

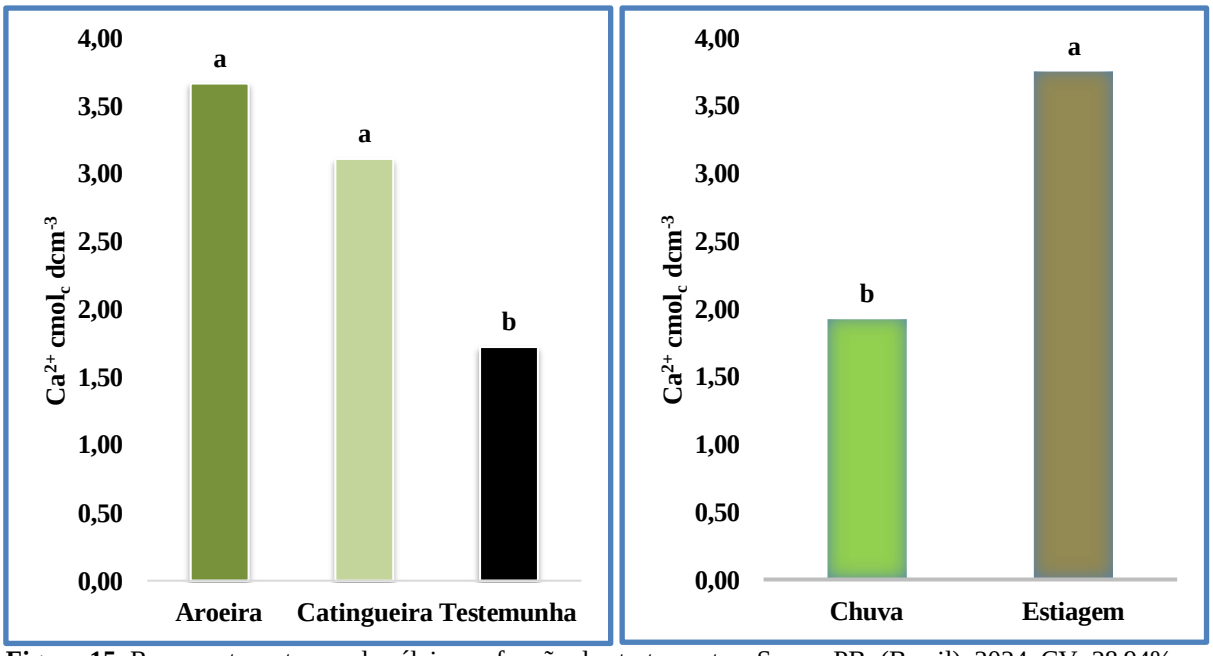



**Figura 15**. Representa os teores de cálcio em função dos tratamentos. Sousa, PB, (Brasil), 2024. CV: 28,94%

A irrigação mesmo de manutenção, favorece o desenvolvimento do sistema radicular da planta, além de promover a dissolvição da calcita, liberando mais cálcio as raízes das plantas.

As folhas e outros resíduos orgânicos das plantas nativas, quando caem e se decompõem, liberam nutrientes, incluindo cálcio, de volta ao solo. A decomposição da matéria orgânica é um processo chave para a reciclagem de nutrientes.

A irrigação dessas plantas em áreas degradadas melhora a sobrevivência e o crescimento das espécies nativas, acelerando os processos de ciclagem de nutrientes e decomposição da matéria orgânica. A disponibilidade de água é crucial para esses processos biológicos e químicos. (Araújo, J.C; Piedra, J. 2009). Ambas as plantas contribuíram da formação de cálcio do solo, e ajudar nas melhorias de seus atributos e no processo de troca.

Já com relação ao magnésio, podemos observar que o cultivo das plantas de a aroeira (*Myracrodruon urundeuva*) e a catingueira (*Cenostigma pyramidalis*), proporcionaram aumento nos teores de magnésio trocável no solo, sendo significativo pelo teste de Tukey ao nível de 5%, em comparação com a testemunha, figura 16.

Em relação ao magnésio nos trocáveis a *Cenostigma pyramidalis* foi o destaque, apesar de não haver diferença significativa com a *Myracrodruon urundeuva*. Em relação às épocas, foi na estiagem que os teores de magnésio foram maiores, possivelmente pela diluição do elemento em períodos de maior saturação de água no solo. Mesmo na interação, o período de estiagem foi superior em todos os tratamentos, Figura 16.

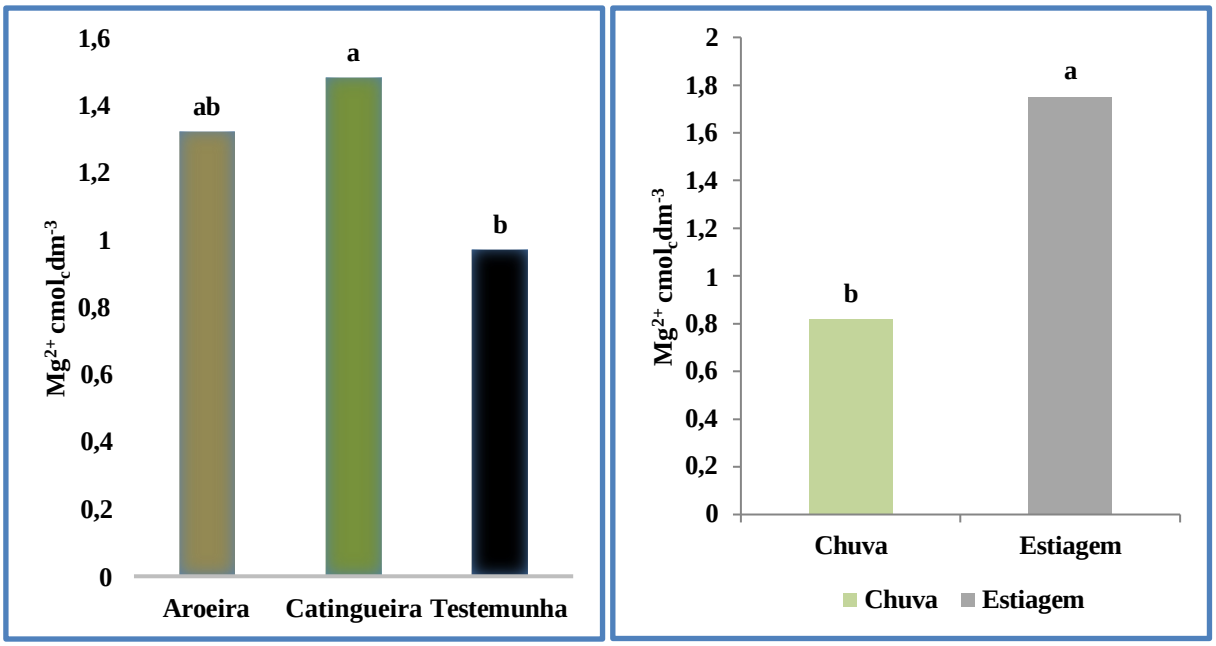



**Figura 16**. Efeitos dos tratamentos na formação de magnésio trocável do solo em função dos tratamentos. Sousa, PB, (Brasil), 2024. CV: 57,12%

A salinidade compromete a fertilidade do solo, promovendo desordens nutricionais nas plantas submetidas ao cultivo em ambientes com excesso de sais, afetando inclusive o

desenvolvimento vegetal e a disponibilidade de nutrientes para as plantas (Freire; Freire, 2007). A *Myracrodruon urundeuva* e a *Cenostigma pyramidalis* têm um papel significativo na recuperação e melhoria dos solos salino-sódicos, particularmente na formação e disponibilidade de magnésio trocável no solo.

Esses solos são desafiadores devido à alta concentração de sais e sódio trocável, que podem afetar a fertilidade do solo e a saúde das plantas. A Aroeira contribui para a ciclagem de nutrientes, incluindo o magnésio, através da decomposição de sua biomassa e atividades radiculares que melhoram a fertilidade do solo.

Normalmente, o cálcio (Ca) e o magnésio (Mg) aumentam em solução devido ao acúmulo de resíduos vegetais em solos com pH menor que 6,0. Em solos com alto teor de alumínio (Al), também pode haver uma complexação deste elemento com os ânions orgânicos, tornando-o não tóxico para as plantas (Pohlman & McColl, 1986).

Em solos alcalinos, a adição de resíduos vegetais continuará a fornecer nutrientes como Ca e Mg, que já são mais disponíveis nesse pH devido à maior solubilidade e à presença de carbonatos. O alumínio, por sua vez, precipita como hidróxido de alumínio e se torna insolúvel, reduzindo qualquer risco de toxicidade. Portanto, enquanto em solos ácidos a complexação do Al com ânions orgânicos é uma estratégia importante para mitigar a toxicidade, em solos alcalinos essa preocupação é praticamente inexistente devido à química do alumínio em pH elevado.

Em solos alcalinos, a disponibilidade de Ca e Mg geralmente aumenta naturalmente porque esses elementos estão mais solúveis em pH mais alto. Solos alcalinos frequentemente contêm maiores quantidades de calcário ($CaCO_3$) e dolomita ($CaMg(CO_3)_2$), que são fontes de Ca e Mg. A adição de resíduos vegetais, que contêm matéria orgânica, pode fornecer ainda mais Ca e Mg ao solo através da decomposição e mineralização desses resíduos, provavelmente ocorrendo nessa situação em tese.

A aroeira e catingueira contribuíram para a formação de magnésio trocável no solo, em comparação com a testemunha. A serapilheira da matéria orgânica é rica em nutrientes, promovendo a melhoria das propriedades químicas do solo. A Catingueira também melhora a disponibilidade de magnésio no solo salino-sódico através de seus processos biológicos e da decomposição de sua biomassa. A decomposição da biomassa da Catingueira e a atividade das raízes são fundamentais para a mobilização de magnésio no solo. A adição de adubo orgânico ao substrato melhora as características físicas, químicas e biológicas, além de fornecer macro e micronutrientes de forma gradual (Lima et al., 2007; Maia et al., 2008). É através da ciclagem

de nutrientes, da melhoria da estrutura do solo e da adição de matéria orgânica, estas espécies aumentam a disponibilidade de magnésio, contribuindo para a sustentabilidade e produtividade dos ecossistemas semiáridos.

Vários trabalhos já foram realizados no Brasil com o intuito de comparar o efeito dos resíduos de plantas na disponibilidade de Ca, Mg e K (Franchini et al., 1999; Amaral et al., 2004). Os resultados obtidos demonstram que os teores de Ca, Mg e K trocáveis aumentam nas camadas superficiais, uma provável resposta à quantidade presente no resíduo e não ao aumento da disponibilidade do nutriente preexistente no solo.

Em relação ao magnésio solúvel do solo, não houve diferenças significativas nos teores de magnésio solúvel no solo a planta de aroeira e a catingueira, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Na interação, os resultados demonstram que o período de estiagem foi superior ao período chuvoso, provavelmente no período chuvoso, o solo apresenta com maior conteúdo de água em seu perfil, aumentando a dissolvição do elemento, Figura 17.

A *Cenostigma* pyramidalis também melhora a disponibilidade de magnésio solúvel no solo salino-sódico através de seus processos biológicos e da decomposição de sua biomassa. Apesar de não haver diferenças significativas entre a *Myracrodruon urundeuva* e a *Cenostigma pyramidalis*. A catingueira foi a que mais contribuiu para a disponibilidade de magnésio. Os tratamentos com as plantas superaram o tratamento sem cultivo, indicando que as plantas nativas são eficientes e importantes no agrossistema, Figura 17. O cultivo das plantas e o manejo adotado contribuíram significativamente no aumento de magnésio solúvel, principalmente a *Cenostigma pyramidalis*, embora não houve diferença significativa, conforme demonstrado pelo teste aplicado, Figura 17.

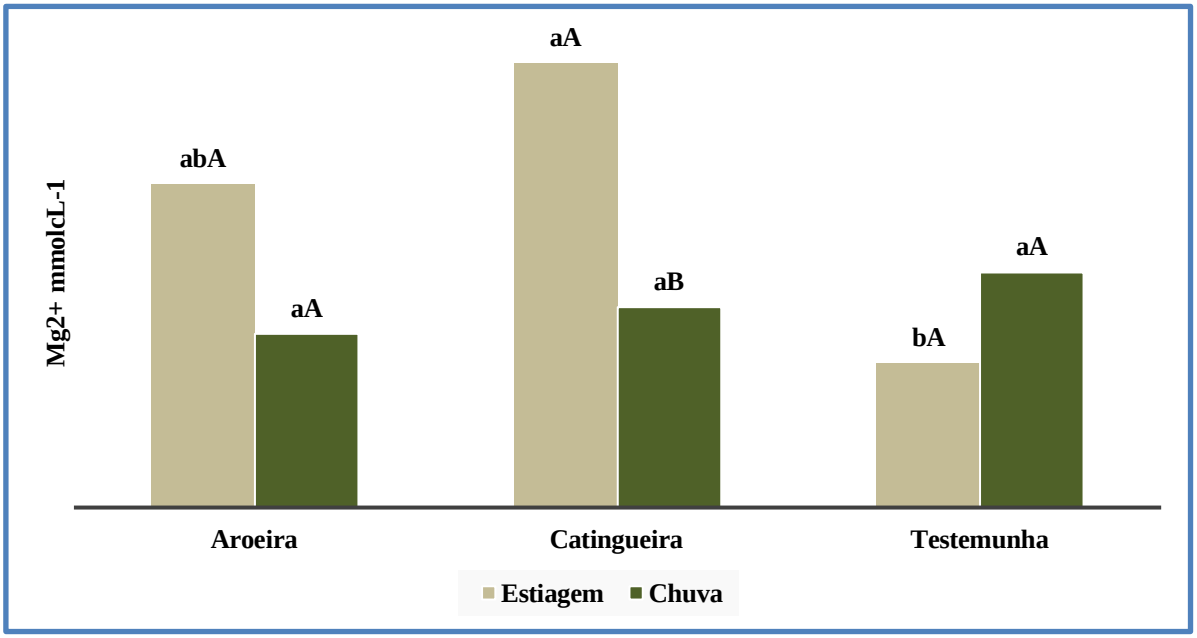



**Figura 17**. Efeitos dos tratamentos na formação de magnésio solúvel do solo em função dos tratamentos. Sousa, PB, (Brasil), 2024. CV: 68,28%

Dentre as técnicas disponíveis para a melhoria de solos salino-sódicos, as mais indicadas são o cultivo de espécies tolerantes e o uso de produtos que proporcionam a diminuição dos teores de sódio trocável, dos valores de condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes) e do pH, além do aumento dos teores de cálcio e magnésio no solo (Qadir et al., 2007).

A *Myracrodruon urundeuva* e a *Cenostigma pyramidalis* são espécies vegetais que desempenham um papel significativo na melhoria dos solos salino-sódicos, particularmente na formação de magnésio solúvel no solo. Esses solos, comuns em regiões semiáridas, apresentam desafios devido à alta concentração de sais e sódio trocável, que podem comprometer a fertilidade do solo e a saúde das plantas.

A *Myracrodruon urundeuva* tem a capacidade de melhorar as propriedades químicas do solo, incluindo a solubilização do magnésio. Estas plantas contribuem para a ciclagem de nutrientes através da decomposição de sua biomassa e das atividades radiculares. A presença dessas plantas em solos salino-sódicos aumentou a concentração de magnésio solúvel devido à decomposição de folhas e raízes, bem como pela atividade microbiana estimulada pela matéria orgânica adicionada com a serapilheira.

Os cátions de sais solúveis normalmente encontrados em ambientes salinos são: sódio ($Na^+$), cálcio ($Ca^{2+}$) e magnésio ($Mg^{2+}$). Os ânions são: cloreto ($Cl^-$), sulfato ($SO_4^{2-}$), carbonato ($CO_3^{2-}$) e bicarbonato ($HCO_3^-$), sendo o sódio o íon dominante entre os cátions e o cloreto entre os ânions, compreendendo cerca de 50 a 80% do total de sais solúveis (Tavakkoli et al., 2011).

A Myracrodruon urundeuva e a *Cenostigma* pyramidalis desempenham papéis cruciais na melhoria dos solos salino-sódicos, especialmente na formação e disponibilidade de magnésio solúvel. Através da ciclagem de nutrientes, da melhoria da estrutura do solo e da adição de matéria orgânica, estas espécies aumentam a solubilidade de magnésio, contribuindo para a sustentabilidade e produtividade dos ecossistemas semiáridos. Esses sistemas apresentam maior nível de matéria orgânica superficial e, como consequência, maior concentração de substâncias húmicas solúveis (Salet, 1994).

Embora não tenha sido realizada análise mineralógica do solo, sabe-se que no processo de fitorremediação de solos afetados por sais, as plantas atuam na liberação de cálcio e magnésio de minerais presentes no solo, como a calcita, por meio da acidificação do solo próximo ao sistema radicular das plantas, contribuindo assim para o aumento dos teores desses elementos (Qadir et al., 2007). Provavelmente tenha, essas reações químicas tenham ocorrido, nesse caso.

No tocante a CTC do solo, não houve diferenças significativas na capacidade de troca catiônica (CTC) do solo nos tratamentos, conforme o teste de Tukey ao nível de 5%. Nas épocas estudadas, o período de estiagem apresentou a maior contribuição para o aumento da CTC do solo, possivelmente por apresentar menor conteúdo de água no perfil do solo e consequentemente os cátions apresenta menor diluição, Figura 18.

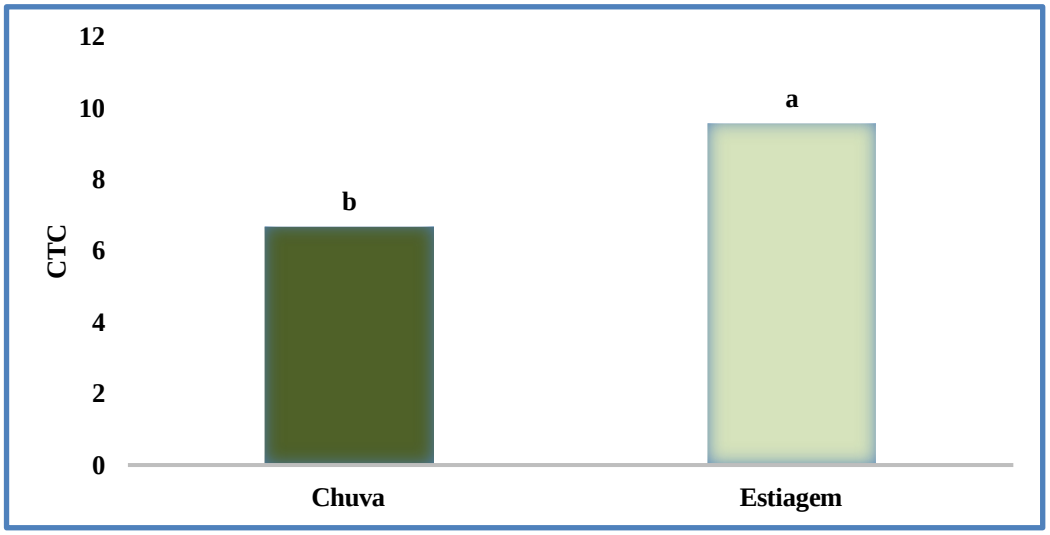



**Figura 18**. Representa efeitos dos tratamentos na manutenção da CTC do solo. Sousa, PB, (Brasil), 2024. CV: 33,88%.

De acordo com Miranda et al. (2018), os compostos presentes na matéria orgânica dos solos atuam, geralmente, como agentes floculastes, interferindo positivamente nas suas propriedades físicas e químicas, promovendo o aumento na condutividade hidráulica, infiltração de água e capacidade de troca catiônica (CTC), sendo o mesmo efeito esperado em solos afetados por sais.

A *Myracrodruon urundeuva* e a *Cenostigma pyramidalis* contribuíram

significativamente para a manutenção e aumento da CTC do solo em áreas degradadas. A CTC é uma medida da capacidade do solo de reter e trocar cátions (íons positivos), sendo fundamental para a fertilidade do solo.

Nessas condições, as plantas mantiveram os íons positivos no solo. Apesar de não haver diferenças significativas entre os tratamentos, as plantas contribuem para a permanência dos cátions no solo. Em solos sem cultivo, há maior desagregação, o que contribui para o transporte de partículas e íons, tornando o solo menos estruturado.

A utilização dessas espécies é, portanto, uma estratégia viável para a recuperação de áreas degradadas no semiárido brasileiro. As folhas, galhos e outros resíduos orgânicos das plantas, ao se decompor, aumentam a matéria orgânica do solo. A matéria orgânica é crucial para a CTC, pois contém cargas negativas que podem reter cátions.

A produção dirigida e periódica de substâncias agregantes intermediárias da decomposição completa da matéria orgânica é, portanto, o único meio de manter a produtividade desses solos (Primavesi, 2006). Tanto a aroeira quanto a catingueira produzem grande quantidade de matéria orgânica que, ao se decompor, melhora a CTC do solo.

As raízes dessas plantas ajudam a melhorar a estrutura do solo, aumentando a aeração e a infiltração de água. Um solo bem estruturado promove a formação de complexos orgânicos-minerais, que são importantes para a manutenção da CTC.

A *Myracrodruon urundeuva* e a *Cenostigma pyramidalis* desempenham papéis importantes na manutenção e melhoria da capacidade de troca catiônica do solo. Elas contribuem significativamente para o aporte de matéria orgânica, melhorando a estrutura do solo, promovendo a ciclagem de nutrientes e aumentando a formação de complexos organominerais. Essas contribuições são essenciais para a recuperação e sustentabilidade das áreas degradadas na região da Caatinga.

Em relação a PST do solo, o cultivo das plantas de aroeira (*Myracrodruon urundeuva*) e a catingueira (*Cenostigma pyramidalis*), aliados ao manejo adotado, reduziu significativamente a porcentagem de sódio trocável (PST), havendo, portanto, diferença significativa entre as plantas cultivadas e a testemunha, conforme o teste de Tukey ao nível de 5%. A PST inicial do solo considerada elevada, em nível severo prejudicando os cultivos agrícolas, e com os tratamentos, reduziu significativamente de acordo com o teste aplicado, Figura 19.

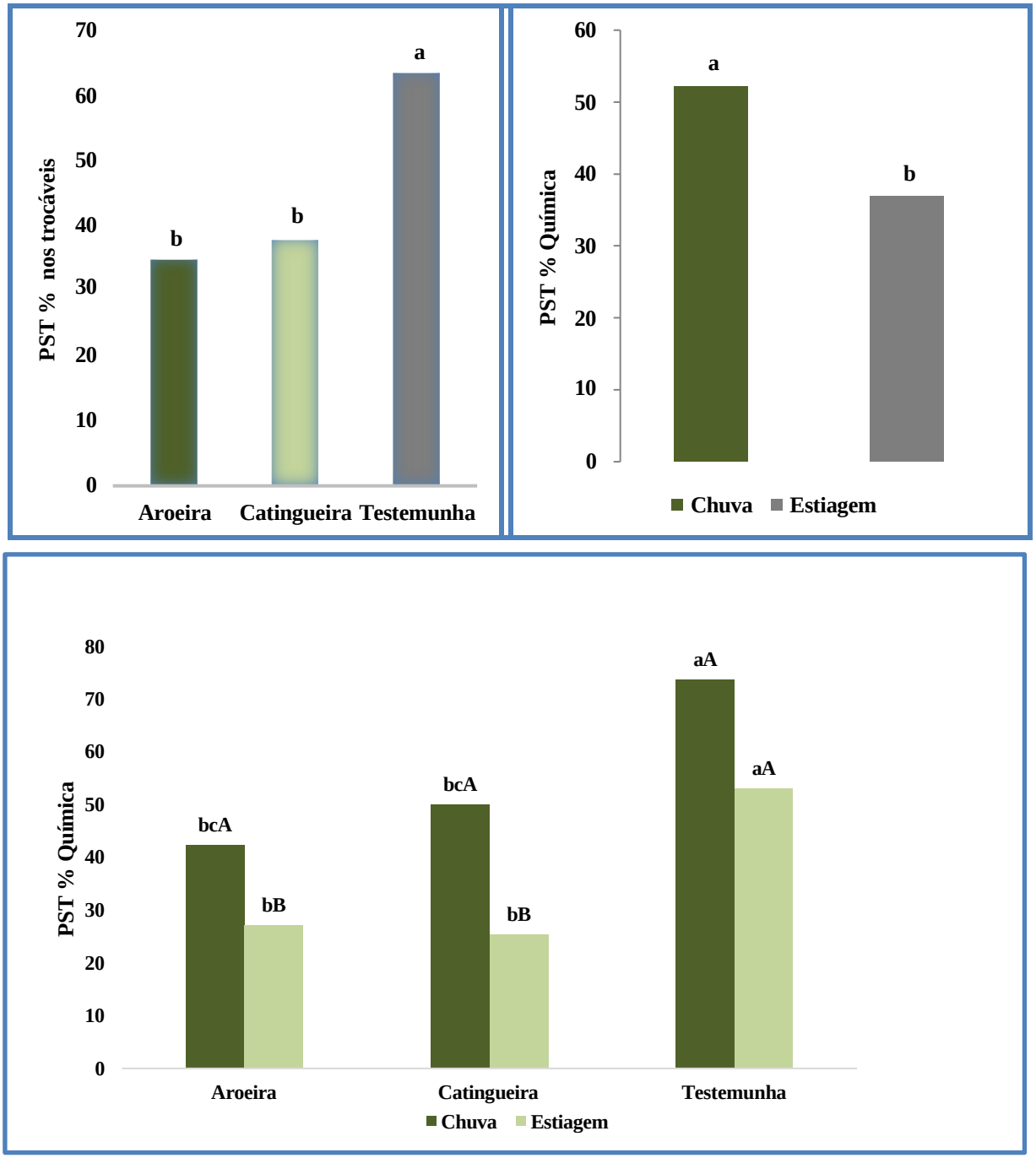



**Figura 19**. Efeitos das plantas na redução e interação da porcentagem de sódio trocável (PST) do solo em função dos tratamentos. Sousa, PB, (Brasil), 2024. CV: 49,95%

A *Myracrodruon urundeuva* e a *Cenostigma pyramidalis* são plantas nativas do semiárido brasileiro com potencial para atuar na recuperação de solos salino-sódicos. Solos salino-sódicos são caracterizados por altos níveis de sais solúveis e sódio trocável, que afetam negativamente a estrutura do solo, a disponibilidade de nutrientes e o crescimento das plantas. A utilização dessas espécies na recuperação de solos salino-sódicos pode envolver diversos processos, incluindo fitorremediação, melhoria da estrutura do solo e a promoção de condições mais favoráveis para o crescimento de outras plantas.

A *Myracrodruon urundeuva* e a *Cenostigma pyramidalis* atuam na recuperação do solo e redução da PST do sódio trocável em comparação com a testemunha. Em relação às épocas estudadas, a PST foi maior no período chuvoso, evidenciando a solubilidade dos sais presentes nesse ambiente degradado. A Aroeira é capaz de tolerar níveis elevados de salinidade, o que permite seu crescimento em solos adversos e promove a estabilização do solo. A melhoria da estrutura do solo ocorre pelas raízes dessas plantas, que ajudam a aumentar a infiltração de água e reduzir a compactação. A ciclagem de nutrientes é favorecida pela adição de matéria orgânica ao solo por meio da queda de folhas e outros resíduos vegetais.

Embora muitas plantas possuam mecanismos de ajuste osmótico, que ocorrem com a compartimentação de íons nos vacúolos das células e permitam a sobrevivência, parte da energia utilizada nesse mecanismo pode refletir-se negativamente no crescimento e no desenvolvimento das estruturas vegetais (Taiz; Zeiger, 2002). Provavelmente, pode ter ocorrido nos tratamentos, reduzindo a PST de mais de 60% para um pouco acima de 30%, efeito significativo em comparação com o tratamento testemunha. Possivelmente as raízes das plantas desenvolveu ao longo do perfil do solo, favorecendo a entrada de água e gás carbônico, as plantas toleram a salinidade até certo nível de salinidade, a compartimentalização do $Na^+$ nos vacúolos pode evitar os efeitos deletérios desse elemento no citosol, mantendo o potencial osmótico da célula e minimizando o déficit hídrico em um ambiente salino (Castillo et al., 2007).

A *Cenostigma pyramidalis* é uma leguminosa capaz de fixar nitrogênio atmosférico, enriquecendo o solo com este nutriente essencial. Essa planta resiste ao estresse salino, possuindo alta resistência a condições salinas, o que possibilita seu uso em solos salino-sódicos. A decomposição de suas folhas e galhos contribui para o aumento da matéria orgânica no solo, melhorando a fertilidade e a capacidade de retenção de água.

A *Cenostigma* pyramidalis pode melhorar a fertilidade do solo e a capacidade de retenção de água, além de reduzir a salinidade do solo por meio da adição de matéria orgânica. Essa planta pode ser utilizada na recuperação de solos degradados devido à sua capacidade de sobreviver e crescer em condições de alta salinidade, promovendo a reestruturação do solo e melhorando suas propriedades físico-químicas.

A *Myracrodruon urundeuva* e a *Cenostigma pyramidalis* são plantas promissoras para a recuperação de solos salino-sódicos devido à sua tolerância à salinidade, melhoria da estrutura do solo, ciclagem de nutrientes e adição de matéria orgânica. Essas plantas demonstraram que podem efetivamente melhorar as condições do solo, tornando-os mais aptos para o cultivo e

promovendo a sustentabilidade agrícola em regiões semiáridas.

Em relação a PST nos solúveis do solo, o cultivo das plantas de aroeira (*Myracrodruon urundeuva*) e a catingueira (*Caesalpinia pyramidalis*), aliado ao manejo adotado, reduziu significativamente a porcentagem de sódio trocável (PST) nos solúveis, havendo, portanto, diferença significativa nos tratamentos entre as plantas cultivadas e a testemunha, conforme o Teste de Tukey ao nível de 5%, na interação houve diferença significativa no período chuvoso, entre a aroeira e a testemunha, Figura 20. A *Myracrodruon urundeuva* apresentou o maior potencial de redução da PST, embora não tenha havido diferença significativa em relação à *Cenostigma pyramidalis*. Ambas as plantas reduziram a PST do solo em comparação à testemunha, a *Cenostigma pyramidalis* não se diferenciou estatisticamente, pelo teste aplicado. Na interação das épocas estudadas, o período chuvoso proporcionou menores reduções, com exceção da testemunha, Figura 20. Isso é plausível, pois o aumento do conteúdo de água no solo dilui os sais presentes, reduzindo seus efeitos e, consequentemente, a PST.

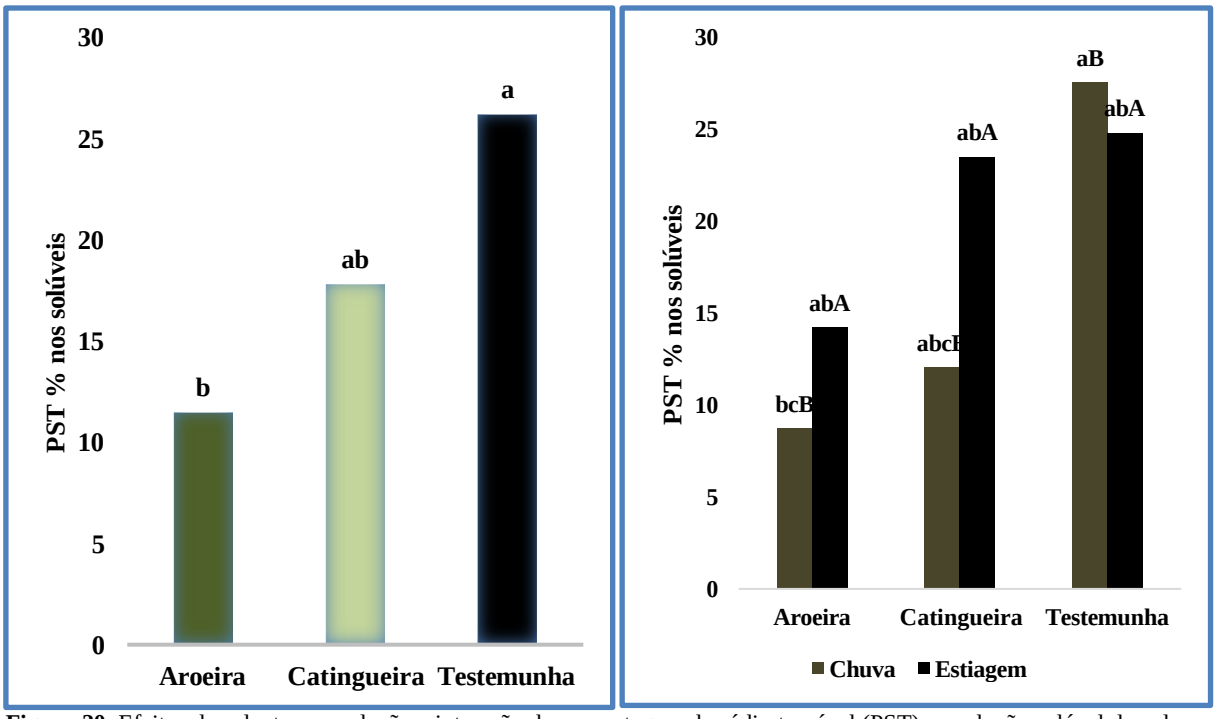



**Figura 20.** Efeitos das plantas na redução e interação da porcentagem de sódio trocável (PST) na solução solúvel do solo em função dos tratamentos. Sousa, PB, (Brasil), 2024. CV: 83,32%.

A *Myracrodruon urundeuva* e a *Cenostigma pyramidalis* são plantas adaptadas por suas capacidades de alterar positivamente as propriedades de diversos tipos de solos. Uma dessas propriedades é a porcentagem de sódio trocável (PST) no extrato saturado do solo, que é crucial para determinar a qualidade e a aptidão do solo para a agricultura. A *Myracrodruon urundeuva* e a *Caesalpinia pyramidalis* contribuíram de forma significativa na redução da PST. Embora não tenha havido diferença significativa entre as duas plantas, a Aroeira apresentou

maior redução da PST em comparação com a Catingueira. A PST foi menor no período chuvoso, com exceção da testemunha, devido à saturação do sódio no complexo de troca.

Em relação a PST nos solúveis do solo, o cultivo das plantas de aroeira (*Myracrodruon urundeuva*) e a catingueira (*Caesalpinia pyramidalis*), aliado ao manejo adotado, reduziu significativamente a porcentagem de sódio trocável (PST) nos solúveis, havendo, portanto, diferença significativa nos tratamentos entre as plantas cultivadas e a testemunha, conforme o Teste de Tukey ao nível de 5%. O manejo e o incremento da matéria orgânica adicionada pela decomposição da *Myracrodruon urundeuva* e a *Cenostigma pyramidalis* promoveu a lixiviação do sódio, substituindo-o por outros cátions, como cálcio e magnésio. A melhoria da estrutura do solo resultante da adição de matéria orgânica aumenta a infiltração e percolação de água, promovendo a lixiviação do sódio e reduzindo a PST.

No estudo realizado por Gheyi et al. (1995), Cavalcante et al. (2002), Gheyi et al. (2008) e Miranda et al. (2011), essa redução da sodicidade é resultado da liberação de cálcio pela solubilização do gesso e dos insumos orgânicos, que substituem o sódio nos sítios de adsorção, deslocando-o para a solução do solo, permitindo sua lixiviação para as camadas subsequentes do solo.

A decomposição da matéria orgânica da Catingueira aumentou a quantidade de cátions trocáveis no solo, favorecendo a troca de sódio. A serapilheira sofre, inicialmente, decomposição parcial pela mesofauna, concomitantemente à ação decompositora dos microrganismos. Parte do carbono presente nos resíduos é liberada para a atmosfera como $CO_2$ e o restante passa a fazer parte da matéria orgânica do solo (Bayer; Mielniczuk, 1999).

A *Cenostigma pyramidalis*, por ser uma leguminosa, devido à sua alta capacidade de ciclagem de nutrientes e melhoria da estrutura do solo, facilitou a lixiviação do sódio, resultando em um menor PST no extrato saturado.

A *Myracrodruon urundeuva* e a *Cenostigma pyramidalis* desempenham papéis cruciais na redução da PST do extrato saturado em solos salino-sódicos. Estudos recentes indicam que essas plantas melhoram a estrutura do solo e aumentam a capacidade de troca catiônica, promovendo a lixiviação do sódio e sua substituição por outros cátions, resultando em um solo mais apto para o cultivo agrícola.

Calculamos a RAS e ajustamos no extrato de saturação do solo para verificar a tendência do cálcio do solo, observamos que ambas as espécies diferiram da testemunha, comprovando-se que o cultivo dessas espécies contribuiu na redução dos teores de sais do solo e, consequentemente, para a recuperação de solos degradados por excesso de sais. Na interação

das épocas avaliadas, o período chuvoso foi o que mais contribuiu na redução da RAS, exceto na testemunha. Com os resultados da RAS, podemos afirmar que os tratamentos com o cultivo das espécies Aroeira e Catingueira contribuíram na redução da RAS. Embora a Aroeira não tenha diferido estatisticamente da catingueira da testemunha pelo teste de Tukey a nível de 5%, a aroeira foi a planta que mais contribuiu na redução da RAS, Figura 21.

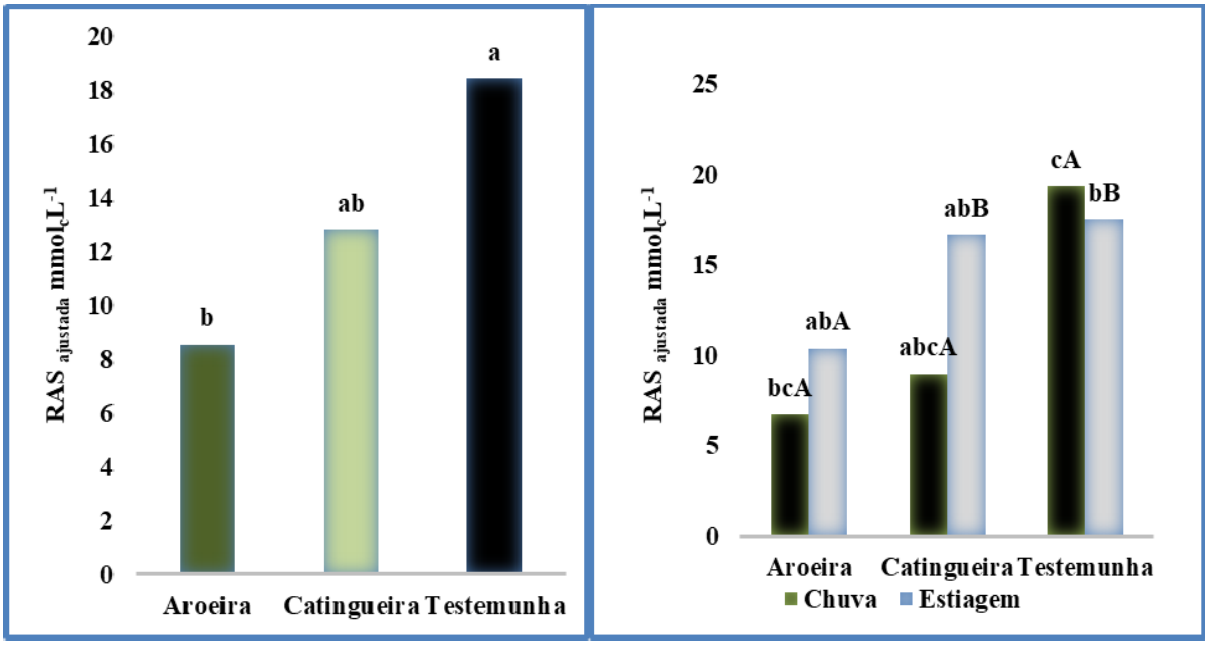



**Figura 21**. Efeitos dos tratamentos na redução do RAS ajustada do solo. Sousa, PB, (Brasil), 2024. CV: 77,69%

O ajuste da Relação de Adsorção de Sódio (RAS), é fundamental para melhorar a fertilidade do solo e sua capacidade produtiva, para ajuste da RAS utilizou-se a seguinte equação: RASaj = Na / $(Ca^{2+} + Mg^{2+})^{1/2}$. [1 + (8,4 – pHc)], em $(mmolc\ L^{-1})^{1/2}$. Em que, $Ca^{2+}$, $Mg^{2+}$ e $Na^{+}$ representam as concentrações de cálcio, magnésio e sódio em mmolc/L. O pHc se refere ao pH de equilíbrio para o $CaCO_3$, serve para calcular a RAS ajustada e pode ser calculada de acordo com a seguinte fórmula: pHc = (pK - pKc) + p (Ca + Mg) + pAlc; Onde: pK - pKc é obtido através do somatório dos valores de (Ca + Mg + Na), de acordo com a Tabela de Ayeres; Westcot, (1976).

O valor do somatório de concentração é enquadrado na coluna (pK - pKc) da Tabela, obtendo-se um valor para tal  e p(Ca + Mg) é o somatório dos valores de (Ca + Mg), que enquadrado na tabela referida, se obtém um valor p(Ca+Mg), e p (Alc) é obtido em função da soma dos valores de ($CO_3^{2-}$ + $HCO_3^{-}$), seguindo o mesmo mecanismo, na Tabela, encontra-se o valor para p(Alc), Ayeres; Westcot, (1976).

O valor 8,4 (pH do $CaCO_3$ em água destilada) corresponde ao pH de uma solução salina, não sódica, em equilíbrio com o carbonato de cálcio ($CaCO_3$). Valores de pHc maiores

que 8,4 demonstram uma tendência de dissolução do Ca do solo. Valores inferiores a 8,4 demonstram uma tendência de precipitação do cálcio da água aplicada.

O teor de $Na^+$ no complexo de troca passa a exercer ação depressiva quando seu valor equivale à metade ou mais do valor modal da relação de adsorção de sódio do solo (Dias; Blanco, 2010). Nessas condições, o $Ca^{2+}$ e o $Mg^{2+}$, por serem menos solúveis, precipitam-se na forma de bicarbonatos à medida que a solução do solo se concentra em sódio (Richards, 1974; Ribeiro, 2010), tornando o solo mais concentrado nesse elemento.

A Aroeira (Myracrodruon urundeuva) e a Catingueira (*Cenostigma* pyramidalis) desempenham papéis importantes na recuperação de solos salino-sódicos ajustando a Relação de Adsorção de Sódio (RAS). Solos salino-sódicos são problemáticos devido ao excesso de sais solúveis e sódio trocável, que causam degradação da estrutura do solo e dificuldades para o crescimento das plantas. A RAS é uma medida da proporção de sódio em relação ao cálcio e magnésio no solo e é um indicador importante da qualidade do solo.

A *Myracrodruon urundeuva* e a *Cenostigma pyramidalis* contribuíram na redução da RAS, embora não houvesse diferenças significativas entre ambas. No entanto, a Aroeira foi mais eficiente nesse quesito, superando a eficiência da testemunha. O excesso de sais solúveis leva à redução do potencial osmótico da solução do solo, dificultando a absorção de água pela planta, causando desbalanço nutricional e afetando o desenvolvimento das culturas (Carvalho; Stamford, 1999; Dutra et al., 2000; Viana et al., 2001; Amorim et al., 2002).

A *Cenostigma* pyramidalis melhora a RAS do solo ao aumentar a concentração de cátions divalentes ($Ca^{2+}$ e $Mg^{2+}$), essenciais para a troca catiônica que desalojam o sódio do complexo de troca do solo. A *Myracrodruon urundeuva* e a *Cenostigma pyramidalis* são eficazes na recuperação de solos salino-sódicos, principalmente através do ajuste da RAS. Provavelmente a aroeira contribuiu para a redução da RAS por meio da lixiviação de sódio e acúmulo da matéria orgânica. Estudos demonstram que ambas as espécies são fundamentais para restaurar a fertilidade do solo e promover condições mais favoráveis para o crescimento de outras plantas.

Em relação a soma de base do solo, não houve diferenças significativas pelo teste de Tukey ao nível de 5% para os tratamentos, nem na interação épocas/tratamentos. Somente nas épocas estudadas, podemos afirmar que a estiagem resultou em maior aumento da soma de bases (SB) do solo. Isso se explica pelo fato de que, na época de maior conteúdo de água no solo (período chuvoso), as bases do solo apresentam-se mais diluídas e consequentemente menores teores, Figura 22.

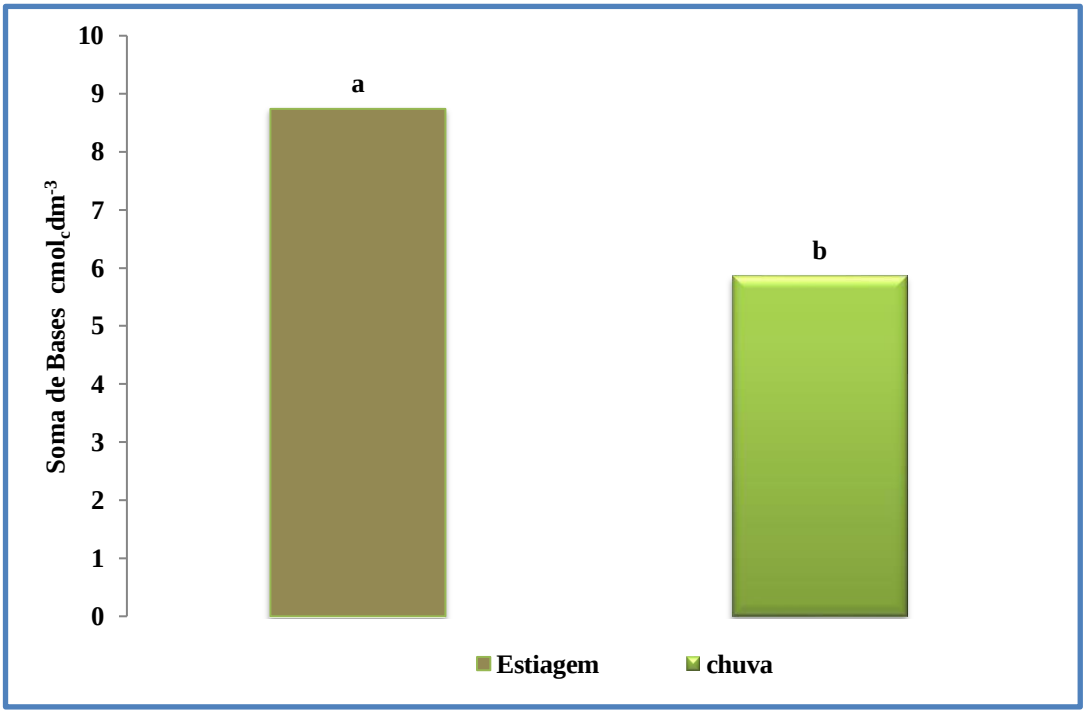



**Figura 22**. Efeitos dos tratamentos nas épocas da Soma da Bases do solo em função dos tratamentos. Sousa, PB, (Brasil), 2024. CV: 33,88%.

Na soma de bases do solo, não houve diferença significativa nos tratamentos, bem como, na interação das épocas estudadas (período chuvoso e período de estiagem), de acordo com o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, houve diferença entre as épocas com maiores valores foram constatados no período de estiagem.

As bases do solo em período chuvoso apresentam maior conteúdo de água no solo e mais diluídas, por essa razão, nesse período chuvoso, os valores das bases do solo serem menores.

O solo aqui estudado não contém ($H^+ + Al^{3+}$); a capacidade de troca catiônica (CTC) é igual à soma de bases trocáveis. A aroeira (Myracrodruon urundeuva) e a catingueira (*Cenostigma* pyramidalis) são espécies nativas que têm sido estudadas por seu potencial de melhorar a qualidade de solos salino-sódicos, com foco específico na soma de bases.

A soma de bases no solo refere-se ao total de cátions básicos ($Ca^{2+}$, $Mg^{2+}$, $K^+$ e $Na^+$) presentes na fase trocável do solo, e é um importante indicador de fertilidade do solo. Nos tratamentos específicos, não houve significância; houve diferença somente nas épocas estudadas, sendo o período de estiagem superior ao período de chuva. Isso se deve ao fato de que, na chuva, houve dissolução dos cátions solúveis e trocáveis.

De acordo com Kiehl (1979), a pluviosidade baixa acarreta o acúmulo de sais de cálcio, magnésio, potássio e carbonato de sódio, de maneira a saturar o complexo coloidal, dando

origem à alcalinidade dos solos. Segundo o mesmo autor, o solo torna-se alcalino quando a maior parte das cargas negativas dependentes de pH estão saturadas por bases.

Estas desalojam o $H^+$, que passa para a solução do solo, nesse sentido as bases tomam conta da solução do solo. Os estudos revelaram que a diferença significativa nas características do solo foi atribuída diretamente às espécies e às variações sazonais entre os períodos chuvoso e de estiagem. Durante o período chuvoso, há uma maior lixiviação de sais e aumento na disponibilidade de cátions básicos, enquanto durante a estiagem, a concentração de sais tende a aumentar devido à evaporação, reduzindo a eficiência das plantas na recuperação do solo. Assim, as variações sazonais desempenham um papel crucial na eficácia dessas espécies na recuperação de solos salino-sódicos.

Em relação aos bicarbonatos do solo, não houve diferença significativa nos tratamentos e nas épocas estudadas (período chuvoso e período de estiagem), conforme o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Na interação também não houve significância, mesmo assim a aroeira foi eficiente na redução dos bicarbonatos, Figura 23.

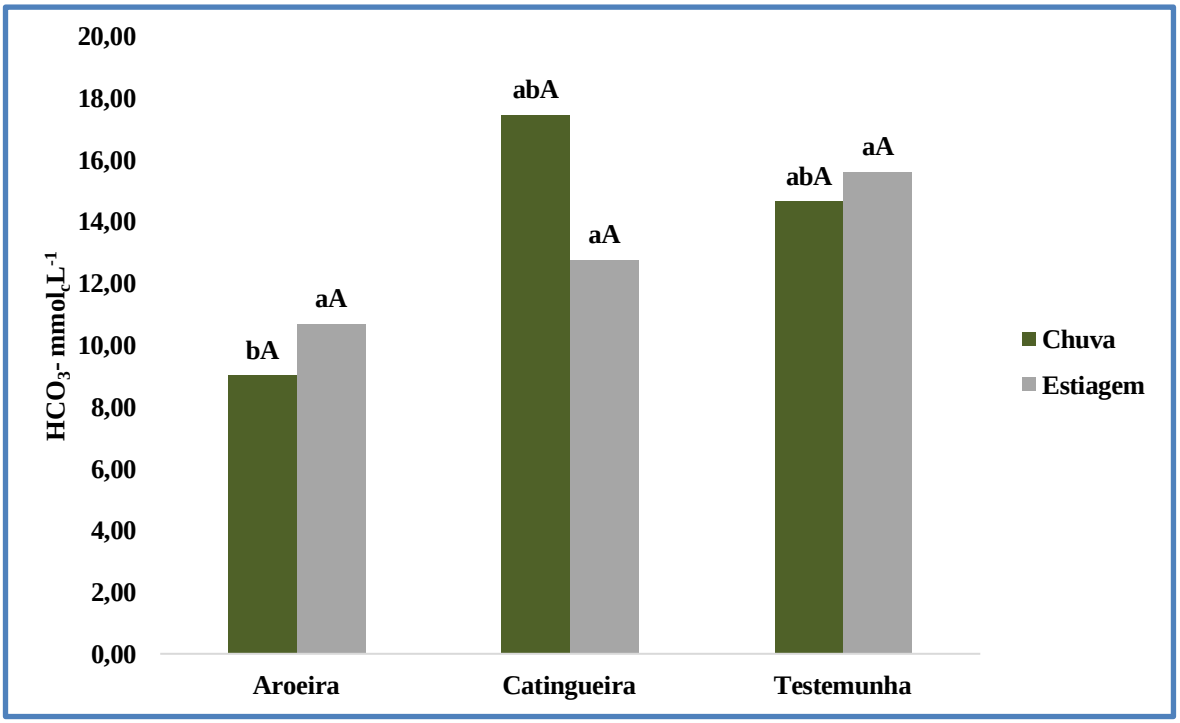



**Figura 23**. Efeitos da interação dos tratamentos e nas épocas na redução dos bicarbonatos do solo em função dos tratamentos. Sousa, PB, (Brasil), 2024. CV: 51,55%

Os solos salino-sódicos possuem altos níveis de sódio, que podem dispersar as partículas de argila e degradar a estrutura do solo. A presença de bicarbonatos pode exacerbar esse problema ao aumentar o pH, promovendo a dispersão da argila e a destruição da estrutura do solo. A aroeira (*Myracrodruon urundeuva*) influenciou na redução de bicarbonatos no

solo, possivelmente de indireta. A atividade biológica e a decomposição de matéria orgânica podem acidificar ligeiramente o solo, influenciando a forma na qual o carbono está presente no solo (carbonatos versus bicarbonatos), solos ligeiramente ácidos tendem a ter mais bicarbonatos em vez de carbonatos (Brady; Weil, 2016).

No tocante aos carbonatos os tratamentos com o cultivo de aroeira e catingueira houve diferença significativas em comparação com a testemunha na redução dos carbonatos do solo, conforme o teste de Tukey ao nível de 5% de significância, Figura 24.

Nos carbonatos as plantas atuaram significativamente na redução dos carbonatos no solo estudado, em comparação à testemunha. Na interação épocas e tratamentos, houve maior redução no período chuvoso, com exceção da testemunha, refletindo que as plantas estão contribuindo na recuperação do solo em comparação à testemunha, Figura 24.

Os carbonatos podem precipitar cátions essenciais como cálcio e magnésio, formando compostos menos solúveis e menos disponíveis para as plantas. Isso pode agravar as deficiências de nutrientes em plantas que já estão estressadas devido ao ambiente salino-sódico. Nas épocas estudadas, ambas as espécies contribuíram significativamente na redução de carbonatos, especialmente no período de maior quantidade de água no solo (período chuvoso), com exceção da testemunha, que elevou os carbonatos, indicando que as plantas estão atuando na recuperação do solo, Figura 24.

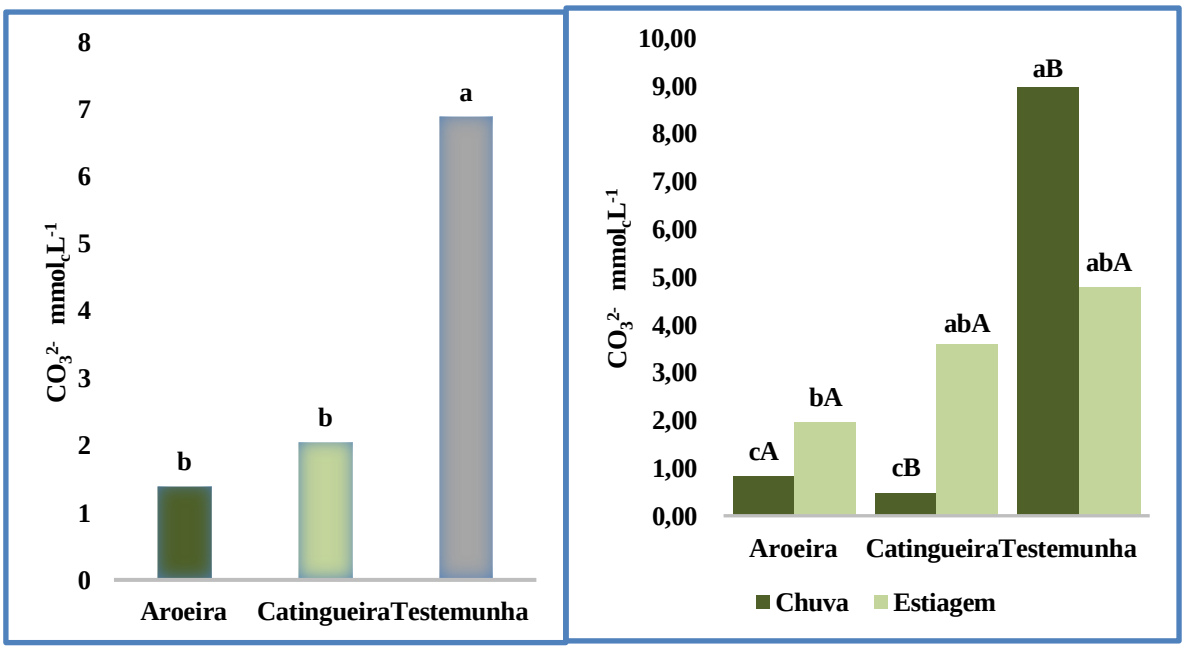



**Figura 24**. Efeitos dos tratamentos na redução dos carbonatos do solo em função dos tratamentos. Sousa, PB, (Brasil), 2024. CV: 105,31%

A ação da aroeira (*Myracrodruon urundeuva*) e da catingueira (Cenostigma *pyramidalis*) na redução dos carbonatos em solos salino-sódicos no semiárido do nordeste

brasileiro é importante para compreender os processos envolvidos e os resultados de estudos relevantes na literatura atual. As reduções nos teores de sódio nos tratamentos com o emprego das plantas estão associadas à absorção desse íon.

Adicionalmente, a presença de plantas fornece outros benefícios, estimulando a atividade biológica na zona radicular, elevando a concentração de $CO_2$ e a taxa de dissolução de carbonatos a um nível suficiente para a remoção de parte do $Na^+$ trocável, deixando-o livre na solução para ser lixiviado, contribuindo para a correção do solo (Carmona et al., 2010). Nesse sentido, o cultivo dessas espécies pode ser utilizado para avaliar a viabilidade global da agricultura em ambientes salinos (Hasanuzzaman et al., 2014). A presença dessas plantas pode alterar o pH do solo e a solubilidade dos carbonatos. A atividade microbiana associada às raízes pode também contribuir para a decomposição dos carbonatos, pois as raízes dessas espécies promovem a atividade de microrganismos que ajudam na decomposição de carbonatos e na melhoria da estrutura do solo.

Segundo Leal et al. (2008), observou-se reduções significativas de sódio em solo salino-sódico irrigado com águas salinas (0,175; 0,500 e 1,500 dS $m^{-1}$) após 100 dias de cultivo com a *Atriplex numulária* em ambiente controlado, caracterizando a planta como hiperacumuladora de sódio com potencial de uso na fitoextração deste elemento no solo. Igualmente, relatos de Souza et al. (2011) evidenciaram a diminuição do sódio trocável no solo com o cultivo em campo de Atriplex nummularia, ressaltando a eficiência da planta na extração de sais e recuperação do solo.

A *Myracrodruon urundeuva* e a Cenostigma *pyramidalis* têm potencial significativo na recuperação de solos salino-sódicos devido à sua capacidade de alterar a química do solo através de exsudatos radiculares e promover a atividade microbiana que decompõe carbonatos. Estudos apontam que as plantas podem efetivamente reduzir os níveis de carbonatos no solo, melhorando sua estrutura e fertilidade. Incorporar compostos orgânicos no solo pode aumentar a atividade microbiana e a decomposição de carbonatos, além de promover a atividade biológica e a decomposição de carbonatos, reduzindo a alcalinidade do solo.

Com relação aos cloretos, o manejo adotado nas plantas de aroeira (Myracrodruon urundeuva e a catingueira (Cenostigma pyramidalis) promoveu a redução dos teores de cloretos no solo, em comparação à testemunha (solo sem cultivo). Os resultados dos tratamentos foram significativos, conforme o teste de Tukey ao nível de 5% em relação à testemunha, Figura 25.

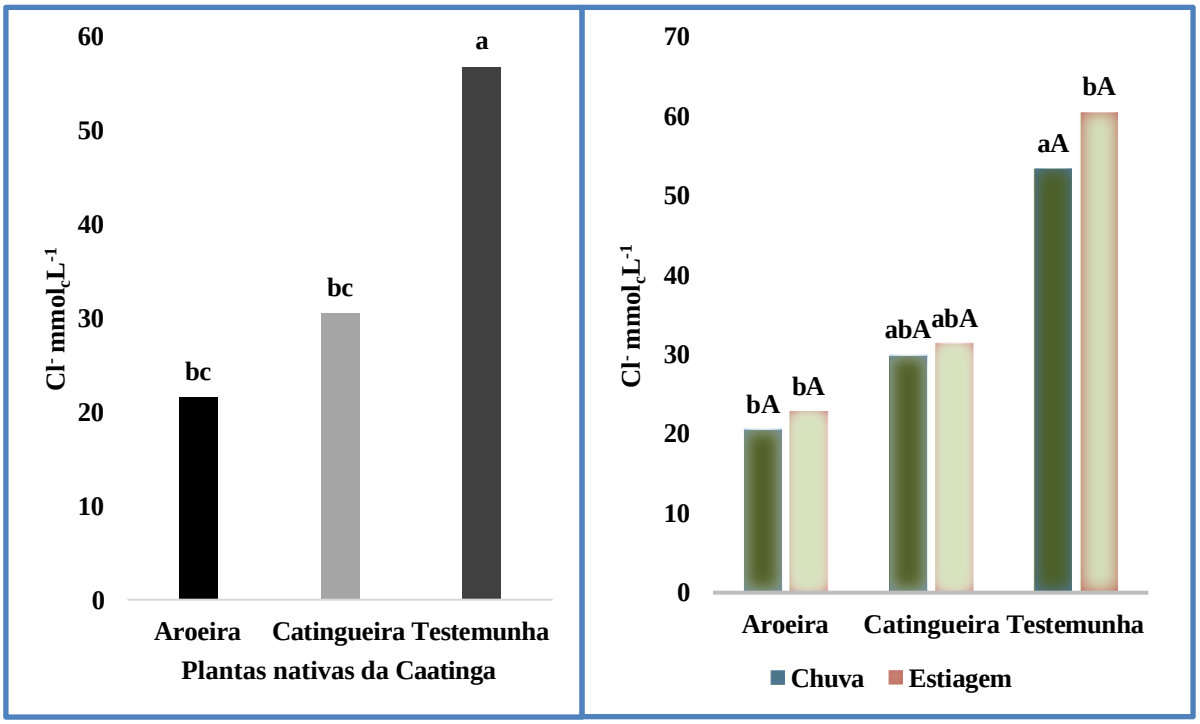



**Figura 25**. Representa efeitos dos tratamentos na redução dos cloretos do solo em função dos tratamentos. Sousa, PB, (Brasil), 2024. CV: 87,47%.

Na interação, as plantas reduziram igualmente os teores de cloretos, independentemente da época, diferenciando estatisticamente da testemunha. Entre os sintomas gerais de danos causados pelo estresse salino, a inibição do crescimento ocupa posição primária. Esse efeito está associado à geração do estresse osmótico, oriundo da alta concentração de sais na solução do solo, o qual restringe a absorção de água e nutrientes pelas plantas (Chen et al., 2007; Pace et al., 2012).

Adicionalmente, a toxicidade ocorre pelo efeito do íon específico, predominantemente provocada pelos íons cloreto, sódio ou boro (Munns, 2005), cujo acúmulo excessivo interfere na atividade das principais enzimas citosólicas, por perturbar a homeostase do potássio intracelular e causar estresse oxidativo nas células vegetais (Ashraf; Harris, 2004; Pandolfi et al., 2012). Todos estes causam efeitos adversos pleiotrópicos sobre o crescimento e desenvolvimento da planta, em níveis fisiológicos e bioquímicos (Yao et al., 2012).

A *Myracrodruon urundeuva* e a *Cenostigma pyramidalis* contribuíram na redução dos cloretos no solo principalmente através da melhoria da estrutura do solo, aumento da matéria orgânica e promoção da lixiviação de sais. Essas melhorias no solo facilitam a redução da salinidade e, portanto, a diminuição e redução na formação de sais cloretos, promovendo a recuperação de áreas degradadas.

A *Myracrodruon urundeuva* e a *Cenostigma pyramidalis* contribuíram na redução dos

cloretos no solo, especialmente em áreas salinizadas, por meio de vários mecanismos biológicos e físicos. As raízes profundas dessas plantas melhoram a estrutura do solo, aumentando a infiltração de água. Isso facilita a lixiviação de cloretos e outros sais, que são levados para camadas mais profundas do solo ou fora do perfil do solo pela água de percolação.

Os cloretos, quando presentes em excesso, podem causar fito toxicidade e comprometer a saúde das plantas. A redução dos teores de cloretos no solo é, portanto, essencial para a recuperação de solos salino-sódicos e para garantir a produtividade agrícola. As plantas utilizadas no estudo, aroeira e catingueira, mostraram-se eficazes não apenas na melhoria da estrutura do solo e na redução dos carbonatos, mas também na diminuição dos níveis de cloretos, contribuindo para a recuperação sustentável do solo e para a viabilidade da agricultura em ambientes salinos.

Em relação aos sulfatos os tratamentos não foram significativos em relação aos teores de sulfatos no solo. Na interação e nas épocas os tratamentos não diferiram estatisticamente no processo de formação de sulfatos em comparação com a testemunha.

A redução dos sulfatos ($SO_4^{2-}$) no solo pode ser saudável se gerenciada adequadamente, especialmente em solos salino- sódicos, onde o excesso de sulfatos contribui para a salinidade e outros problemas estruturais. No entanto, é crucial garantir que a redução não leve à deficiência de enxofre, essencial para a saúde das plantas.

Os nutrientes podem está de duas formas no solo, na forma trocáveis e na forma solúveis, na forma trocáveis são aqueles adsorvidos (ligados) nas partículas do solo, especialmente nas partículas de argila e na matéria orgânica. Eles estão "presos" na superfície dessas partículas, mas podem ser trocados com outros íons presentes na solução do solo.

O Mecanismo de disponibilidade desses nutrientes são disponibilizados para as plantas através de processos de troca iônica. Quando as raízes das plantas liberam íons (como íons de hidrogênio, ($H^+$), elas podem "trocar" esses íons por nutrientes trocáveis, como potássio ($K^+$), cálcio ($Ca^{2+}$) e magnésio ($Mg^{2+}$). É importância pois representam uma reserva de nutrientes, pois são menos suscetíveis à lixiviação (perda por lavagem com água), sendo liberados lentamente para a solução do solo conforme as plantas necessitam.

Os nutrientes solúveis são aqueles dissolvidos na água da solução do solo. Eles estão imediatamente disponíveis para a absorção pelas raízes das plantas, pois estão na forma iônica livre. O mecanismo de disponibilidade desses nutrientes estarem dissolvidos, esses nutrientes podem ser absorvidos diretamente pelas plantas. No entanto, por estarem solúveis, são mais suscetíveis à lixiviação, especialmente em solos arenosos ou em condições de alta precipitação.

## 5. CARACTERIZAÇÃO DA MACROFAUNA DO SOLO

Realizamos também a avaliação da macrofauna edáfica ao final do período de estiagem de 2023 (dezembro). Utilizaram-se armadilhas do tipo PROVID, adaptadas a partir de Antoniolli et al. (2006), confeccionadas com garrafas PET de dois litros. Cada armadilha continha quatro aberturas de 2 cm x 2 cm, localizadas a 20 cm da base da garrafa, representando os quatro pontos cardeais. Foi adicionada uma solução de 100 ml de detergente neutro a 15% em cada armadilha. Estas foram enterradas no solo a 20 cm de profundidade, com as aberturas ao nível da superfície, permanecendo em campo por 96 horas.

Após o período de exposição, as armadilhas foram cuidadosamente removidas para evitar o derramamento do conteúdo. O material coletado foi transferido para o Laboratório do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Campus Sousa, localizado em São Gonçalo. No laboratório, os organismos foram lavados em água corrente com o auxílio de peneiras de malha de 0,25 mm e deixados para secar à sombra, sobre folhas de papel A4. A contagem e a identificação dos organismos foram realizadas até os níveis taxonômicos de ordem e classe, utilizando uma lupa com ampliação de 25 vezes.

As armadilhas foram instaladas em parcelas de plantio de aroeira, catingueira e em solo sem cultivo, com espaçamento de três metros entre cada armadilha. Foram dispostas cinco armadilhas por faixa, totalizando 15 armadilhas distribuídas na área experimental. Os buracos para instalação das armadilhas foram escavados com dimensões suficientes para que as garrafas PET ficassem niveladas com a superfície do solo, facilitando o acesso dos insetos.

Após a coleta, os insetos capturados foram classificados até os níveis taxonômicos de gênero e espécie, com o objetivo de identificar a diversidade, abundância e distribuição da macrofauna edáfica na área de estudo. Esse levantamento contribuiu para o entendimento das interações ecológicas e para a análise da fertilidade do solo.

As armadilhas adaptadas do tipo PROVID foram projetadas com aberturas laterais que permitiam a entrada dos organismos, sendo descritas em detalhe nas Figuras 26 e 27.

**Figura 26**. Armadilha confeccionada para captura da macrofauna do solo. Sousa, PB, (Brasil), 2024
Fonte. Autor (2024

**Figura 27**. Armadilha confeccionada para captura da macrofauna do solo. Sousa, PB, (Brasil), 2024
Fonte. Autor (2024)

Os resultados indicam a presença de indivíduos da classe Hymenoptera, que costumeiramente habitam esse tipo de área e por serem mais resistentes a elevadas temperaturas. Bruchman et al. (2015) mencionam que este grupo se movimenta em seus ninhos no período de seca em busca de alimento.

O predomínio da Classe Insecta na macrofauna do solo foi verificado também na testemunha, só que em menor números. Essas classes também foram observadas por Correia et al. (2009), e em outros biomas brasileiros (Höfer et al., 2001; Silva et al., 2007).

Em relatos de outros estudos em biomas diferentes demonstraram aumento no número de grupos de invertebrados edáficos de acordo com a complexidade estrutural do ambiente, como os de (Vicente et al. 2010) entre área de mata e outra em avançado estado de degradação e de (Menezes et al. 2009) em florestas de Mata Atlântica em diferentes estágios sucessonais.

Nos tratamentos com as plantas nativas da Caatinga os números de indivíduos da população das ordens foram superiores a testemunha, comprovando que o ambiente da vegetação é mais propício a macrofauna do solo, (Tabela 5).

As plantas de espécies nativas da espécie da aroeira (*Myracrodruon urundeuva*) em áreas degradadas não apenas ajuda a restaurar a vegetação, mas também promove a recuperação da biodiversidade do solo. Isso é essencial para a fertilidade geral do ecossistema, melhorando

a fertilidade do solo e promovendo processos ecológicos vitais como a ciclagem de nutrientes, através da macrofauna edáfica, Tabela 5.

Entre os invertebrados do solo, a macrofauna é fundamental ao funcionamento do ecossistema, pois, além de afetar a produção primária de maneira direta e indireta, ocupam todos os níveis tróficos na cadeia alimentar do solo (Silva et al., 2007). O cultivo da aroeira, atraiu população indivíduos de várias Classes e Ordens, Tabela 5.

**Tabela 5.** Planta, parcela, classes, ordens taxonômicas e número de indivíduos da macrofauna do solo coletados no cultivo de aroeira, após dois anos de avaliação em dezembro de 2023, São Gonçalo, Sousa, PB, (Brasil)

| **Planta nativa da Caatinga** | **parcela** | **Classe** | **Ordem** | **Nº indivíduos da população** |
|---|---|---|---|---|
| *Myracrodruon urundeuva* | 1 | Insecta | Coleóptera | 6 |
| | | | Hymenoptera | 142 |
| | | | Hemiptera | 1 |
| | | Arachnida | Araneae | 5 |
| *Myracrodruon urundeuva* | 2 | Insecta | Mantodea | 1 |
| | | | Hymenoptera | 1218 |
| | | | Diptera | 2 |
| | | Arachnida | Araneae | 6 |
| *Myracrodruon urundeuva* | 3 | Insecta | Hymenoptera | 130 |
| | | Arachnida | Araneae | 4 |
| *Myracrodruon urundeuva* | 4 | Insecta | Coleóptera | 2 |
| | | | Hymenoptera | 168 |
| | | | Diptera | 4 |
| | | Arachnida | Araneae | 24 |
| *Myracrodruon urundeuva* | 5 | Insecta | Coleóptera | 2 |
| | | | Hymenoptera | 54 |
| | | | Diptera | 1 |
| | | Arachnida | Araneae | 4 |
| **Total .....** | | | | **1774** |

Fonte: Autor (2024)

A utilização da fauna edáfica como indicadora da qualidade do solo é amplamente reconhecida e bem documentada, especialmente em ambientes que sofrem interferências antrópicas. Estudos como os de Baretta et al. (2006), Pereira Júnior et al. (2010), Vicente et al. (2010) e Caproni et al. (2011) destacam a importância da macrofauna do solo na avaliação da saúde e sustentabilidade dos ecossistemas. Esses estudos fornecem uma base sólida para a aplicação dessa prática, ressaltando como a fauna edáfica contribui para o monitoramento e a recuperação ambiental.

Conforme relatado por Alves et al. (2009), o uso inadequado de práticas agrícolas, a

pecuária extensiva e a exploração dos recursos minerais e florestais nas caatingas têm gerado extensos núcleos de degradação em diversas áreas do estado. Diante desse cenário, o papel da fauna edáfica ganha ainda mais relevância, auxiliando na restauração das funções ecológicas do solo. Um exemplo significativo é o uso da *Myracrodruon urundeuva* (aroeira), que atua como espécie pioneira e facilitadora em áreas degradadas. Essa planta contribui para a restauração ambiental ao criar condições favoráveis para o estabelecimento de outras espécies vegetais e proteger o solo contra a erosão, seja hídrica ou eólica, problemas comuns em solos degradados.

A presença da aroeira também favorece o aumento da biodiversidade, estimulando o retorno de diversas espécies de macrofauna essenciais para a saúde do solo e para a ciclagem de nutrientes. Sua influência vai além da reintrodução de espécies, desempenhando um papel crucial na recuperação das funções ecológicas do solo. Entre essas funções destacam-se a decomposição da matéria orgânica e a aeração do solo, ambos processos fundamentais para a recuperação de ecossistemas degradados.

Por fim, a *Myracrodruon urundeuva* contribui para a melhoria da saúde do solo ao promover a estruturação do solo, o aumento do teor de matéria orgânica e a criação de microclimas favoráveis. Esse conjunto de fatores resulta em um suporte robusto para redes ecológicas ricas e funcionais, consolidando o papel dessa espécie na recuperação de áreas degradadas.

No estudo do plantio da catingueira evidencia que a macrofauna do solo em áreas plantadas com espécies nativas da Caatinga, como a catingueira **(***Cenostigma pyramidalis***)**, contribuiu para uma maior biodiversidade de organismos vivos em comparação com áreas sem cultivo (testemunhas), destacando sua importância no processo de recuperação de áreas degradadas, Tabela 6.

As plantas de catingueira atraíram populações e indivíduos pertencentes a diversas classes e ordens. Entre as ordens, Hymenoptera apresentou as maiores abundâncias, seguida por Díptera**,** neste caso, representada por moscas e são as larvas, que fazem parte da macrofauna do solo, já que os adultos (moscas) não são considerados nesse grupo na melhoria da fertilidade do solo, e por Araneae, Tabela 6. Essa diversidade reflete o papel facilitador da catingueira na restauração ecológica, ao criar condições favoráveis para o estabelecimento e a proliferação de organismos essenciais à saúde do solo.

**Tabela 6.** Planta, parcela, classes, ordens taxonômicas e número de indivíduos da macrofauna do solo coletados no cultivo de catingueira, após dois anos de avaliação em dezembro de 2023, São Gonçalo, Sousa, PB, (Brasil)

| Planta nativa da Caatinga | parcela | Classe | Ordem | Nº indivíduos da população | |
|---|---|---|---|---|---|
| *Cenostigma pyramidalis* | 1 | Insecta | Coleóptera | 1 | |
| | | | Hymenoptera | 563 | |
| | | | Diptera | 10 | |
| | | Arachnida | Araneae | 4 | |
| *Cenostigma pyramidalis* | 2 | Insecta | Coleóptera | 21 | |
| | | | Hymenoptera | 2 | |
| | | | Diptera | 129 | |
| | | Arachnida | Araneae | 1 | |
| *Cenostigma pyramidalis* | | Reptilia | Squamata | 1 | 1 |
| *Cenostigma pyramidalis* | 3 | Insecta | Coleóptera | 11 | |
| | | | Hymenoptera | 17 | |
| | | | Diptera | 7 | |
| | | Arachnida | Araneae | 13 | |
| *Cenostigma pyramidalis* | 4 | Insecta | Hymenoptera | 26 | |
| | | | Diptera | 3 | |
| | | Arachnida | Aracnídeos | 16 | |
| *Cenostigma pyramidalis* | 5 | Insecta | Coleóptera | 6 | |
| | | | Hymenoptera | 73 | |
| | | | Orthoptera | 1 | |
| | | Arachnida | Aracnídeos | 17 | |
| **Total .....** | | | | **922** | |

Fonte: Autor (2024)

A dominância de Hymenoptera, representada especialmente por formigas (Formicidae) nas amostras coletadas, corrobora os resultados obtidos por Araújo et al. (2009), Correia et al. (2009) e Pereira Júnior et al. (2010) em diferentes áreas de Caatinga paraibana, utilizando o mesmo método Provid**.** Esses estudos confirmam a predominância desse grupo na macrofauna do ecossistema, reforçando sua relevância ecológica.

A *Cenostigma pyramidalis* desempenha um papel significativo na promoção da biodiversidade do solo, especialmente em áreas em processo de recuperação. Este efeito é evidenciado pela maior diversidade e abundância de macrofauna em solos cultivados com a espécie, com destaque para a dominância de Hymenoptera, seguida por díptera (representados pelas moscas e as larvas são essências nas melhorias do solo) e Araneae. A elevada presença de formigas (Formicidae) reafirma os achados de estudos anteriores em ecossistemas de Caatinga.

Além de contribuir para a biodiversidade, a *Cenostigma pyramidalis* é uma planta eficaz na recuperação de áreas degradadas, promovendo melhorias na estrutura do solo,

aumento do teor de matéria orgânica e criação de condições favoráveis para o retorno da macrofauna. Esses benefícios são cruciais para a saúde e sustentabilidade dos ecossistemas em regiões semiáridas, desempenhando um papel vital na manutenção das funções ecológicas do solo.

O uso da *Cenostigma pyramidalis* e de outras espécies nativas em programas de recuperação ambiental é uma estratégia promissora para restaurar a qualidade do solo e promover a biodiversidade. Essa abordagem está alinhada com práticas de manejo sustentável e conservação ambiental, contribuindo para a resiliência dos ecossistemas e para o desenvolvimento de paisagens mais equilibradas em áreas semiáridas.

A presença de plantas nativas melhora significativamente a estrutura do solo, aumenta o teor de matéria orgânica, cria um microclima favorável e sustenta uma comunidade diversa de macrofauna. Em contraste, solos sem cultivo apresentam baixa atração de macrofauna devido à ausência de cobertura vegetal, menor quantidade de matéria orgânica e maior suscetibilidade à erosão e compactação, Tabela 7.

**Tabela 7**. Planta, parcela, classes, ordens taxonômicas e número de indivíduos da macrofauna do solo coletados na área da testemunha (solo sem cultivo), após dois anos de avaliação em dezembro de 2023. São Gonçalo, Sousa, PB, (Brasil).

| Planta nativa da Caatinga | parcela | Classe | Ordem | Nº indivíduos da população |
|---|---|---|---|---|
| Testemunha | 1 | Insecta | Coleóptera | 7 |
| | | | Hymenoptera | 205 |
| | | | Diptera | 1 |
| | | Arachnida | Araneae | 2 |
| Testemunha | 2 | Insecta | Coleóptera | 8 |
| | | | Hymenoptera | 51 |
| | | | Diptera | 4 |
| | | Arachnida | Araneae | 2 |
| Testemunha | 3 | Insecta | Coleóptera | 14 |
| | | | Hymenoptera | 218 |
| | | | Diptera | 24 |
| | | Arachnida | Araneae | 2 |
| Testemunha | 4 | Insecta | Coleóptera | 3 |
| | | | Hymenoptera | 183 |
| | | | Diptera | 3 |
| | | Arachnida | Araneae | 4 |
| Testemunha | 5 | Insecta | Coleóptera | 7 |
| | | | Hymenoptera | 32 |
| | | Arachnida | Araneae | 17 |
| **Total.....** | | | | **787** |

Fonte: Autor (2024)

Estudos como o de Araújo et al. (2009) demonstraram que áreas de Caatinga com vegetação nativa possuem maior diversidade e abundância de macrofauna em comparação com áreas degradadas. Nesse contexto, espécies nativas como aroeira (*Myracrodruon urundeuva*) e catingueira (*Cenostigma pyramidalis*) desempenham um papel crucial na manutenção da saúde do solo e da macrofauna.

De acordo com Correia et al. (2009) e Pereira Júnior et al. (2010), o método Provid é uma ferramenta promissora para avaliar a macrofauna em diferentes áreas, corroborando a predominância de Hymenoptera e outras ordens em solos com vegetação nativa.

A análise da população de organismos coletados mostra que as áreas sem cultivo (testemunhas) apresentaram um número inferior de indivíduos em comparação com as áreas cultivadas com *Myracrodruon urundeuva* e *Cenostigma pyramidalis*.

Esses resultados reforçam que solos desprovidos de cobertura vegetal são mais propensos à degradação e à erosão (hídrica e eólica), tornando-se ambientes desfavoráveis ao desenvolvimento da macrofauna e dificultando os processos de recuperação.

### 5.1 Avaliação da população e frequência relativa de indivíduos em cada área estudada

Na avaliação da população e da frequência relativa de indivíduos da macrofauna do solo coletados na área de plantio da aroeira (*Myracrodruon urundeuva*)**,** após dois anos de monitoramento, foram apresentados os dados quantitativos e calculada a frequência relativa de cada grupo de organismos. A frequência relativa foi determinada como a proporção de cada grupo em relação ao total de indivíduos coletados, expressa em porcentagem. Esse cálculo permite uma melhor compreensão da representatividade percentual de cada ordem de indivíduos dentro de cada parcela experimental. O cálculo pode ser representado pela fórmula: Frequência Relativa = (População do Grupo / População Total) × 100. (Figura 30; Figura 31; Figura 32).

Essa abordagem proporciona uma visão clara da composição da macrofauna edáfica em cada tratamento utilizado na recuperação do solo, assim como uma comparação com a faixa de solo sem cultivo. Dessa forma, é possível identificar as ordens de macrofauna edáfica mais frequentes em cada condição experimental, destacando as maiores e menores frequências de populações locais. Essa análise é essencial para avaliar a eficiência dos tratamentos e o impacto positivo da vegetação no restabelecimento da biodiversidade edáfica local.

Com relação a população de indivíduos no cultivo de aroeira, os dados obtidos apontam uma significativa superioridade na presença de insetos das ordens Hymenoptera, Araneae e Coleóptera na área cultivada com aroeira (*Myracrodruon urundeuva*). Essa predominância pode ser atribuída, provavelmente, ao fato de a aroeira proporcionar melhores condições ambientais, como abrigo e recursos, para essas ordens. Os besouros (Coleóptera), conhecidos por sua alta diversidade e abundância na natureza, são frequentemente atraídos em grandes quantidades pelas armadilhas utilizadas no estudo, Figura 28.

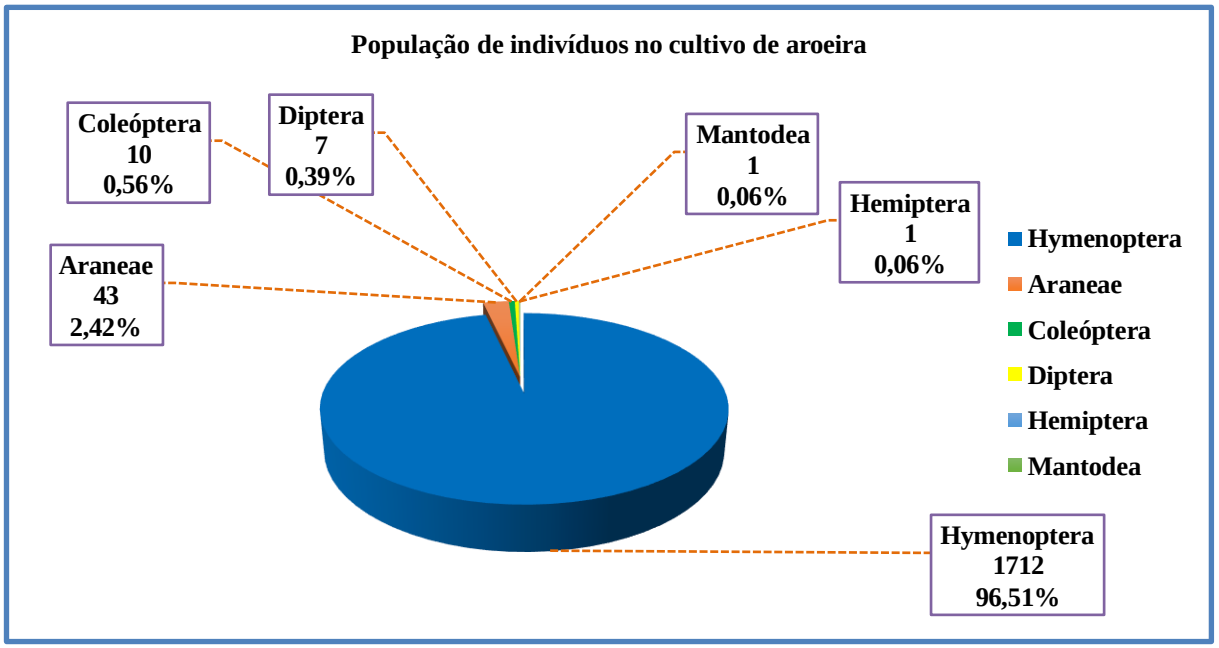



**Figura 28**. População e frequência relativa (%) de indivíduos da macrofauna do solo coletados na área de plantio de Aroeira, após dois anos de estudo, dezembro de 2023. São Gonçalo, Sousa, PB, (Brasil), 2024
Fonte: Autor (2024)

Outro aspecto relevante é a presença de indivíduos da classe Arachnida, como aranhas, o que contribui para a maior variação de classes taxonômicas na área estudada. A abundância de Hymenoptera, um grupo diversificado que inclui formigas, vespas e abelhas, é especialmente significativa, pois reflete um solo saudável e bem estruturado. Formigas, por exemplo, desempenham papéis cruciais na aeração do solo, na distribuição de matéria orgânica e no ciclo de nutrientes. Além disso, são importantes agentes no controle biológico de pragas, contribuindo para o equilíbrio ecológico.

Estudos realizados por Melo et al. (2015), ao avaliar a macrofauna do solo em áreas de Caatinga preservadas no município de Santana do Ipanema, Sertão Alagoano, identificaram oito grupos taxonômicos um número superior ao observado nesta pesquisa. Apesar disso, a ordem Hymenoptera também apresentou destaque no presente estudo, sendo praticamente predominante na faixa cultivada com a aroeira, representando mais de 96% da população de insetos coletados.

Esse resultado reforça o papel da vegetação nativa na criação de condições favoráveis para a recuperação da biodiversidade edáfica. A presença e a abundância de diferentes ordens de macrofauna no solo fornecem informações valiosas sobre a saúde do ecossistema e os efeitos das práticas de cultivo. No solo cultivado com catingueira (Cenostigma pyramidalis), a predominância das ordens Hymenoptera, seguida por Díptera, Araneae e Coleóptera, conforme apresentado na Figura 29, revela diversos benefícios.

A abundância de Hymenoptera, um grupo diversificado que inclui formigas, vespas e abelhas, é um indicativo de solo saudável e bem estruturado. Formigas, em particular, desempenham papéis importantes na aeração do solo e no ciclo de nutrientes. Neste estudo, a população de Hymenoptera ultrapassou 73% dos indivíduos coletados, Figura 29.

Além disso, formigas podem atuar no controle de populações de pragas, reforçando seu papel na manutenção do equilíbrio ecológico. Em relação a população de indivíduos no cultivo da catingueira, estão na Figura 29.

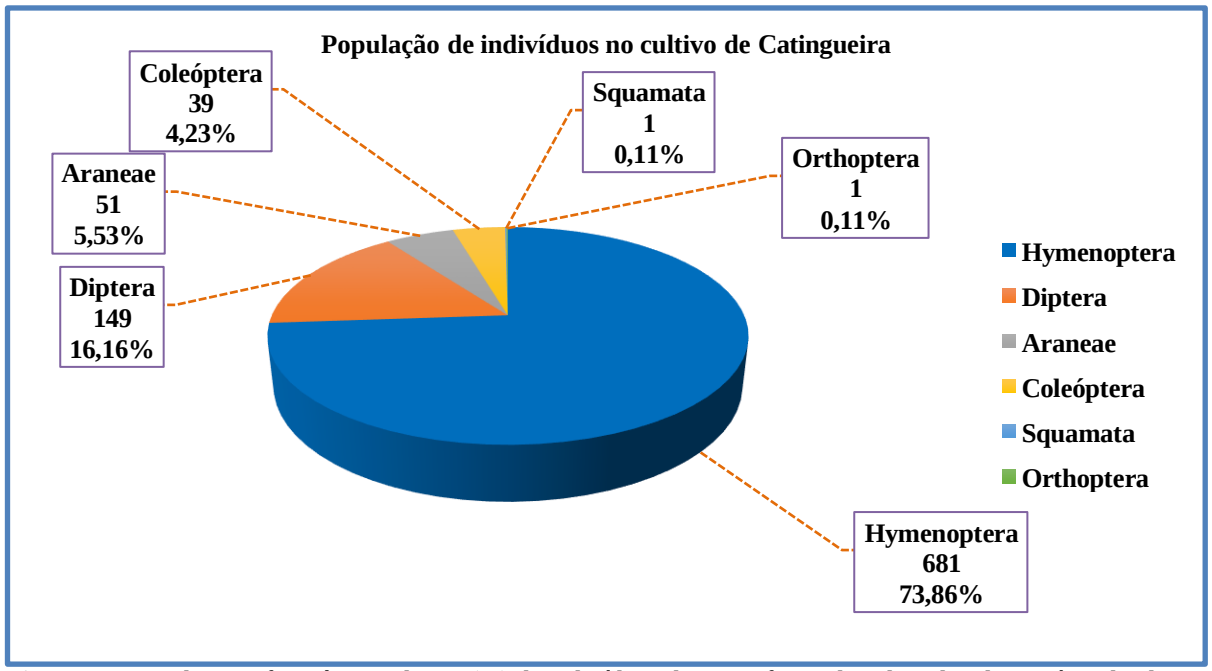



**Figura 29**. População e frequência relativa (%) de indivíduos da macrofauna do solo coletados na área de plantio de catingueira, após dois anos de avaliação, dezembro de 2023. São Gonçalo, Sousa, PB, (Brasil), 2024, (Brasil)
Fonte: Autor (2024)

A macrofauna edáfica é essencial para o funcionamento dos ecossistemas, pois influencia a produção primária de maneira direta e indireta, além de ocupar todos os níveis tróficos da cadeia alimentar do solo (Silva et al., 2007).

Na ordem Díptera, a presença de moscas e mosquitos em grandes números pode estar associada à presença de matéria orgânica em decomposição e alta umidade, fatores que indicam um solo fértil. Já a ordem Araneae, que inclui aranhas, é composta por predadores naturais que contribuem para o controle biológico de outros invertebrados, ajudando a manter o equilíbrio ecológico. A ordem Coleóptera, que abrange besouros, é composta em grande parte por detritívoros, organismos que desempenham um papel vital na decomposição da matéria orgânica e na reciclagem de nutrientes no solo.

O uso da fauna edáfica como indicador da qualidade do solo é amplamente documentado, especialmente em ambientes submetidos à interferência antrópica (Baretta et al., 2006; Pereira Júnior et al., 2010; Vicente et al., 2010; Caproni et al., 2011).

Esses resultados sugerem que o cultivo da catingueira pode ser altamente benéfico para a biodiversidade do solo, promovendo uma comunidade rica e diversificada de macrofauna. Isso pode trazer implicações positivas para a saúde do solo, a produtividade agrícola e a sustentabilidade ecológica, além de contribuir para a recuperação de áreas degradadas e o fortalecimento dos serviços ecossistêmicos em sistemas agrícolas.

Em comparação à testemunha (solo sem plantas), a macrofauna foi significativamente maior nas áreas cultivadas, destacando a importância da vegetação na promoção da biodiversidade do solo. No que se refere a população de indivíduos capturados no solo sem cultivo, então na Figura 30.

Esses dados indicam que as práticas de cultivo com espécies arbóreas têm um impacto positivo na atração e recomposição da macrofauna edáfica, contribuindo para o restabelecimento da fertilidade e diversidade do solo.

Os resultados mostram uma menor diversidade e frequência da macrofauna na área de solo sem cultivo (testemunha) em comparação com solos cultivados com aroeira (Myracrodruon urundeuva) e catingueira (Cenostigma pyramidalis) no semiárido paraibano (Figura 30).

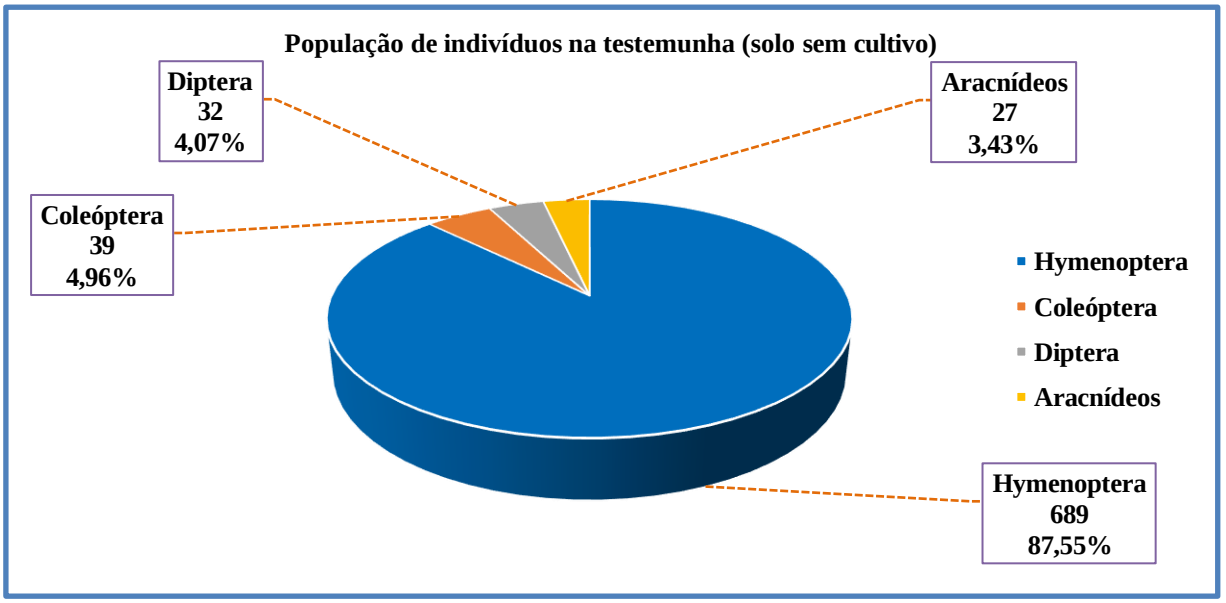



**Figura 30**. População e frequência relativa (%) de indivíduos da macrofauna do solo coletados, na área sem cultivo (testemunha), após dois anos de experimentação, dezembro de 2023. São Gonçalo, Sousa, PB, (Brasil)
Fonte: Autor (2024)

Na área testemunha (solo sem cultivo), foi observada a menor diversidade e frequência da macrofauna edáfica local, evidenciando um ecossistema menos saudável e menos produtivo. Esse resultado reflete a importância da cobertura vegetal, cuja ausência expõe o solo a processos como erosão, temperaturas extremas e perda de matéria orgânica. A retirada acentuada da vegetação, associada à atividade pecuária extensiva e às monoculturas, leva à compactação do solo e à simplificação do habitat, reduzindo drasticamente a diversidade da comunidade do solo (Assad, 1997).

A ausência de queda de folhas e outros detritos vegetais reduz a quantidade de matéria orgânica disponível para decomposição, diminuindo o alimento para a macrofauna. Além disso, a falta de raízes das plantas prejudica a estruturação do solo, reduzindo sua porosidade e sua capacidade de retenção de água, o que torna o ambiente menos favorável para a macrofauna. Esses fatores destacam a importância da cobertura vegetal e do plantio de árvores para a melhoria dos atributos químicos, físicos e biológicos do solo.

Práticas como a introdução de espécies nativas, como aroeira e catingueira, desempenham um papel crucial na recuperação de áreas degradadas, promovendo um solo mais saudável e sustentável, com maior capacidade de suporte à biodiversidade edáfica e aos serviços ecossistêmicos.

## 5.2 O índice de diversidade de Shannon (H) o índice de uniformidade de Pielou (e) da Macrofauna do Solo

Realizamos e avaliamos a macrofauna edáfica do solo no período de estudo da pesquisa, as amostras foram quantificadas e reunidas no grupo taxonômico Ordem e Classes por meio da comparação da sua morfologia com a literatura (Costa et al., 2006; Triplehorn; Jonnson, 2011). Para todo o estudo, foram determinadas a composição da comunidade da macrofauna (identificação de todas as ordens), sua abundância ou frequência relativa (referente ao tamanho da população, isto é, quanto cada ordem representou na comunidade) e a riqueza de grupos (número total de ordens presentes).

A partir daí, calculou-se o índice de diversidade de Shannon (H) ($H = - \Sigma pi .\log pi$, onde $pi = ni/N$, ni = densidade de cada grupo e $N = \Sigma$ da densidade de todos os grupos), com resultados variando de zero a cinco. Menores valores indicam menor diversidade e maior dominância de um ou mais grupos na comunidade (Nunes et al., 2008; Pasqualin et al., 2012). Também foi calculado o índice de uniformidade de Pielou (e) ($e = H/\log S$, com H = índice de Shannon e S = número de grupos), que varia de zero a um, com o valor mais elevado indicando maior homogeneidade e, portanto, máxima diversidade, uma vez que todos os grupos são igualmente abundantes (Ricklefs, 2003).

Com base nos dados apresentados, o índice de diversidade de Shannon (H) registrou seus maiores valores nos cultivos das espécies Aroeira (Myracrodruon urundeuva) e catingueira (Cenostigma pyramidalis), conforme ilustrado na Figura 31. Esses resultados refletem uma maior diversidade e riqueza, além de uma notável dominância de um ou mais grupos dentro da comunidade. Nesse caso, observou-se a presença de duas classes principais (Arachnida e Insecta) no cultivo de *Myracrodruon urundeuva*, com destaque para as ordens Hymenoptera, Díptera e Araneae. A ordem Hymenoptera, composta em grande parte por formigas, foi a mais dominante.

O índice de uniformidade de Pielou (e) também apresentou valores elevados (Figura 31), indicando uma maior homogeneidade entre os grupos de classes e ordens nesta área de cultivo de *Myracrodruon urundeuva*. Foram identificadas quatro ordens predominantes: Hymenoptera, Araneae, Díptera e Mantódea, evidenciando uma significativa quantidade e riqueza de insetos nas áreas plantadas com as espécies *Myracrodruon urundeuva* e *Cenostigma pyramidalis*.

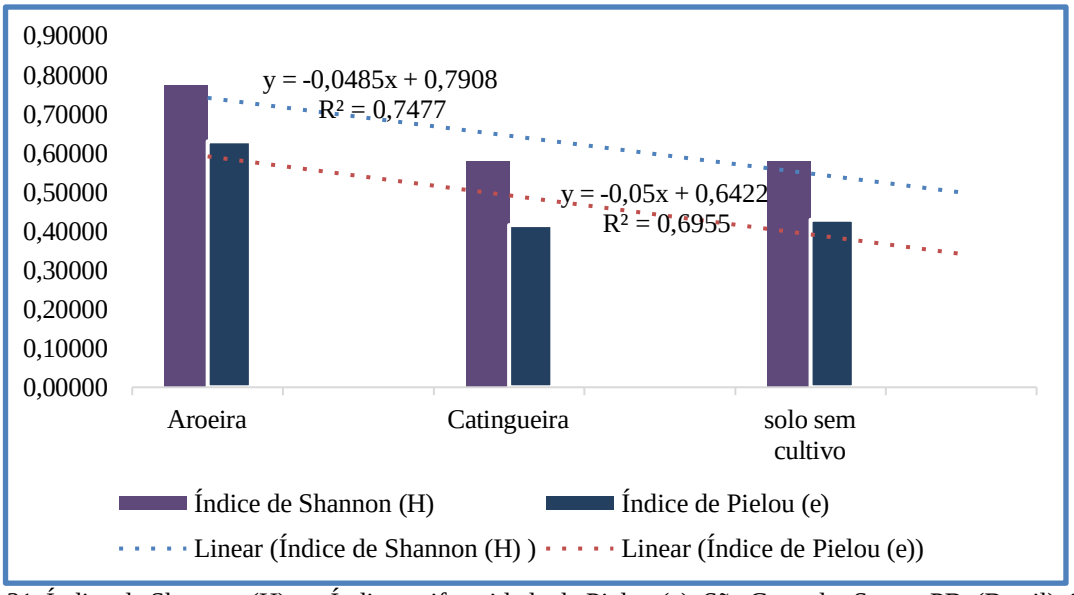



Figura 31. Índice de Shannon (H) e o Índice uniformidade de Pielou (e). São Gonçalo, Sousa, PB, (Brasil), 2024
Fonte. Autor (2024)

A predominância da classe Insecta na macrofauna do solo foi igualmente observada em áreas cultivadas e de borda de mata no agreste da Paraíba por Correia et al. (2009), assim como em outros biomas brasileiros (Höfer et al., 2001; Silva et al., 2007). Os resultados obtidos neste estudo sugerem que o cultivo de espécies vegetais atrai populações diversificadas de indivíduos, aumentando a riqueza local e contribuindo para a melhoria dos atributos químicos, físicos e biológicos do solo.

Com relação à testemunha (solo sem cultivo), podemos dizer que o índice de diversidade de Shannon (H) apresentaram valores inferiores em relação as áreas plantadas com as espécies nativas , mesmo assim, houve presenças de organismos vivos em quantidade e ordens menores, indicando maior diversidade e maior dominância de um ou mais grupos dentro da comunidade, nesse caso, com uma classe Insecta e duas ordens Hymenoptera e Díptera, prevalecendo a dominância da ordem Hymenoptera, ordem das formigas.

Mesmo assim na testemunha (solo sem plantio) os dados apontam para as menores quantidades de indivíduos em comparação com as parcelas cultivadas com aroeira e catingueira.

Quanto ao índice de uniformidade de Pielou (e), também apresentaram quantidade inferiores a área com plantio da aroeira, superando a área de plantio de catingueira, demostrando que a área de aroeira apresentou maior abrigo aos indivíduos das comunidades de organismos vivos, indicando a superioridade da aroeira em relação a catingueira e a testemunha.

A análise reforça a convicção de que solos descobertos, desprovidos de abrigos e matéria orgânica, atraem poucos organismos, o que dificulta ainda mais a recuperação do solo e a melhoria de seus atributos.

A dominância de Hymenoptera, especialmente representada por formigas (Formicidae) nas amostras coletadas, corrobora os resultados de Araújo et al. (2009), Correia et al. (2009) e Pereira Júnior et al. (2010), que também identificaram a prevalência desse grupo na macrofauna do ecossistema em diferentes áreas da Caatinga paraibana, utilizando o método Provid. Esses achados confirmam a expressiva presença de Hymenoptera nesse bioma.

Segundo Souto et al. (2008), a presença de grupos de organismos edáficos menos abundantes na Caatinga, embora menos frequente, também é relevante, considerando o conhecimento ainda limitado sobre esses organismos e o papel que desempenham na ciclagem de nutrientes e no fluxo de energia do ecossistema. É possível que as ocorrências pontuais desses grupos estejam relacionadas à sua especialização alimentar, seja fitófago ou saprófaga (Triplehorn; Jonsson, 2011).

Nesse contexto, a área sem cultivo de plantas apresentou uma baixa densidade populacional de organismos edáficos em comparação às áreas que foram plantadas com as espécies nativas, refletindo a ausência de avanços significativos nos atributos do solo.

## 6. CONCLUSÕES

O manejo adotado no cultivo de *Myracrodruon urundeuva* e *Cenostigma pyramidale* demonstrou alta eficácia na recuperação de áreas degradadas por salinidade, promovendo melhorias significativas nos atributos do solo, incluindo salinidade, fertilidade e parâmetros edáficos em geral. Essas espécies contribuíram para a revitalização da estrutura e agregação do solo, maior retenção de água, redução da erosão e aumento da diversidade e homogeneidade da macrofauna edáfica, como evidenciado pelos índices de Shannon (H) e Pielou (e).

O estudo revelou maior riqueza de organismos nas áreas cultivadas em comparação às áreas sem cultivo, com destaque para a predominância da ordem Hymenoptera, que representou mais de 87% da frequência nas áreas não cultivadas e foi abundante nas áreas manejadas. Nas áreas cultivadas, além de Hymenoptera, foram registradas as ordens Araneae**,** Coleóptera e Díptera, enquanto a área sem cultivo apresentou menor diversidade.

Portanto, este estudo fornece uma base científica robusta para intervenções futuras em áreas degradadas, recomendando o uso de *Myracrodruon urundeuva* e *Cenostigma pyramidale* como espécies-chave no processo de recuperação ambiental. Além disso, destaca a necessidade de expandir o uso de outras espécies nativas da Caatinga e de aprofundar as pesquisas sobre a macrofauna edáfica, com foco em suas interações com o solo e na sua contribuição para a fertilidade e biodiversidade. Essas práticas são fundamentais para a recuperação sustentável e eficiente de áreas degradadas no semiárido paraibano, promovendo um manejo ambiental equilibrado e resiliente.

## REFERÊNCIAS

ABROL, I.P.; YADAV, J.S.P.; MASSOUD, F.I. **Salt-affected soils and their management**. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Soils Bull. 39, Rome, Italy, 1988.

AGUIAR GALVÃO, W. R.; BRAS FILHO, R.; CANUTO, K. M.; RIBEIRO, V. R.; CAMPOS, A. R.; MOREIRA, A. C. O. M.; SILVA, S. O.; MESQUITA FILHO, F. A.; SANTOS, S. A. A. R.; MELO JUNIOR, J. M. A.; GONÇALVES, V. G. G.; FONSECA, S. G. C.; BANDEIRA, M. A. M. **Gastroprotective and anti-inflammatory activities integrated to chemical composition of Myracrodruon urundeuva Allemão – A conservationist proposal for the species.** Journal of Ethnopharmacology, v. 222, p. 77–189, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jep.2018.04.024. Acesso em: [05 de junho de 2024].

AGUIAR, L. C. G. G.; BARROS, R. F. M. (2012). **Plantas medicinais cultivadas em quintais de comunidades rurais no domínio do cerrado piauiense (Município de Demerval Lobão, Piauí, Brasil).** Revista Brasileira de Plantas Medicinais, 14(3), 419-434. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S1516-05722012000300001. Acesso em: [05 de junho de 2024].

ALBUQUERQUE, U. P.; ANDRADE, L. H. C. (2002). **Conhecimento botânico tradicional e conservação em uma área de caatinga no estado de Pernambuco, Nordeste do Brasil**. Acta Botanica Brasilica, 16(3), 273-285. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1590/S0102-3062002000300004. Acesso em: [05 de junho de 2024].

ALBUQUERQUE, U. P. (2006). **Re-examining hypotheses concerning the use and knowledge of medicinal plants: a study in the Caatinga vegetation of NE Brazil**. Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine, 2, 10 p. Disponível em: https://doi.org/10.1186/1746 -4269- -30. Acesso em: [05 de junho de 2024].

ALMEIDA NETO, J. R., BARROS, R. F. M.; SILVA, V. R. R. (2015). **Uso de plantas medicinais em comunidades rurais da Serra do Passa-Tempo, estado do Piauí, Nordeste do Brasil**. Revista Brasileira de Biociências, Porto Alegre, 13(3), 165-175.

ALMEIDA, C. F. C. B. R.; ALBUQUERQUE, U. P. (2002). **Uso e conservação de plantas e animais medicinais no estado de Pernambuco (Nordeste do Brasil): um estudo de caso**. Interciência, 27(6), 276-285.

AMARAL, A.S.; ANGHINONI, I.; DESCHAMPS, F.C. **Resíduos de plantas de cobertura e mobilidade dos produtos da dissolução do calcário aplicado na superfície do solo**. R. Bras. Ci. Solo, 28:115-123, 2004.

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

ANDEREGG, William R. L. **Divergent forest sensitivity to repeated extreme droughts**. **In: Nature Climate Change**, v. 10, 2020. p. 1091–1095. Disponível em: https://www.nature.com/articles/s41558-020-00919-1. Acesso em: [26 de julho de 2023]

ANTONIOLLI, Z. I.; CONCEIÇÃO, P. C.; BÖCK, V.; PORT, O.; SILVA, D. M.; SILVA, R. F. **Método alternativo para estudar a fauna do solo**. Revista Ciência Florestal, v.16, n.4, p.407- 417, 2006.

ARAÚJO, F.S.; TABARELLI, M. "**The Role of Native Vegetation in the Recovery of Degraded Areas in the Caatinga Biome**." Brazilian Journal of Botany, 34(3), 365-376. 2011.

ARAUJO, K. D. et al. **Levantamento florístico do estrato arbustivo-arbóreo em áreas contíguas de caatinga no cariri paraibano**. Revista Caatinga, v. 23, n. 1, p. 63-70, 2010.

ARAÚJO, K. D.; DANTAS, R. T.; ANDRADE, A. P. de; PARENTE, H. N.; CORREIA, K. G.; PAZERA JR., E. **Levantamento da macrofauna invertebrada do solo em área de caatinga no semiárido da Paraíba.** GeoAmbiente On-Line, Jataí, n. 13, p 19-31, 2009.

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

ASSAD, M. L. L. **Fauna do solo**. In: VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M. (Eds). **Biologia dos solos dos Cerrados. Planaltina:** EMBRAPA-CPAC, 1997. p. 363-443.

AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. **Water quality for agriculture**. Rome: FAO, 1976. 97p. (FAO. Irrigation and Drainage Peper, 29).

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. **Dinâmica e função da matéria orgânica**. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais.** Porto Alegre: GENESIS, 1999. p. 9-23. Disponível em: https://www.scielo.br/j/cerne/a/X4nqrdqbLLsPKyZ3nQhnDHC/?lang=pt&format=html. Acesso em: [04 de abril de 2024].

BAPTISTEL, A. C., COUTINHO, J. M. C. P., LINS NETO, E. M. F.; MONTEIRO, J. M. (2014). **Plantas medicinais utilizadas na Comunidade Santo Antônio**, **Currais, Sul do Piauí: um enfoque etnobotânico**. Revista Brasileira de Plantas Medicinais, Campinas, 16(2), 406-425. Disponível em: https://doi.org/10.1590/1983-084X/12_137. Acesso em: [05 de junho de 2024].

BARETTA, D.; MAFRA, A. L.; SANTOS, J. C. P.; AMARANTE, C. V. T.; BERTOL, I. **Análise multivariada da fauna edáfica em diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 41, n. 11, p. 1675-1679, 2006.

BRADY, N.C.; WEIL, R.R. The **Nature and Properties of Soils**. Pearson. 2016.

BRUCHMAN, G. E. C.; PEZZINI, C.; KÖHLER, A.; PUTZKE, J. **Análise sazonal da entomofauna associada à vegetação no aterro da Souza Cruz, RS, Brasil**. Revista Jovens Pesquisadores, v. 5, n. 1, p. 25-39, 2015.

CAMILLO, J. **Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: plantas para o futuro: região Nordeste.** Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Biodiversidade. – Brasília, DF: MMA, pág. 401-412, 2018.

CANELLAS, L.P.; ZANDONADI, D.B.; MÉDICI, L.O.; PERES, L.E.P.; OLIVARES, F.L.; FAÇANHA, A.R. **Bioatividade de substâncias húmicas: ação sobre desenvolvimento e metabolismo das plantas.** In: CANELLAS, L.P. e SANTOS, G.A. (Ed.). **Humosfera: tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas.** Campos dos Goytacazes: CCTA, UENF, 2005. p. 224-243.

CARMONA, F. de C.; ANGHINONI, I.; HOLZSCHUH, M. J.; ANDRIGHETTI, M. H. **Cation dynamics in soils with different salinity levels growing irrigated rice**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 34, p. 1851-1863, 2010.

CASTILLO, E. G.; TUONG, T. P.; ISMAIL, A. M.; INUBUSHI, K. **Response to salinity in rice: Comparative effects of osmotic and ionic stresses**. Plant Production Science, v. 10, p. 159-160, 2007.

CAPRONI, A. L.; GRANHA, J. R. D. de O.; SOUCHIE, E. L.; FIGUEIRA, A. F.; OLIVEIRA, A. C. S. de. **Diversidade da macrofauna do solo em ecossistemas no município de Rolim de Moura, RO**. Global Science and Technology, Rio Verde, v. 4, n. 3, p. 48-57, 2011.

CARVALHO, F.G.; STAMFORD, N.P. **Fixação do N2 em leucena (Leucaena leucocephala) em solo da região semi-árida brasileira submetido à salinização.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.23, p.237-243, 1999.

CAVALCANTE, L. F.; LIMA, R.L.S.; SANTIAGO, R.D.; CAVALCANTE, I.H.L.; RAÚJO, F.A.R. **Melhoria química e física de um solo salino sódico tratado com matéria orgânica e cultivado com leguminosas forrageiras**. Ciência Agrícola, v. 6, n. 1, p 27-35. 2002.

CHAUM, S.; C. KIRDMANEE. **Effect of salt stress on proline accumulation, photosynthetic ability and growth characters in two maize cultivars**. Pak. J. Bot., 41: 87-98. 2009.

CHEN, S.H.; GUO, S. L.; WANG Z. L.; ZHAO J. Q.; ZHAO Y. X.; ZHANG H. **Expressed sequence tags from the halophyte Limonium sinense**. DNA Sequence. v. 18. p. 61–67, 2007.

CNIP. **Centro Nordestino de Informações sobre Plantas**. Disponível em: <http://www.cnip.org.br/bdpn/ficha.php?taxon=1329 >. Acesso em: [14 dezembro de 2023].

CORREIA, K. G.; ARAÚJO, K. D.; AZEVEDO, L. G. de; BARBOSA, E. A.; SOUTO, J. S.; SANTOS, T. S. **Macrofauna edáfica em três diferentes ambientes na região do Agreste paraibano, Brasil.** Engenharia Ambiental, Espírito Santo do Pinhal, v. 6, n. 1, p. 206-213, 2009.

COSTA, C.; IDE, S.; SIMONKA, C. E. **Insetos imaturos: metamorfose e identificação**. Ribeirão Preto: Holos Editora, 2006. 249p.

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: INCTSal, 2010, p. 129-140.

DUTRA, I.; MEDEIROS, J.F. de; PORTO FILHO, F. de Q.; COSTA, M. da. C. **Determinação do fator de cobertura do melão cultivado sob diferentes lâminas e salinidades da água de irrigação.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.4, p.146-151, 2000.

ERMANI, E. et al. **Manual de adubação e de calagem para o Estado de Minas Gerais**. Viçosa: CFSEMG, 2007.

ERNANI, P. R. **Química do Solo e Disponibilidade de Nutrientes**. 1. ed. Lages: UDESC 2008. 230 p.

FAO - Organização Das Nações Unidas Para A Alimentação e a Agricultura. **Mapa Global de Solos Afetados por Sal**. Brasil, 2021. Disponível em: https://www.fao.org/global-soil-partnership/gsasmap /. Acesso em: 15 abr. 2023. Acesso em: [5 julho. 2023].

FAO - Organização Das Nações Unidas Para A Alimentação e a Agricultura. **Sementes o "seguro de vida" da nossa produção alimentar**. Brasil, 2022. Disponível em: https://www.fao.org/brasil/noticias/detail-events/pt/c/1599751 /. Acesso em: [26 setembro de 2023].

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. 2011. **The state of the world's land and water resources for food and agriculture**. Roma: FAO. 50 p

FURLANI, P. R. **Potássio: funções, comportamento e aplicação na agricultura**. In: FERTBIO 2004. Anais... Lages: SBCS, 2004.

FRANCHINI, J.C.; GONZALEZ-VILA, F.J.; CABRERA, F.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A. **Rapid transformations of plant water-soluble organic compounds in relation to cation mobilization in an acid Oxisol**. Plant and Soil, v.231, p.55-63, 2001.

FRANCHINI, J.C.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A. & MALAVOLTA, E. **Dinâmica de íons em solo ácido lixiviado com extratos de resíduos de adubos verdes e soluções puras de ácidos orgânicos**. Pesq. Agropecuária. Bras., 34:2267-2276, 1999.

FRANCHINI, J.C.; HOFFMANN-CAMPO, C.B.; TORRES, E.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, A. **Organic composition of green manure during growth and its effect on cátion mobilization in an acid Oxisol**. Communications in Soil Science and Plant Analysis, v.34, p.2045-2058, 2003.

FREIRE, M. B. G. dos S.; FREIRE, F. J. **Fertilidade do solo e seu manejo em solos afetados por sais.** In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (org.). Fertilidade do solo. Viçosa: SBCS, 2007. p. 1017.

GHEYI, H.R.; AZEVEDO, N.C. de; BATISTA, M.A.F.; SANTOS, GILL, J. S.; SALE, P. W. G; TANG, C. **Amelioration of dense sodic subsoil using organic amendments increases wheat yield more than using gypsum in a high rainfall zone of southern Australia.** Field Crops Research, v.107. p.265-275, 2008.

GHEYI, H.R.; AZEVEDO, N.C. de; BATISTA, M.A.F.; SANTOS, J.G.R. dos. **Comparação**

**de métodos na recuperação de solo salino-sódico**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.19, p.173-178, 1995.

HASANUZZAMAN, M.; KAMRUN NAHAR, ALAM, M.; BHOWMIK, P. C.; HOSSAIN, A.; RAHMAN, M. M.; PRASAD, M. N. V.; OZTURK, M.; FUJITA, M. **Potential Use of Halophytes to Remediate Saline Soils**. Biomed Research International, 2014.

HAYWARD, H. E.; WALDLEIGH, C. E**. Plant growth on saline and alkali soils**. Advances in Agronomy, v. 1, p. 1-38, 1949.

HENRIQUES, L. C. M.; VICHIATO, M. R. M.; VICHIATO, M**. Conservação de espécies florestais protegidas ou ameaçadas de extinção em Belo Horizonte, MG**. Tecnol. & Ciências Agropecuárias, João Pessoa, v.12, n.2, p.15-24, jun. 2018.

HOLANDA, A. C.; SANTOS, R. V.; SOUTO, J. S.; ALVES, A. R. 2007. **Desenvolvimento inicial de espécies arbóreas em ambientes degradados por sais**. Revista de Biologia e Ciências da Terra, v.7, n.1, p.39-50

KABALA, K.; JANICKA-RUSSAK, M. $Na^+/H^+$ **antiport activity in plasma membrane and tonoplast vesicles isolated from NaCl- treated cucumber roots**. Biologia Plantarum. V. 56 n. 2. p. 377-382. 2012.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia: relações solo-planta**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. 262 p.

KONONOVA, M.M. **Materia Orgánica del suelo:su naturaleza, propiedades y métodos de investigación**. Barcelona, Oikos-tau, 1982. 364p.

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 do Solo, v. 32, p. 1065- 1072, 2008.

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente. Sementes florestais: **colheita, beneficiamento e armazenamento.** Programa Florestal, Projeto IBAMA/PNUD/BRA, 1998. 27 p.

LIMA, E. F. S. et al. **Fontes e doses de matéria orgânica na composição do substrato para produção de muda de mamoneira**. Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas, Campina Grande, v. 11, n. 2, p. 77-83, maio/ ago. 2007.

LIMA, J. E. F. W.; FERREIRA, R. S. A. CHRISTOFIDIS, D. **O uso da irrigação no Brasil.** Research Gate, [s. l], v. 1, n. 1, p. 1-17, jun. 2014.

LUCENA, R. F. P., ALBUQUERQUE, U. P., MONTEIRO, J. M., ALMEIDA, C. F. C. B. R., FLORENTINO, A. T. V.; FERRAZ, J. S. F. (2007). **Useful plants of the semi-arid northeastern region of Brazil – a look at their conservation and sustainable use. Environmental Monitoring and Assessment,** (125), 281–290. Disponível em: https://doi.org/101007/s10661 - 006-9521 -1. Acesso em: [05 de junho de 2024].

LUZ, C.L.S.; MITCHELL, J.D.; PIRANi, PELL, S.K. **Anacardiaceae in Flora do Brasil em construção**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: http://www.floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB115185, 2020. Acesso em: [05 de novembro de 2023].

LYERLY, P. J.; LONGENECKER, D. E. **Salinity control in irrigation agriculture**. College Station: Texas Agricultural Experiment Station, 1962. 19 p. (Texas Agricultural Experiment Station Bulletin, 876).

MAIA; SILVA, C.; SILVA, C. I.; HRCIR, M.; QUEIROZ, R. T.; IMPERATRIZ-FONSECA, V. L. **Guia de plantas: visitadas por abelhas na Caatinga**. Editora Fundação Brasil Cidadão, Fortaleza-CE, 1. Ed. 2012.

MAIA, S. S. S. et al. **Influência da adubação orgânica e mineral no cultivo do bamburral (Hyptis suaveolens (L.) Poit.) (Lamiaceae)**. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, Recife, v. 3, n. 4, p. 327-331, out./dez. 2008.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980.

MARQUES, J. J.; GUILHERME, L. R. G.; LIMA, J. M.; LOPES, A. S; ALVAREZ, V. H. (eds.). **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.3, p.165-208.

MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. **Química e mineralogia do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009.

MIRANDA, M. A.; OLIVEIRA, E. E. M. de, SANTOS, K. C. F. dos; FREIRE, M. B. G. S.; ALMEIDA, B. G. de. **Condicionadores químicos e orgânicos na recuperação de solo salino- sódico em casa de vegetação.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 15, n. 5, p.484–490, 2011.

MCNEAL, B. L. **Managing salt-affected soil.** Crops and Soils Magazine, v. 12, p. 12-13, 1976. MELO, M. K. N.; ARAÚJO, C. A.; CORREIA, I. R. C.; SANTOS, E. S.; SILVA, F. B.; ALVES, M. C. S.; LIMA, D. O.; ALBUQUERQUE, A. L. S. **Dinâmica da macrofauna edáfica em uma área de Caatinga no sertão Alagoano**. In: XXV CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOTECNIA, 2015, Fortaleza. Anais... Fortaleza: Associação Brasileira de Zootecnistas, 2015. p. 1-3.

MENEZES, C. E. G.; CORREIA, M. E. F.; PEREIRA, M. G.; BATISTA, I.; RODRIGUES, K. de M.; COUTO, W. H.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, I. P. de. **Macrofauna edáfica em estádios sucessionais de floresta estacional semidecidual e pastagem mista em Pinheiral (RJ).** Revista Brasileira de Ciência do solo, Campinas, v. 33, n. 6, p. 1647-1656, 2009.

MEURER, E. J. et al. **Manual de calagem e adubação para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Porto Alegre: SBCS/Núcleo Regional Sul/UFRGS, 2006.

MUNNS, R. **Genes and salt tolerance: bringing them together**. New phytologist, v. 167, p. 645–663, 2005.

NUNES, L. A. P. L.; ARAÚJO FILHO, J. A.; MENEZES, R. I. Q. **Recolonização da fauna edáfica em áreas de Caatinga submetidas a queimadas**. Revista Caatinga, Mossoró, v. 21, n. 3, p. 214-220, 2008.

OLIVEIRA, D. R., BRITO JUNIOR, F. E., SAMPAIO, L. A., Torres, J. C., Ramos, A. G. B.; NUNES, A. A. (2012). **Ethnopharmacological usage of medicinal plants in genitourinary infections by residents of chapada do Araripe, Crato, Ceará – Brazil**. Revista Brasileira de Promoção de Saúde, 25(3), 278-286. Disponívem em: https://doi.org/10.5020/18061230 .2012 .p278. Acesso em: [01 de junho de 2024].

OLIVEIRA, F. A.; MEDEIROS, J. F.; OLIVEIRA, M. K. T.; LIMA, C. J. G. S.; JUNIOR, A. B. A.; AMÂNCIO, M. G. **Desenvolvimento inicial do milho pipoca irrigado com água de diferentes níveis de salinidade.** Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v.4, n.2, p.149- 155, 2011.

OLIVEIRA, F. C. S., BARROS, R. F. M. & MOITA NETO, J. M. (2010). **Plantas medicinais utilizadas em comunidades rurais de Oeiras, semiárido piauiense**. Revista Brasileira de Plantas Medicinais, 12(3),282-301. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S1516-05722010000300006. Acesso em: [01 de junho de 2024].

OLIVEIRA, R. L. C., LINS NETO, E. M. F., ARAÚJO, E. L.; ALBUQUERQUE, U. P. (2007). **Conservation priorities and population structure of woody medicinal plants in an area of caatinga vegetation (Pernambuco State, NE Brazil).** Environment Monitoring and Assessmant, (132), 189–206. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s10661-006-9528-7. Acesso em: [01 de junho de 2024].

PACE, R.; BENINCASA, P.; GHANEM, M. E.; QUINET, M.; LUTTS, S**. Germination of untreated and primed seeds in rapeseed (Brassica Napus var. oleifera Del.) under salinity and low matric potential.** Experimental Agriculture, v. 48, n. 2, p. 238–251, 2012.

PANDOLFI, C.; MANCUSOA, S.; SHABALAB, S. **Physiology of acclimation to salinity stress in pea (Pisum sativum)**. Environmental and Experimental Botany. v. 84. p. 44-51. 2012.

PASQUALIN, L. A.; DIONÍSIO, J. A.; ZAWADNEAK, M. A. C.; MARÇAL, C. T. **Macrofauna edáfica em lavouras de cana-de-açúcar e mata no noroeste do Paraná – Brasil. Semina**: Ciências Agrárias, Londrina, v. 33, n. 1, p. 7-18, 2012.

PAREYN, F. G. C.; ARAÚJO, E. L.; FRUMMOND, M. A.; MIRANDA, M. J. C.; SOUZA, C. A.; SILVA, A. P. S.; BRAZOLIN, S.; MARQUES, K. K. M. **Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: plantas para o futuro: região Nordeste**. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Biodiversidade. – Brasília, DF: MMA, pág. 766-772, 2018.

PEREIRA JÚNIOR, L. R., ANDRADE, A. P., ARAÚJO, K. D., BARBOSA, A. S.; BARBOSA, F. M. (2014). E**spécies da Caatinga como alternativa para desenvolvimento para novos fitofármacos**. Floresta e Ambiente, 21(4), 509-520. Disponível em: https://doi.org/10.1590/2179 – 8087.024212. Acesso em: [01 de junho de 2024].

PEREIRA JÚNIOR, L. R.; FERRAZ, D. de S.; ALVES, G. S.; SOUSA, J. da S.; SOUTO, J. S. **Influência do cultivo agrícola convencional nas características químicas e macrofauna edáfica.** Engenharia Ambiental, Espírito Santo do Pinhal, v. 7, n. 3, p. 166-177, 2010.

PEREZ-MARIN, A. M.; CAVALCANTE, A. M. B.; MEDEIROS, S. S.; TINÔCO, L. B. M.; SALCEDO, I. H. **Núcleos de desertificação no semiárido brasileiro: ocorrência natural ou antrópica**. Revista Parcerias Estratégicas, v.17, n. 34, p.87-106, 2012.

POCKNEE S,; SUMNER ME. **Cation and nitrogen contents of organic matter determine its soil liming potential**. Soil Sci Soc Am J. 1997;61:86-92.

POHLMAN, A.A.; MCCOLL, J.G. **Kinetics of metal dissolution from forest soils by soluble organic acids**. Journal of Environmental Quality, v.15, p.86-92, 1986.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais**. 18. ed. São Paulo: Nobel, 2006. 549 p.

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.

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Biologia Vegetal. 7**. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2010.

RIBEIRO, M. R. **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2010. Cap. 2, **Origem e classificação dos solos afetados por sais.** ISBN 978-85-7563-489-9.

RIBEIRO, M. R. **Origem e classificação dos solos afetados por sais**. In: GHEYI, R.H.; DIAS, N.S.; LACERDA, C.F. **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: INCT Sal, 2010. p. 11-19.

RIBEIRO, M. R.; FREIRE, F. J.; MONTENEGRO, A. A. A. 2003. **Solos halomórficos no Brasil: Ocorrência, gênese, classificação, uso e manejo sustentável**. In: CURI, N.; SANTOS, M. A. **Adaptabilidade e Potencial Fitorremediador de Espécies Vegetais em Solo Salino**. 2016. 128 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2016

RICHARDS, L. A. **Diagnostic and improvement of saline and alkali soils**. Washington: U. S. Government Printing Office, 1974. 160 p. (U. S. Department of Agriculture Handbook 60).

RICHARDS, L. A. **Diagnóstico e rehabilitación de suelos salinos e sódicos**. México: Editorial Limusa, 1954. 172p.

RICKLEFS, R. E. A **Economia da Natureza.** Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2003. 542 p.

SALET, R. L. **Dinâmica de íons na solução de um solo submetido ao sistema plantio direto**. 1994. 111 f. Dissertação (Mestrado em Solos) - Curso de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SAMPAIO, E.V.S.B. (1995). "**Overview of the Brazilian Caatinga**." Brazilian Journal of Ecology, 1(1), 71-75.

SANTOS, M. A. **Adaptabilidade e potencial fitorremediador de espécies vegetais em solo salino**. 2016. 128 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2016.

SARAIVA, M. E., Ulisses, A. R. A., RIBEIRO, D. A., OLIVEIRA, L. G. S., MADÊDO, D. G., SOUSA, F. F. S., MENEZES, I. R. A., SAMPAIO, E. S. B.; SOUZA, M. M. A. (2015). **Plant species as a therapeutic resource in áreas of the savanna in the state of Pernambuco, Northeast Brazil.** Journal of Ethnopharmacology, (171), 141- 153. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jep.2015.05.034. Acesso em: [01 de junho de 2024].

SCHNITZER, M.; KHAN, S.U. **Soil organic matter**. Amsterdam, Elsevier, 1978. 319p.

SCHNITZER, M. **Soil organic matter the next 75 years**. Soil Sci., 151: 41-58, 1991

SHANNON, M.C. **Adaptation of plants to salinity. Advances in Agronomy**, San Diego, v.60, p.75-120, 1997.

SILVA, C. M.; SILVA, C. I. da; HRNCIR, M.; QUEIROZ, T. de; FONSECA, V. L. I. **Guia de Plantas Visitadas por Abelhas na Caatinga. Fortaleza:** Editora Fundação Brasil Cidadão, 2012. 1. ed.

SILVA, R. F. da; TOMAZI, M.; PEZARICO, C. R.; AQUINO, A. M. de; MERCANTE, F. M. **Macrofauna invertebrada edáfica em cultivo de mandioca sob sistemas de cobertura do solo**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 42, n. 6, p. 865-871, 2007.

SOUSA. C. H. C. 2007. **Análise da tolerância a salinidade em plantas de sorgo, feijão de corda e algodão. Fortaleza.** 73f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

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

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

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology**. 3. ed. Sunderland: Sinauer Associates, 2002. 798 p.

TAVAKKOLI, E.; RENGASAMY, P.; MCDONALD, G. K. **High concentrations of $Na^+$ and $Cl^-$ ions in soil solution have simultaneous detrimental effects on growth of faba bean under salinity stress**. Journal of Experimental Botany, v. 61, p. 4449–4459, 2011.

TOBE, K.; LI, X.; OMASA, K. **Seed germination and 17gar17al growth of a halophyle, kalidium capsicum (Chenopodiaceae).** Annals of Botany, v.85, p.391-396, 2000.

TRIPLEHORN, C. A.; JONNSON, N. F. **Estudo dos Insetos**. Tradução, 7. ed. de **Borror**

**and Delong´s Introduction to the Study of Insects.** São Paulo: Cengage Learning, 2011. 809 p.

TROPICOS. **Myracrodruon urundeuva Allemão**. Disponível em: http://legacy.tropicos.org/name/1300765. Acesso em: [05 de dezembro de 2023].

TEIXEIRA, P.C., **Manual de métodos de análise de solo. 3ª. ed. Revisada e ampliada**. Brasília, DF: Embrapa, 2017.

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

VIANA, S.B.A.; FERNANDES, P.D.; GHEYI, H.R. **Germinação e formação de mudas de alface em diferentes níveis de salinidade de água**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.5, p.259-264, 2001.

VICENTE, N. M. de F.; CURTINHAS, J. N.; PEREZ, A. L.; PREZOTTI, L. **Fauna edáfica auxiliando a recuperação de áreas degradadas do Córrego Brejaúba, MG. Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 17, n. 2, p. 104-110, 2010

WHITE, R. E. **Principles and Practice of Soil Science**: The Soil as a Natural Resource. 4. ed. Malden: Blackwell Publishing, 2006.

WHITEMORE, J. **Saline and sodic soils**. 7. ed. Mimeografado, 1975.

YAO, R.; FANG, S.; NICHOLS, N. J. A **strategy of $Ca^{2+}$ alleviating $Na^{+}$ toxicity in salt-treated Cyclocarya paliurus seedlings: photosynthetic and nutritional responses**. Plant Growth Regulation, v.68, p. 351-359, 2012.

## CAPÍTULO II

**DESEMPENHO COM PAU-FERRO (*LIBIDIBIA FERREA* MART. EX TUL L.P. QUEIROZ) E SABIÁ (*MIMOSA (CAESALPINIAEFOLIA* BENTH.) NA RECUPERAÇÃO DE SOLOS EM ÁREA DEGRADADOS POR SAIS NO SERTÃO PARAIBANO**

SILVA. J.J. Universidade Federal da Paraíba: novembro de 2024. **Desempenho com pau-ferro (*libidibia ferrea* (Mart. ex Tul) L.P. Queiroz) e sabiá (*mimosa caesalpiniaefolia* Benth.) na recuperação de solos em área degradados por sais no sertão paraibano**. Orientador: Prof. Dr. Jacob Silva Souto.

## RESUMO

A exploração desenfreada da Caatinga tem causado degradação em diversas áreas. Nesse contexto, a restauração ecológica, através de estratégias de plantio de árvores nativas, torna-se uma ferramenta essencial para mitigar as pressões humanas sobre os ecossistemas naturais exauridos. Diante disso, o presente estudo teve como objetivo realizar o plantio de árvores das espécies pau-ferro e sabiá, visando à recomposição vegetal e à recuperação de solo em processo de degradação, como parte da restauração ecológica em uma área degradada no Perímetro Irrigado de São Gonçalo, Sousa, PB. As árvores foram plantadas em faixas com espaçamento de 3,0 m x 3,0 m, totalizando 48 árvores, com parcelas úteis de quatro árvores por parcela e cinco repetições, resultando em 20 árvores de cada espécie. A avaliação foi realizada em delineamento inteiramente casualizado, subdividida no tempo, do período chuvoso de 2022 ao período de estiagem de 2023, totalizando dois anos de avaliação, com três tratamentos e cinco repetições. Foram avaliados a fertilidade do solo, salinidade do solo, e a presença da macrofauna do solo durante 24 meses. O tratamento controle consistiu em solo sem cobertura vegetal. Os parâmetros avaliados demonstram que a técnica e estratégia de plantio de árvores nativas da Caatinga em ambientes degradados estimulou a recuperação e a reabilitação de organismos indicadores de qualidade do solo, promovendo a recuperação de solos em processo de degradação. Conclui-se que o pau-ferro pode ser espécie promissora nas melhorias dos atributos do solo, já a espécie sabiá não foi eficiente na melhoria dos atributos do solo, portanto, não recomendamos essa espécie na recuperação de solos degradados por sais. Recomenda-se também o cultivo de outras espécies nativas da Caatinga e a realização de estudos de identificação dos grupos de maior representatividade em níveis taxonômicos mais específicos, a fim de obter informações mais detalhadas sobre a ecologia das populações e as interações da fauna no solo, visando a recuperação de áreas degradadas no semiárido paraibano.

**Palavras-chave**: ecossistemas degradados; reabilitação de solo; uso de plantas nativas; Caatinga.

SILVA. J.J. Universidade Federal da Paraíba: November 2024. **Performance with pau-ferro (libidibia ferrea (Mart. ex Tul) L.P. Queiroz) and sabiá (mimosa caesalpiniaefolia Benth.) in the recovery of soils in areas degraded by salts in the Paraíba backlands.** Advisor: Prof. Dr. Jacob Silva Souto.

## ABSTRACT

The unbridled exploitation of the Caatinga has caused degradation in several areas. In this context, ecological restoration, through strategies of planting native trees, becomes an essential tool to mitigate human pressures on depleted natural ecosystems. In view of this, the present study aimed to plant trees of the pau-ferro and sabiá species, aiming at the vegetation recomposition and recovery of soil in the process of degradation, as part of the ecological restoration in a degraded area in the Irrigated Perimeter of São Gonçalo, Sousa, PB. The trees were planted in strips with spacing of 3.0 m x 3.0 m, totaling 48 trees, with useful plots of four trees per plot and five replicates, resulting in 20 trees of each species. The evaluation was carried out in a completely randomized design, subdivided in time, from the rainy season of 2022 to the dry season of 2023, totaling two years of evaluation, with three treatments and five replicates. Soil fertility, soil salinity, and the presence of soil macrofauna were evaluated for 24 months. The control treatment consisted of soil without vegetation cover. The evaluated parameters demonstrate that the technique and strategy of planting native Caatinga trees in degraded environments stimulated the recovery and rehabilitation of soil quality indicator organisms, promoting the recovery of soils in the process of degradation. It is concluded that pau-ferro may be a promising species for improving soil attributes, while sabiá was not efficient in improving soil attributes, therefore, we do not recommend this species for the recovery of soils degraded by salts. We also recommend the cultivation of other native Caatinga species and the carrying out of studies to identify the most representative groups at more specific taxonomic levels, in order to obtain more detailed information on the ecology of populations and the interactions of fauna in the soil, aiming at the recovery of degraded areas in the semiarid region of Paraíba.

**Keywords:** degraded ecosystems; soil rehabilitation; use of native plants; Caatinga.

## 1. INTRODUÇÃO

O Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2022) alertou recentemente para o agravamento do processo de mudança climática no Planeta. O aumento da área de terras apresentando problemas com salinização em regiões áridas e semiáridas tem se tornado motivo de grande preocupação, principalmente por se concentrar em áreas irrigadas que receberam altos investimentos em infraestrutura para sua implantação. O emprego da irrigação sem um manejo adequado e com as condições de drenagem deficientes contribuem para que o processo de salinização seja acelerado, podendo atingir níveis prejudiciais à maioria das culturas em um espaço de tempo relativamente curto (Holanda et al., 2001).

As mudanças climáticas, embora de natureza global, têm impactos distintos, nas diferentes regiões do mundo. Na última década, regiões como o Semiárido brasileiro, passaram a enfrentar eventos climáticos mais extremos, na forma de secas, que se tornaram mais intensas, frequentes, abrangentes e duradouras. É o caso da maior seca do século, que ocorreu no período 2011-2017 na região (Buriti; Barbosa, 2018; Paredes-Trejo, 2021 b)

A salinidade é uma condição do solo que ocorre principalmente nas regiões áridas e semiáridas do mundo. A precipitação pluviométrica limitada nessas regiões, associada à baixa atividade bioclimática, menor grau de intemperização, drenagem deficiente e a utilização de água de má qualidade, conduzem à formação de solos com alta concentração de sais (Holanda et al., 2007).

A salinização do solo é um problema que vem crescendo em todo o mundo. Estima-se existir cerca de 1 a 5 bilhões de hectares de solos afetados por sais, com grande parte de todas as áreas irrigadas do mundo sofrendo com a redução da produção devido ao excesso de sais no solo (Ribeiro et al., 2003; Sousa, 2007).

A origem dos problemas de salinidade se confunde com a própria formação dos solos, que é um produto da intemperização das rochas, envolvendo processos físicos, químicos e biológicos, mediante a ação de fatores como clima, relevo, organismos vivos e o tempo (Ribeiro et al., 2003; Dias, 2010). O excesso de sais limita severamente a produção agrícola principalmente nas regiões áridas e semiáridas, onde cerca de 25% da área irrigada encontra-se salinizada (FAO, 2011).

Os recursos florestais têm sofrido grande pressão ao longo dos tempos, tanto através do desmatamento para fins agropecuários, como da extração de matéria-prima para suprir as

diferentes necessidades da indústria. Nas regiões em que tais recursos já foram explorados em demasia, a solução para reverter esse quadro são os plantios florestais, e, nesse caso, as sementes constituem o ponto de partida na produção das mudas (IBAMA 1998).

Com o objetivo de recuperar uma área degradada e afetada por sais, propõe-se o plantio de espécies nativas da Caatinga, como pau-ferro e sabiá. Essa estratégia visa melhorar os atributos do solo, incluindo a fertilidade e salinidade, além de restabelecer a macrofauna edáfica local e promover a restauração das condições naturais do ecossistema.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

O pau-ferro (*Libidibia ferrea*), pertencente à família das leguminosas, vulgarmente chamada de pau-ferro, é uma árvore com altura variando de 10- 15 m, com ocorrência em toda a região nordeste até o estado do Rio de Janeiro, na floresta pluvial atlântica. É uma espécie economicamente importante por ter multiplicidade de usos: as folhas servem para forragem; a madeira muito pesada empregada na construção civil, obras externas e marcenaria em geral, podendo ser aproveitada para plantios de áreas degradadas e paisagismo. Na medicina, a espécie também tem a sua utilidade: a decocção da madeira é anticatarral e cicatrizante; a casca é desobstruente; as raízes são debrífugas e antidiarréicas; o fruto tem propriedades béquicas e antidiabéticas (Tigre, 1976, Ducke, 1979; Lorenzi 1998; Braga, 2001).

O reflorestamento com pau-ferro (*Libidibia ferrea*) é uma prática eficaz para a proteção do solo, a restauração do ecossistema e a mitigação das mudanças climáticas. A introdução desta espécie nativa tem evidência na melhoria dos atributos do solo e aumenta a biodiversidade, mas também contribui significativamente para a captura de carbono e a regulação do clima. Esses benefícios reforçam a importância de continuar e expandir programas e pesquisas no reflorestamento utilizando espécies nativas, promovendo um ecossistema mais saudável e equilibrado, especialmente no semiárido paraibano.

Pertencente à família Fabaceae, gênero *Cenostigma* Tul., recebendo o nome científico *Cenostigma pyramidale* (Tul.) Gagnon; G.P. Já apresentou outros nomes, tendo como basiônimo *Caesalpinia pyramidalis* Tul. (Tropicos, 2020).

O pau-ferro é conhecida popularmente como “jucá” ou “pau-ferro”, pode atingir até 30 metros de altura (Crepaldi et al., 1998). A copa é arredondada, fechada e densa, a casca é acinzentada, lisa e fina, apresentando manchas irregulares. As folhas são compostas, bipinadas, apresenta flores pequenas amarelas e brilhantes. O fruto é um legume, indeiscente, achatado; que maduro torna-se negro e chocalhante devido as sementes se soltarem da vargem, mas não

são dispersadas e permanecerem dentro do lóculo. Cada fruto contém entre 2 e 10 sementes que são elipsoides de consistência dura (Lorenzi, 2008).

O pau-ferro (*Libidibia ferrea*) Mart. ex Tul. L.P. Queiroz é uma espécie arbórea da Caatinga pertencente à família Fabaceae, conhecida popularmente como pau-ferro, jucá, ibirá-obi e imirá-ita, chegando a atingir de 10 a 15 m de altura (Lorenzi, 2008). A espécie é endêmica do Brasil (Lewis, 2015), com grande importância econômica, ecológica e medicinal (Santos et al., 2013). A L. ferrea possui ainda inúmeras utilidades em programas de ornamentação urbana, construção civil, marcenaria, paisagismo e recuperação de áreas degradadas (Santos et al., 2013). O crescimento rápido e a tolerância ao plantio em áreas abertas ganham importante destaque para que a espécie seja utilizada em reflorestamentos misto (Lorenzi, 2008).

O sabiá é uma das espécies mais promissoras para a implantação de florestas de uso múltiplo, devido ao seu rápido crescimento e bom valor proteico e energético como forrageira, constituindo-se numa das principais espécies nativas da caatinga.

O reflorestamento com sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia*) é uma prática eficaz para a proteção do solo, a restauração do ecossistema e a mitigação das mudanças climáticas. A introdução desta espécie nativa tem evidência na melhoria dos atributos do solo e aumenta a biodiversidade, mas também contribui significativamente para a captura de carbono e a regulação do clima. Esses benefícios reforçam a importância de continuar e expandir programas e pesquisas no reflorestamento utilizando espécies nativas, promovendo um ecossistema mais saudável e equilibrado, especialmente no semiárido paraibano.

O Sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia*), atualmente pertence à Classe Equisetopsida; Subclasse Magnoliidae, Superordem Rosanae, Ordem Fabales, Família Fabaceae e gênero *Mimosa*. Sinonímia botânica: *Mimosa caesalpiniifolia* Benth. (Tropicos, 2023). O Sabiá, angiquinho-sabiá, sansão-do-campo ou unha-de-gato (Carvalho, 2008). Tem importância cultural e econômica. O sabiá apresenta características ornamentais. Sua madeira é apropriada para usos externos. Utilizado como cerca viva e suas folhas são utilizadas como fonte de alimento para o gado (Lorenzi, 2000.

Em relação a frutificação de *Mimosa caesalpiniifolia* Benth., (Alves et al. 2004) sugere a presença de frutos aptos para a colheita a partir de 105 dias da planta em campo, estendendo-se até os 210 dias após a antese. Geralmente, a floração é irregular, ao longo dos anos (Barneby, 1991), que varia conforme o estado e, se distribui em períodos de geralmente três meses. A espécie está presente nas Catingas da região do Nordeste (Ceará, Maranhão, Bahia, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte) e no Rio de Janeiro, mesmo com o clima úmido, além

dos estados de Amazonas, Pará, São Paulo e Distrito Federal (Lima; Amorim; Silva Júnior, 1997). As árvores nativas tem o hábito de soltar suas folhas em certas épocas do ano, formando a serapilheira e acúmulo de matéria orgânica. Nessa perspectiva o plantio de espécies nativas como o pau-ferro (*Libidibia ferrea*) e o sabiá (*Mimosa caesalpiniifolia*) poderá desempenhar um papel crucial na recuperação de solos degradados e na melhoria de seus atributos. O uso integrado de pau-ferro e sabiá em processos de recuperação ambiental é estratégico por aliar funções ecológicas importantes à capacidade de adaptação às condições desafiadoras do semiárido, proporcionando um solo mais fértil, produtivo e resiliente. Além de abrigar uma infinidade de espécies da macrofauna edáfica do solo.

## 3. MATERIAL E MÉTODOS

### 3.1 Área do experimento

O estudo foi realizado em condições de campo, abrangendo o período chuvoso de 2022 até o período de estiagem de 2023, no campus do Instituto Federal da Paraíba (IFPB), localizado no distrito de São Gonçalo, município de Sousa, Paraíba, Brasil. As coordenadas geográficas do local são 6°50′22″S e 38°17′57″W.

A região apresenta clima semiárido quente, classificado como BSh segundo Köppen, caracterizado por uma evaporação superior à precipitação. A precipitação média anual é de aproximadamente 800 mm, concentrada principalmente entre os meses de janeiro e junho. A temperatura média anual é de 28°C, e a umidade relativa média do ar é de 64%.

As mudas de pau-ferro (*Libidibia ferrea*) e sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia*) utilizadas no experimento foram produzidas no setor de produção de mudas do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Campus Sousa, para atender à demanda do plantio. A área experimental, situada a uma altitude de 220 m, possui 2.400 m² e está localizada no Perímetro Irrigado de São Gonçalo (PISG), município de Sousa, Paraíba, conforme ilustrado na Figura 1.

**Figura 1.** Localiza da área de estudo. (PISG, 2021), Fonte: Google Earth®.

A evaporação supera a precipitação em quase três vezes, evidenciando o déficit hídrico característico do clima semiárido. Em 2023, a precipitação registrada em Sousa/São Gonçalo foi de 713,8 mm, valor inferior à média histórica (Figura 2).

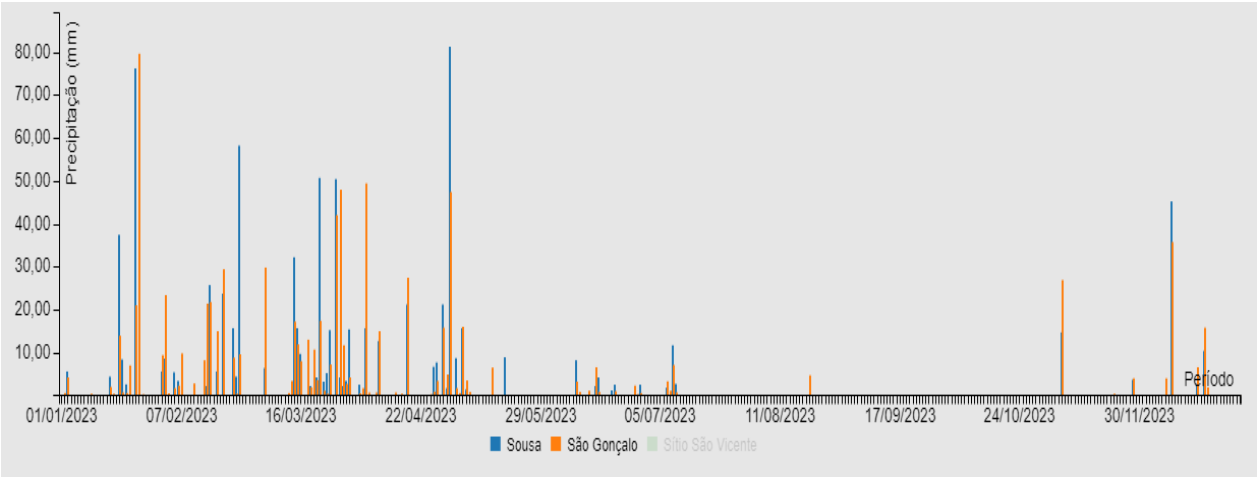



**Figura 2.** Média mensal de Chuvas em Sousa, 2023

Fonte: http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/meteorologia-chuvas-grafico/?id_municipio=210&date_chart=2024-01-05&period=week. Acesso dezembro de 2023

As temperaturas também atingiram recordes históricos em outubro de 2023, com máxima de 38° C e mínima noturna de 23° C, valores significativamente superiores às médias históricas, conforme ilustrado na Figura 3.

**Figura 3**. Médias das temperaturas máximas e mínimas em Sousa, 2023.

Fonte:https://pt.weatherspark.com/y/31096/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Sousa-Brasil-durante-o-ano#Figures-Temperature. Acesso dez. 2023

### 3.2 Delineamento experimental

O delineamento utilizado foi inteiramente casualizados, (DIC) subdivididas no tempo com três tratamentos e cinco repetições. Os tratamentos foram plantio de mudas de pau-ferro (*Libidibia ferrea*); plantio de mudas de sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia*) e o solo sem cultivo (solo sem manejo), servindo como testemunha. Foram plantados 48 mudas de cada espécies em DIC, utilizando 20 plantas em cada faixa como parcela úteis, desprezando as plantas da bordadura, para coletas do solo entre as plantas. As plantas foram plantadas no espaçamento de 3 m x 3 m em covas de 0,30 m x 0,30 m.

### 3.3 Preparo das covas, plantio e irrigação de manutenção das mudas

Após 60 dias no viveiro de mudas, as plantas foram transportadas para o campo para o transplante. As covas foram preparadas com dimensões de 0,30 x 0,30 m e o espaçamento entre plantas de 3,0 x 3,0 m. As plantas foram irrigadas frequentemente, principalmente em período de estiagem estabelecendo nas condições de campo e atendendo suas necessidades hídricas e, ao mesmo tempo, reduzir o estresse salino.

O sistema de irrigação de manutenção consistia em uma motobomba de 1 cv, mangueiras de 18 mm com gotejadores de vazão de 40 L/h. Amostras de solo foram coletadas em duas épocas do ano (período chuvoso e período de estiagem) durante dois anos, a uma distância de 0,50 m das plantas em cada tratamento. As amostras foram, então, levadas ao laboratório de análises de Solos, Água e Plantas do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Campus Sousa para análises

Os resultados iniciais das análises de solo indicaram que são solos bastante degradados, caracterizados por altos teores de sódio trocável e uma elevada porcentagem de saturação por sódio (PST), considerada prejudicial para a maioria dos cultivos. Além disso, o pH elevado do solo interfere nos processos bioquímicos das plantas, comprometendo seu desenvolvimento.

### 3.4 Diagnóstico dos atributos químicos e fertilidade do solo

Para a avaliação dos atributos químicos e da fertilidade do solo na profundidade de 0-20 cm, foram coletadas oito amostras simples para compor uma amostra composta, sendo quatro amostras coletadas em linha entre as plantas e quatro em cada lado da parcela útil da parcela. As amostras foram secas ao ar, peneiradas em peneira de malha de 2 mm e analisadas no Laboratório de Solo, Água e Plantas do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Campus Sousa, Paraíba.

Os parâmetros químicos avaliados foram: pH, $Ca^{2+}$, $Mg^{2+}$, $K^{+}$, $Na^{+}$, $H^{+}+Al^{3+}$ e saturação por sódio (PST), de acordo com Teixeira (2017). Com os resultados das análises, foram calculadas a relação de adsorção de sódio (RAS) e a percentagem de sódio trocável (PST), conforme USSL (1954). Para a caracterização química do solo 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 KCl e Mehlich 1 mol $L^{-1}$ a pH 7,0, sendo $Na^{+}$ e $K^{+}$ dosados por fotometria de chama, e $Ca^{2+}$ e $Mg^{2+}$ por titulação (Teixeira, 2017).

Realizada a caracterização química da fertilidade inicial do solo e os resultados estão apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1.** Caracterização Química do solo em área experimental, a uma profundidade de 0 a 20 cm. Sousa, PB, (Brasil), 2024

| **Atributos químicos e fertilidade do solo** | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| pH | P | $K^{+}$ | $Na^{+}$ | $Ca^{+2}$ | $Mg^{+2}$ | $Al^{+3}$ | $H^{+}+Al^{+3}$ | SB | t | V | m | PST |
| $H_2O$ | | mg $dm^{-3}$ | ---------- | ---------- | cmolc $dm^{-3}$ | ---------- | ---------- | ---------- | | % | | % |
| 10,3 | 15 | 0,16 | 8,4 | 0,60 | 0,30 | 0,0 | 0,0 | 9,5 | 9,5 | 100 | 0 | 89 |

P: fósforo, $K^{+}$: potássio, $Na^{+}$: sódio, $Ca^{2+}$: cálcio, $Mg^{2+}$: magnésio, Al: alumínio, H + Al: hidrogênio+ alumínio, t: capacidade efetiva de troca catiônica, V: saturação por bases, m: saturação de alumínio, PST: porcentagem de sódio trocável.

### 3.5 Atributos de Salinidade

Realizadas as análises de salinidade inicial do solo, sendo o pH na pasta saturada (pH), a condutividade elétrica do extrato de saturação (CE) e os sais solúveis, após a extração no extrator de Richards. No extrato de saturação, foram realizados o pH, a condutividade elétrica

(CE) e os sais solúveis, após extração no extrator de Richards, os resultados estão apresentados na Tabela 2.

Para a 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; determinando-se, também, os cátions solúveis: $Ca^{2+}$ e $Mg^{2+}$ por titulação; $Na^{+}$ e $K^{+}$ por fotometria de emissão de chama; e o ânion $Cl^{-}$, $CO^{2-}$ e $HCO_3$ - por titulação, Tabela 2.

**Tabela 2**. Caracterização da Salinidade do Solo no extrato de saturação, a uma profundidade de 0 a 20 cm. Sousa, PB, (Brasil), 2024

| Atributos de Salinidade | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **CEdSm$^{-1}$** | **pHps** | **$K^{+}$** | **$Na^{+}$** | **$Ca^{+2}$** | **Mg $^{+2}$** | **$SO_4$ $^{2-}$** | **$CO3^{2-}$** | **HCO3-** | **$Cl^{-}$** | **$RAS_{ajustada}$** | **PST %** |
| 11,04 | 11,0 | 0,10 | 89,1 | 2,5 | 2,5 | 2,57 | 19,0 | 22,5 | 100,0 | 59,7 | 87,7 |
| .....mmol$_c$ L$^{-1}$..... | | | | | | | | | | | |

CE: condutividade elétrica no extrato de saturação, pH: pasta Potencial Hidrogeniônico na pasta saturada, $K^{+}$: potássio solúvel, $Na^{+}$: sódio solúvel, $Ca^{2+}$: cálcio solúvel, $Mg^{2+}$: magnésio solúvel, $SO_4^{2-}$: sulfato, $CO_2^{-2}$: carbonatos, $HCO_3$-: bicarbonatos, $Cl^{-}$: cloretos, RAS ajustada: Relação de Adsorção de Sódio, PST: porcentagem de Sódio Trocável.

A caracterização do solo quanto ao grau de salinidade revelou-se que o solo pode ser classificado como solo salino-sódico, de acordo com a classificação da USSL (1954). Isso se deve à condutividade elétrica (CE) superior a 4,0 dS/m, à porcentagem de sódio trocável (PST) superior a 15 e ao pH superior a 8,5. A condutividade elétrica mede a capacidade do solo de conduzir uma corrente elétrica, que está diretamente relacionada à concentração de sais solúveis presentes no solo. Valores de CE superiores a 4,0 dS/m indicam um alto teor de sais, o que pode afetar negativamente o crescimento das plantas devido ao aumento da pressão osmótica, dificultando a absorção de água pelas raízes.

Um solo que apresenta uma porcentagem de sódio trocável (PST) de 87,7 causa diversos impactos negativos tanto no solo quanto nas plantas. A PST representa a porcentagem da Capacidade de Troca Catiônica (CTC) ocupada pelo sódio ($Na^{+}$). Quando a PST é elevada, o sódio substitui outros cátions, como cálcio ($Ca^{2+}$) e magnésio ($Mg^{2+}$), no complexo de troca da estrutura do solo. Isso leva à dispersão das partículas de argila e à degradação da estrutura do solo, resultando em baixa permeabilidade e problemas de drenagem.

Além disso, o pH do solo foi de 11,0. Um pH tão elevado indica uma alcalinidade excessiva, geralmente causada pela presença de bicarbonatos e carbonatos de sódio. Esse alto pH pode resultar em deficiências de nutrientes essenciais e toxicidades de outros elementos,

impactando negativamente a disponibilidade de nutrientes para as plantas (RICHARDS, 1954).

Análise inicial dos atributos física do solo, destacamos na Tabela 3. Na granulometria refere-se à distribuição do tamanho das partículas do solo, categorizadas em Areia (2,0 a 0,05 mm), Silte (0,05 a 0,002 mm) e Argila (<0,002 mm). É importante por influenciar na textura, porosidade, permeabilidade, capacidade de retenção de água e aeração do solo. Solos arenosos têm alta permeabilidade e baixa capacidade de retenção de água, enquanto solos argilosos possuem alta capacidade de retenção de água e baixa permeabilidade. White, R.E. (2006).

### 3.6 Atributos físico do solo

Os atributos físicos do solo foram avaliados por meio de cálculos que determinaram a densidade, a porosidade total, o grau de floculação e a umidade. Além disso, a análise granulométrica permitiu a classificação textural do solo, conforme apresentado na Tabela 3.

Esses parâmetros são essenciais para compreender as condições físicas do solo, que influenciam diretamente sua capacidade de retenção de água, aeração e o desenvolvimento radicular, Tabela 3.

**Tabela 3.** Caracterização dos atributos físicos do solo, a uma profundidade de 0 a 20 cm. Sousa, PB, (Brasil), 2024

**Atributos físicos do solo**

| **Granulometria** | | | **Dens. Solo g/cm$^3$** | **Dens. Real g/cm$^3$** | **Porosidade Total m$^3$m$^3$** | **Umidade MPa** | | | **Grau de Floculação** | **Classe Textural** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Areia | Silte | Argila | | | | 0,01 | 0,033 | 1,5 | | |
| | | | | | | .....g Kg$^{-1}$..... | | | | |
| 776 | 161 | 63 | 1,61 | 2,63 | 0,49 | 185 | 147 | 80 | 190 | Areia Franca |

Granulometria: Argila e Silte pelo densímetro de Boyouccos, Areia por peneiramento; Densidade aparente: método do anel volumétrico; Densidade real: método do balão com etanol; Umidade: Estimativa com base na classe textural.

A baixa umidade do solo compromete a disponibilidade de água para as plantas, reduz a atividade microbiana e interfere nos processos químicos que ocorrem no solo. O grau de floculação, que corresponde à agregação das partículas de argila em flocos ou agregados, desempenha um papel crucial na estrutura do solo. Esse atributo influencia diretamente propriedades como porosidade, aeração, permeabilidade e resistência à erosão. A floculação é favorecida pela presença de cátions como cálcio e magnésio, enquanto é prejudicada pelo sódio, conforme destacado por Teixeira, et al. (2017).

### 3.7 Médias das alturas e do diâmetro do caule das plantas ao longo de dois anos de avaliação

A avaliação biométrica das plantas foi realizada em duas plantas por parcela,

considerando a altura e o diâmetro do caule ao longo de um período de dois anos, conforme os dados apresentados na Tabela 4.

**Tabela 4**. Valores médios da biometria das plantas nativas (altura e diâmetro de caule) em áreas degradadas por sais. Perímetro Irrigado de São Gonçalo. Sousa, PB, (Brasil), 2024

| | **Períodos (anos)** | | | |
|---|---|---|---|---|
| Tratamentos | 2022 (chuvoso) | 2023 (estiagem) | 2022 (chuvoso) | 2023(estiagem) |
| | Altura da planta (m) | | Diâmetro do caule (mm) | |
| pau-ferro | 1,46 | 1,48 | 8,80 | 14,46 |
| sabiá | 1,27 | 1,68 | 9,84 | 9,91 |

Fonte: Autor (2024)

As plantas foram plantadas no espaçamento de 3 m x 3 m, no total de 48 plantas por parcela, de cada espécies, pau-ferro (*Libidibia ferrea*), e sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia*). (**Figura 4 e 5).**

**Figura 4**. Pau-ferro Sousa, PB, Brasil, 2024.
Fonte: autor (2024)

**Figura 5.** Sabiá, Sousa, PB, Brasil, 2024.
Fonte: autor (2024)

### 3.8 Croqui da área de cultivo

O plantio de pau-ferro e sabiá foram realizados em faixa, com 48 plantas de cada espécies, sendo avaliado o solo entre 20 plantas na faixa de cada espécies com cinco repetições, avaliados a fertilidade, salinidade e macrofauna edáfica do solo. (Figura 6 e 7).

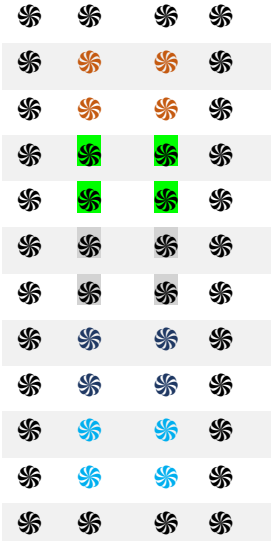


**Figura 6**. Plantio de pau-ferro

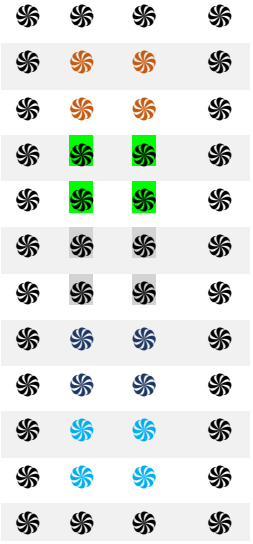


**Figura 7**. plantio de sabiá

### 3.9 Análise Estatística

A análise estatística foi realizada utilizando o RStudio, versão R 4.3.2.

1. As variáveis avaliadas foram submetidas à análise da variância a um modelo de parcelas subdivididas no tempo.
2. As médias obtidas foram submetidas ao teste de Tukey a 5% de probabilidade, comparando-se os tratamentos e seus efeitos na melhoria das propriedades dos solos.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A pesquisa foi conduzida entre o período chuvoso de 2022 e o período de estiagem de 2023, no Perímetro Irrigado de São Gonçalo, localizado no município de Sousa, sertão paraibano. O estudo utilizou um delineamento inteiramente casualizado, subdividido no tempo. Foram avaliados três tratamentos: duas espécies nativas da Caatinga, pau-ferro (*Libidibia ferrea*) e sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia*), além de um controle (solo sem cultivo). O experimento contou com cinco repetições.

Ao longo da pesquisa, algumas mudas de pau-ferro e sabiá precisaram ser replantadas. O solo da região foi classificado como Planossolo Nátrico, caracterizado por relevo plano e textura superficial definida como areia-franca, conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Teixeira, et al, 2017).

Diante das grandes extensões de áreas em processo de degradação, a intervenção humana é crucial para conter esse avanço. Além disso, o crescimento populacional e a consequente necessidade de maior produção de alimentos têm contribuído para a expansão de áreas de solo degradado por salinidade e sodicidade. Esse fenômeno é resultado, principalmente, do uso inadequado da terra e do manejo impróprio da irrigação e do solo (Ribeiro et al., 2003).

Os tratamentos consistiram no plantio e manejo das espécies arbóreas com o objetivo de recuperar uma área degradada por sais. A irrigação foi realizada diariamente, utilizando gotejadores com vazão de 40 L/h. Foram cultivadas as espécies pau-ferro (*Libidibia ferrea*) e sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia*), além do controle (solo sem cultivo e manejo).

Com relação a condutividade elétrica os resultados demonstraram uma redução significativa na condutividade elétrica do solo em função dos tratamentos aplicados, conforme ilustrado na (Figura 8).

No presente estudo, o pau-ferro (*Libidibia ferrea*) demonstrou maior eficiência na redução da condutividade elétrica do solo em comparação com a sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia*) e o tratamento controle (solo sem cultivo). A sabiá, por sua vez, não apresentou diferença estatística em relação ao controle, conforme apontado pelo teste de Tukey. Esse resultado indica que a *Mimosa caesalpiniaefolia* não é eficaz na redução da condutividade elétrica e, portanto, não é recomendada para a recuperação de solos com alta salinidade (Figura 8).

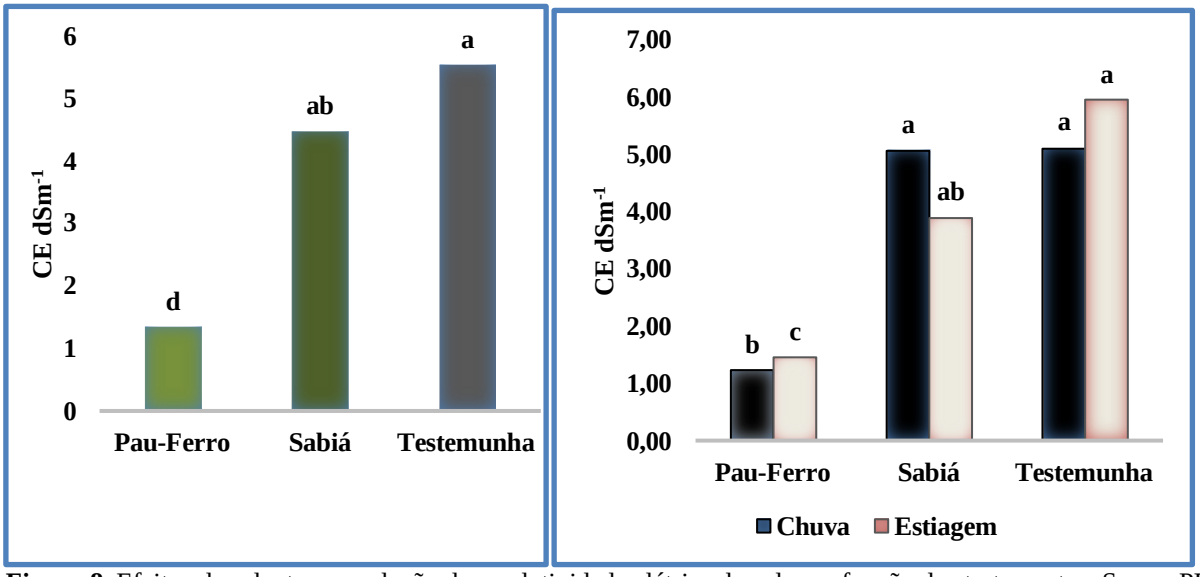



**Figura 8**. Efeitos das plantas na redução da condutividade elétrica do solo em função dos tratamentos. Sousa, PB, (Brasil), 2024. CV: 72,49%

A salinização do solo pode ocorrer de forma natural ou antrópica. O processo natural é influenciado por fatores como baixa precipitação, alta evapotranspiração e presença de camadas impermeáveis no solo (Melo; Alleoni, 2009). Essas condições são características da região semiárida do Nordeste brasileiro.

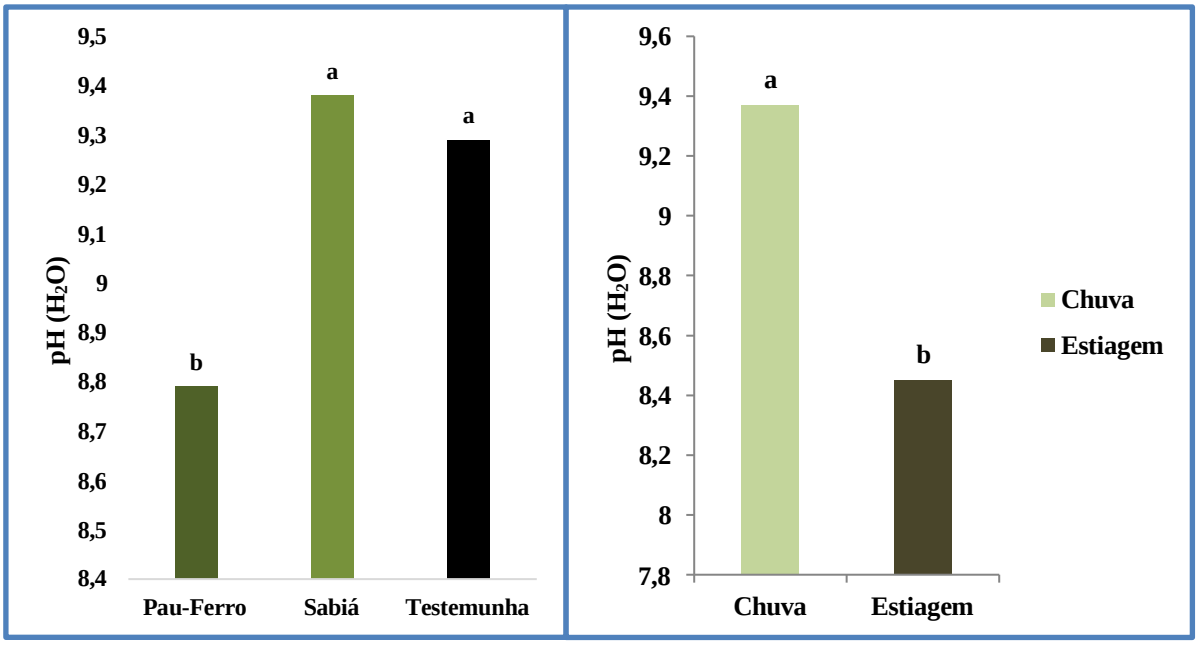
No processo de recuperação do solo e no manejo adotado, os ácidos húmicos e fúlvicos — componentes orgânicos derivados da decomposição da biomassa — desempenham papel fundamental. Essas substâncias húmicas, ricas em capacidade de troca catiônica, estão presentes em solos, águas e sedimentos com matéria orgânica estável (Canellas et al., 2005). A decomposição da matéria orgânica das plantas contribui para a formação de ácidos húmicos e fúlvicos, que se ligam aos íons de sal, facilitando sua remoção via lixiviação. Além disso, a matéria orgânica melhora a capacidade de retenção de água do solo, auxiliando na diluição e mobilização dos sais.

O pau-ferro (*Libidibia ferrea*), leguminosa nativa do Nordeste, destaca-se como uma espécie adaptada às condições do semiárido. Além de fornecer forragem durante períodos de seca, fixa nitrogênio atmosférico, aumentando a fertilidade e melhorando a estrutura do solo. Uma estrutura de solo melhorada promove maior lixiviação de sais e reduz a condutividade elétrica. O crescimento vigoroso do pau-ferro favorece a produção de biomassa, cuja decomposição libera nutrientes que estimulam a atividade biológica no solo. Essa atividade, por sua vez, aumenta a porosidade do solo, facilitando a lixiviação de sais e diminuindo os níveis de salinidade.

O manejo adotado no cultivo de pau-ferro contribuiu significativamente para a redução

da condutividade elétrica do solo, devido à melhoria da estrutura do solo, ao aumento da matéria orgânica e à promoção da lixiviação de sais. Em contraste, a sabiá apresentou desempenho inferior, demonstrando menor eficácia nesse processo. Assim, o pau-ferro se mostra como uma opção viável para a recuperação de áreas degradadas por salinidade, promovendo melhorias significativas na qualidade do solo.

Em relação ao potencial hidrogeniônico do solo, pH, o cultivo do pau-ferro (*Caesalpinia ferrea*) influenciaram positivamente a qualidade dos solos salino-sódicos, especialmente em relação ao potencial hidrogeniônico (pH) em dois anos de estudo. O pH é um fator crucial para a disponibilidade de nutrientes para as plantas e a saúde geral do solo. O manejo e o cultivo de Pau-Ferro proporcionou na redução do pH do solo em comparação com o solo sem cultivo, diferentemente da Sabiá que não diferenciou estatisticamente pelo teste de Tukey da testemunha (solo sem cultivo), indicando assim que a *Mimosa caesalpiniaefolia* não é recomendado na recuperação de solos degradados e nem na redução do pH do solo, Figura 9.



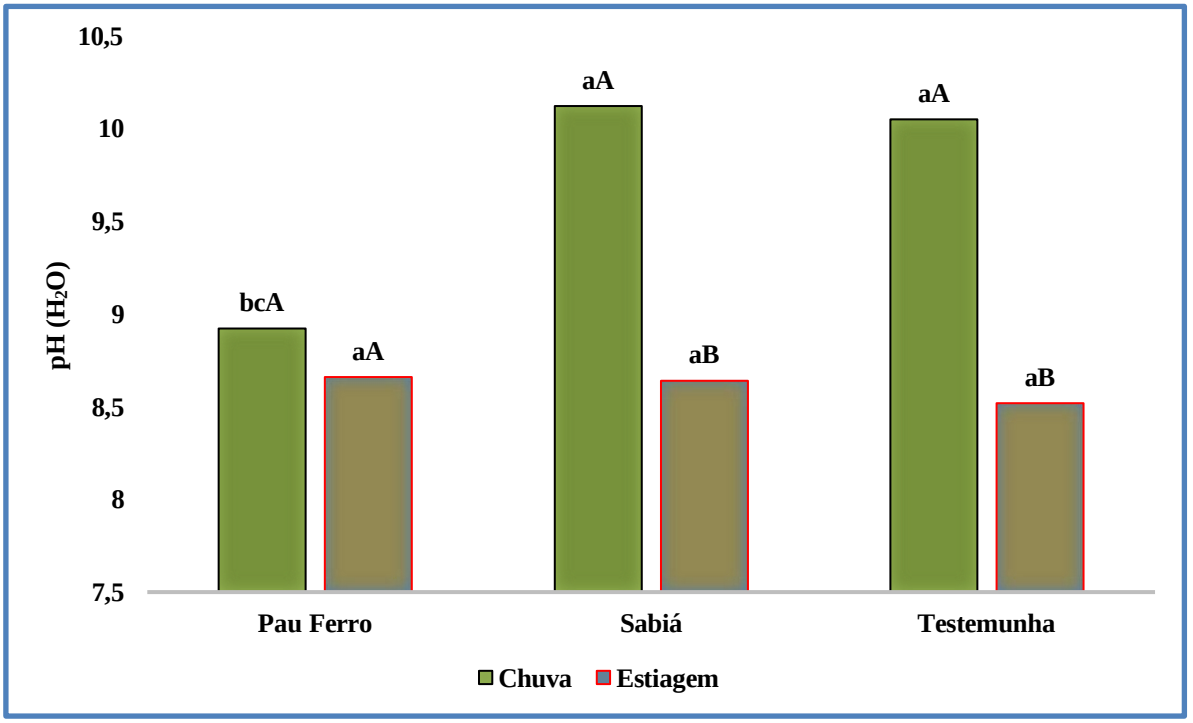



**Figura 9**. Efeitos das plantas na redução do pH em (H2O) do solo em função dos tratamentos. Sousa, PB, (Brasil), 2024. CV: 9,10%

A influência da Caesalpinia ferrea em solos sálicos está diretamente associada à incorporação de resíduos orgânicos provenientes da decomposição dos restos vegetais dessa espécie e ao desenvolvimento do sistema radicular. Esses fatores promovem maior infiltração de água e gás carbônico no solo, desencadeando diversas reações químicas que contribuem para a redução do pH do solo. Tal redução ocorre, em parte, devido à mineralização da matéria orgânica e à liberação de ácidos orgânicos durante o processo de decomposição, que neutralizam parcialmente a alcalinidade do solo.

O uso da distribuição relativa das frações de matéria orgânica como indicador de mudanças no manejo do solo ou da qualidade ambiental é amplamente respaldado pela literatura científica, incluindo trabalhos de Kononova (1982), Schnitzer; Khan (1978) e Schnitzer (1991). Esses ácidos orgânicos, liberados pela decomposição da matéria orgânica, são provavelmente responsáveis por reduzir a alcalinidade do solo, tornando-o menos alcalino.

Por outro lado, nos solos tropicais, a fração orgânica é dominada por huminas, e a intensa mineralização dos resíduos, juntamente com restrições edáficas à atividade biológica, resulta em relações CAH/CAF inferiores a 1,0 (Dabin, 1981; Ortega, 1982; Canellas et al., 2000). Essa diferença reflete a rápida decomposição da matéria orgânica nesses solos, limitando sua fertilidade e capacidade de retenção de nutrientes.

**A** *Caesalpinia ferrea*, sendo uma leguminosa, contribui significativamente para a adição de matéria orgânica ao solo. Durante sua decomposição, são liberados ácidos orgânicos

que reduzem o pH do solo. Adicionalmente, as raízes dessas plantas liberam exsudatos contendo compostos ácidos, intensificando a acidificação local. Esse conjunto de transformações químicas envolve reações de oxidação, desidratação, hidrólise, descarboxilação e condensação, todas influenciadas por fatores como o tipo de argila, o pH e o teor de bases do solo (Zech et al., 1997).

A melhoria na estrutura do solo proporcionada pela adição de matéria orgânica aumenta a capacidade de infiltração de água e promove reações químicas que podem reduzir o pH. Essas alterações na química do solo contribuem para uma maior disponibilidade de nutrientes, melhorando a saúde geral do solo e beneficiando as plantas em ambientes desafiadores.

Por outro lado, o cultivo de *Mimosa caesalpiniaefolia* não apresenta os mesmos benefícios para a melhoria das características do solo, especialmente no que diz respeito à redução do pH.

No que diz respeito ao pH na pasta de saturação, o manejo adotado pode ter contribuído para a redução do pH em comparação com o solo sem cultivo. A *Caesalpinia ferrea*, espécie nativa da Caatinga, mostrou-se eficiente na redução do pH da pasta saturada. Em contrapartida, a *Mimosa caesalpiniaefolia* não apresentou o mesmo efeito, não contribuindo para a redução do pH na pasta de saturação, conforme ilustrado na Figura 10**.**

O acúmulo de matéria orgânica melhora a estrutura do solo, favorecendo a infiltração de água e promovendo reações químicas que resultam na redução do pH da pasta saturada. No caso dos solos salino-sódicos avaliados, a Caesalpinia ferrea demonstrou-se eficaz em reduzir o pH em comparação ao solo sem cultivo (Figura 10). Por outro lado, a Mimosa caesalpiniaefolia (sabiá) não apresentou diferença estatística significativa pelo teste de Tukey em relação à testemunha, indicando que essa planta não é recomendada para a recuperação de solos com pH elevado e altos teores de sódio.

E observando que mesmo considerando a interação entre diferentes épocas de cultivo, a *Mimosa caesalpiniaefolia* continuou ineficiente, não apresentando diferença significativa em relação à testemunha (solo sem cultivo), conforme indicado pelo teste de Tukey. Evidenciando que essa espécie não é adequada para a recuperação de áreas degradadas, Figura 10.

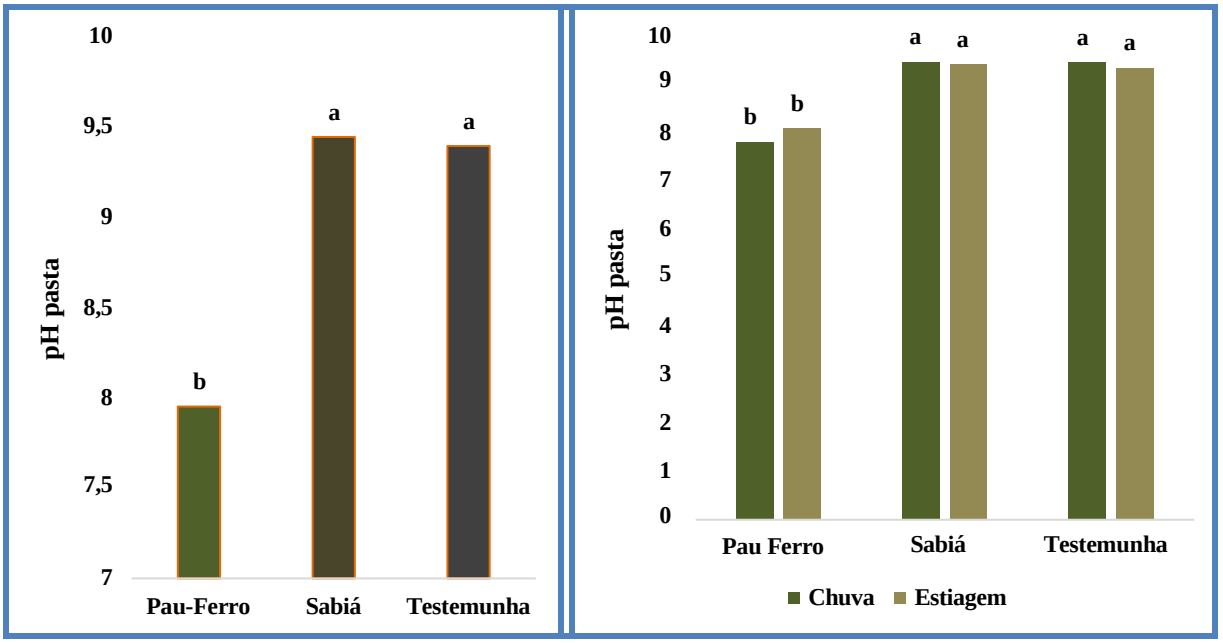



**Figura 10**. Efeitos das plantas na redução do pH em pasta sataturada do solo em função dos tratamentos. Sousa, PB, (Brasil), 2024. CV: 10,80 %

O cultivo de pau-ferro (*Caesalpinia ferrea*) demonstrou eficiência na redução do pH da pasta de saturação, reforçando seu potencial na recuperação de áreas degradadas. A análise do pH da pasta saturada e da condutividade elétrica no extrato de saturação requer, inicialmente, o preparo de uma pasta saturada de solo. O pH dessa pasta é determinado primeiro, seguido pela filtração a vácuo, que produz o extrato de saturação, onde se mede a condutividade elétrica (CE extrato), conforme descrito por Richards et al. (1954).

A *Caesalpinia ferrea*, adaptada às condições áridas e semiáridas, apresenta grande potencial na melhoria das propriedades químicas de solos salino-sódicos. O pH da pasta saturada, um indicador crucial da qualidade do solo, afeta diretamente a disponibilidade de nutrientes e a atividade microbiana. A planta contribui para a condução e infiltração de água no perfil do solo por meio de seu sistema radicular, dissolvendo cátions solúveis e liberando H+. Além disso, a decomposição de sua biomassa libera ácidos orgânicos, que neutralizam a alcalinidade e reduzem o pH da pasta saturada.

Estudos de Gheyi et al. (1995), Cavalcante et al. (2002), Gheyi et al. (2008) e Miranda et al. (2011) indicam que tratamentos com gesso e fontes orgânicas em solos salino-sódicos resultam em redução do pH. Contudo, no presente estudo, nenhum insumo externo, como cálcio ou formadores de ácidos, foi utilizado; o manejo e o cultivo de plantas nativas da Caatinga, como a Caesalpinia ferrea, foram suficientes para promover tais alterações.

Resultados semelhantes foram observados com a incorporação de matéria orgânica, cujos ácidos orgânicos liberados durante a decomposição foram provavelmente os principais

responsáveis pela redução do pH. Contudo, deve-se notar que valores baixos de pH (<5,5) podem desacelerar a decomposição da matéria orgânica, aumentar o alumínio trocável e intensificar a solubilidade de compostos de ferro e alumínio (Ernani, 2008).

As práticas de manejo sustentável em perímetros irrigados e a eficiência de técnicas de recuperação de solos salinos, salino-sódicos e sódicos estão associadas ao conhecimento da origem e evolução desses problemas, bem como à execução de programas voltados à prospecção de variedades culturais mais resistentes à salinidade (Melo et al., 2008; Fernandes et al., 2010; Sá et al., 2013). Diversos estudos realizados no Brasil investigaram os efeitos de resíduos de diferentes plantas no pH do solo, na disponibilidade de Ca, Mg e K, e na complexação de Al (Franchini et al., 1999; 2003; Amaral et al., 2004).

O cultivo de espécies como a *Caesalpinia ferrea* tem mostrado resultados promissores na redução do pH de solos salino-sódicos, fator essencial para a recuperação de áreas degradadas e melhoria da fertilidade do solo, tornando-o mais adequado ao cultivo agrícola. O uso de plantas adaptadas ao ambiente salino-sódico pode ser uma estratégia sustentável para a recuperação e manutenção da saúde do solo.

Em relação as condições de formação de fósforo no solo, possivelmente esse fósforo não está disponível em função do pH do solo, não houve diferença estatística entre os tratamentos pelo teste de Tukey na formação de fósforo no solo. Nas épocas o período chuvoso proporcionou maior quantidade de fósforo no solo, por está mais diluído na solução do solo, sendo que esse fósforo provavelmente não está disponível para as plantas em função do pH. E nem na interação entre épocas não houve diferença estatística no período chuvoso entre os tratamentos.

Com relação aos teores de sódio no solo, o cultivo do pau-ferro (Caesalpinia ferrea) foi eficiente na redução do sódio trocável, em comparação à sabiá (Mimosa caesalpiniaefolia) e à testemunha (solo sem cultivo), conforme o teste de Tukey a 5% de probabilidade (Figura 11). A Caesalpinia ferrea desempenhou um papel importante na redução do sódio trocável em solos salino-sódicos.

Essa espécie, característica do bioma Caatinga, possui estratégias naturais que promovem a melhoria das propriedades químicas do solo, contribuindo para a redução dos níveis de sódio e para o aumento de sua fertilidade. Por outro lado, a *Mimosa caesalpiniaefolia* não demonstrou eficácia na redução do sódio trocável em solos salino-sódicos, não sendo, portanto, indicada para a melhoria dos atributos químicos de solos afetados por sais e, consequentemente, para a sua recuperação, Figura 11.

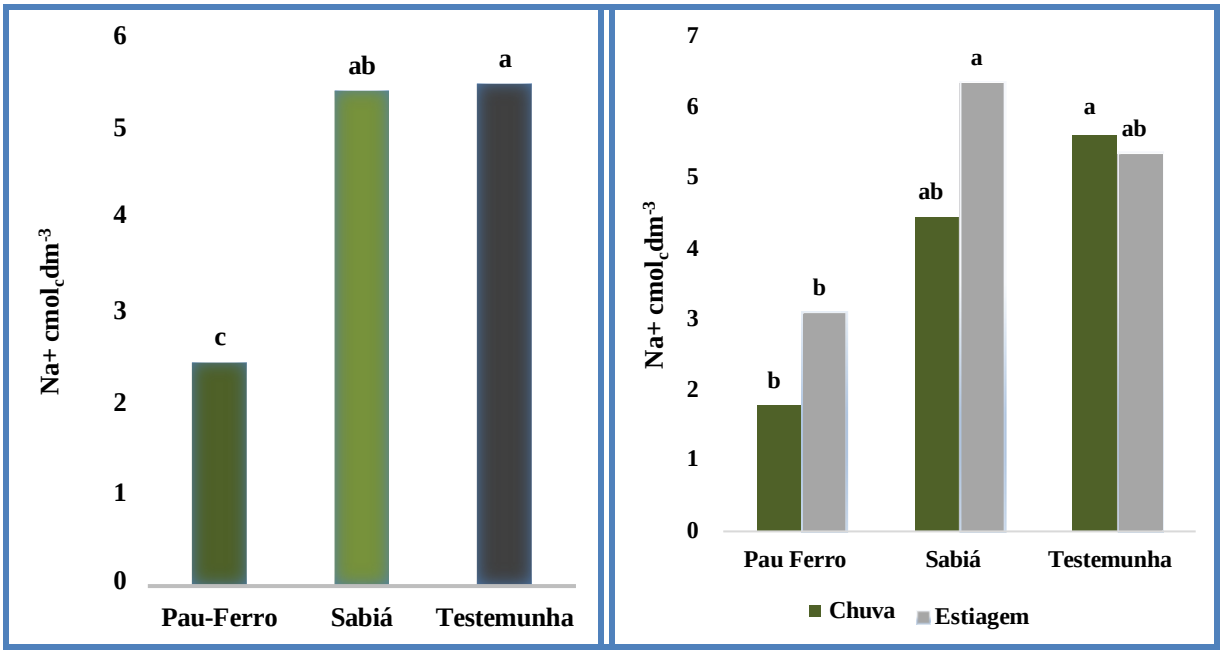



**Figura 11**. Efeitos das plantas na redução dos teores de sódio trocável do solo em função dos tratamentos. Sousa, PB, (Brasil), 2024. CV: 72,80%

Muitos dos problemas relacionados ao excesso de sais e sódio trocável são inerentes ao solo em seu estado natural, outros, entretanto, surgem após o início da irrigação. Em áreas irrigadas, a salinização é frequentemente resultado do uso de água de irrigação com altas concentrações de sais ou de práticas de manejo inadequadas que desconsideram a conservação da capacidade produtiva dos solos. Exemplos dessas práticas incluem sistemas de drenagem ineficientes, aplicação inadequada de água e uso indiscriminado e excessivo de fertilizantes (Hayward & Wadleigh, 1949; Lyerly; Longenecker, 1962; McNeal, 1976).

A acumulação de sais e sódio nos solos é um fenômeno comum em condições de aridez. A alta taxa de evaporação, combinada com baixa precipitação, características do material de origem e condições geomorfológicas e hidrológicas, favorecem a formação de solos com teores elevados de sais solúveis e sódio trocável (Whitemore, 1975). O aumento de sais na rizosfera afeta diversos processos nas plantas, devido ao declínio do potencial hídrico do solo e até mesmo das folhas (Lima et al., 2014).

Os solos afetados por sais, também conhecidos como solos halomórficos, salino**s** ou sálicos, são formados sob condições adversas de drenagem e caracterizam-se pela presença de sais solúveis, sódio trocável ou ambos, acumulados em horizontes ou camadas próximas à superfície (Ribeiro, 2010).

As plantas que crescem nesses solos têm um papel importante na melhoria de suas propriedades. As raízes liberam exsudatos que ajudam na descompactação, melhoram a infiltração de água e promovem a lixiviação do sódio. Além disso, a decomposição da biomassa

dessas plantas contribui para a ciclagem de nutrientes e aumenta a presença de cátions competidores, como cálcio e magnésio, que podem substituir o sódio nos complexos de troca do solo.

A *Caesalpinia ferrea* desempenha um papel fundamental na redução do sódio trocável em solos salino-sódicos. Seu sistema radicular favorece a condução de água no perfil do solo, auxiliando na dissolução de sais e promovendo o acúmulo de matéria orgânica. Essas características melhoram a estrutura do solo, promovem a lixiviação do sódio e tornam o solo mais adequado para o cultivo agrícola. Além disso, essa espécie contribui para a sustentabilidade dos ecossistemas semiáridos, atuando como uma ferramenta natural para a recuperação de áreas degradadas.

No caso do sódio solúvel, a *Caesalpinia ferrea* destacou-se significativamente, apresentando uma redução expressiva nos teores de sódio em ambos os períodos avaliados (Figura 12).

O plantio de pau-ferro (*Caesalpinia ferrea*) demonstrou grande influência na redução do sódio solúvel em solos salino-sódicos. Essa espécie, típica do bioma Caatinga, possui características naturais que promovem a melhoria das condições químicas do solo, tornando-o mais adequado para o cultivo agrícola. Entre as plantas avaliadas, o cultivo da Caesalpinia ferrea foi o que mais contribuiu para a redução do sódio solúvel no solo, Figura 12.

Essa eficiência pode ser atribuída a mecanismos como a ciclagem de nutrientes, que aumenta a disponibilidade de cátions competidores (cálcio e magnésio), e a melhoria da estrutura do solo, que facilita a lixiviação de sódio. Além disso, a Caesalpinia ferrea promove a formação de matéria orgânica, que contribui para a estabilização das partículas do solo e para a mobilização de sais solúveis.

Os resultados do teste de Tukey confirmaram a contribuição significativa da Caesalpinia ferrea na redução do sódio solúvel. Além disso, na interação entre os períodos avaliados, a Caesalpinia ferrea manteve sua eficiência, destacando-se em comparação à *Mimosa caesalpiniaefolia* e à testemunha (solo sem cultivo) na redução do sódio solúvel em solos sálicos.

A ciclagem de nutrientes promovida pela ação e processos da *Caesalpinia ferrea* também influencia positivamente a química do solo, aumentando a proporção de cátions como cálcio e magnésio, que competem com o sódio nos complexos de troca. De acordo com os resultados, a Caesalpinia ferrea foi significativamente mais eficiente na redução dos teores de sódio no solo em comparação com a testemunha (solo sem cultivo), como demonstrado na

Figura 12.

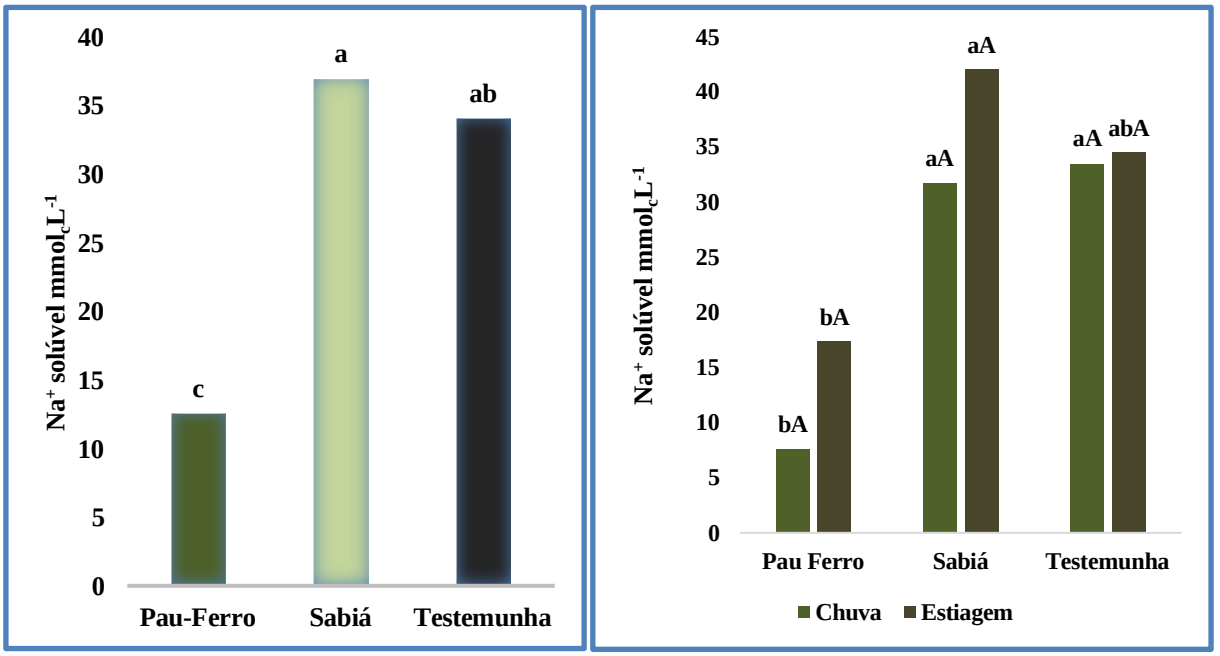



**Figura 12**. Efeitos das plantas na redução dos teores de sódio solúvel do solo em função dos tratamentos. Sousa, PB, (Brasil), 2024. CV: 70,12%

Essa melhoria é atribuída à decomposição da serapilheira da *Caesalpinia ferrea* e ao seu sistema radicular pivotante, que facilita a infiltração de água no perfil do solo. Esse processo contribui para a diluição do sódio presente na solução do solo, além de aumentar a adição de matéria orgânica, promovendo a lixiviação de sódio e a substituição desse elemento nos complexos de troca por outros cátions presentes na argila.

A salinidade reduz o crescimento e o desenvolvimento das plantas devido a efeitos osmóticos, causando estresse hídrico e restrição na absorção de água pelas raízes. Esses efeitos resultam de uma combinação de baixa disponibilidade de água no solo e toxicidade causada pelo acúmulo de íons no protoplasma (Shannon, 1997; Tobe; Omasa, 2000; Oliveira et al., 2011). Diversos estudos têm sido realizados para compreender os impactos da salinidade em diferentes culturas. Por exemplo, Coelho et al. (2013) observaram que o estresse salino reduz a evapotranspiração e o potencial osmótico foliar em feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* **L. (Walp.)**). Abreu (2012) investigou respostas fisiológicas, bioquímicas e proteômicas de diferentes cultivares de feijão-de-corda sob estresse salino, concluindo que a tolerância diferencial está relacionada à regulação de proteínas envolvidas nos estágios iniciais da fotossíntese. Nesse contexto, o manejo da Caesalpinia ferrea revelou que essa planta apresenta elevada tolerância ao estresse salino.

Estudos também indicam que o acúmulo de matéria orgânica melhora significativamente a estrutura do solo, aumentando sua capacidade de infiltração de água e

promovendo a lixiviação de sódio. A decomposição de folhas e galhos da *Caesalpinia ferrea* contribui para esse processo, ao mesmo tempo que enriquece o solo com matéria orgânica. Outro aspecto relevante é a exsudação radicular: as raízes da Caesalpinia ferrea liberam compostos que ajudam a descompactar o solo, melhorando a infiltração de água e facilitando a remoção do sódio.

Por outro lado, a *Mimosa caesalpiniaefolia* não apresentou eficácia na redução dos teores de sódio solúveis, não se diferenciando estatisticamente da testemunha. Esses resultados evidenciam que a *Mimosa caesalpiniaefolia* não é indicada para a recuperação de solos afetados por sais.

Em relação aos teores de potássio, não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos, conforme análise pelo teste de Tukey. A disponibilidade de potássio foi maior durante o período de estiagem, o que pode ser explicado pela maior concentração de sais no solo nesse período. Durante o período chuvoso, ocorre maior diluição dos sais presentes no solo, o que reduz a disponibilidade de potássio, conforme ilustrado na Figura 13.

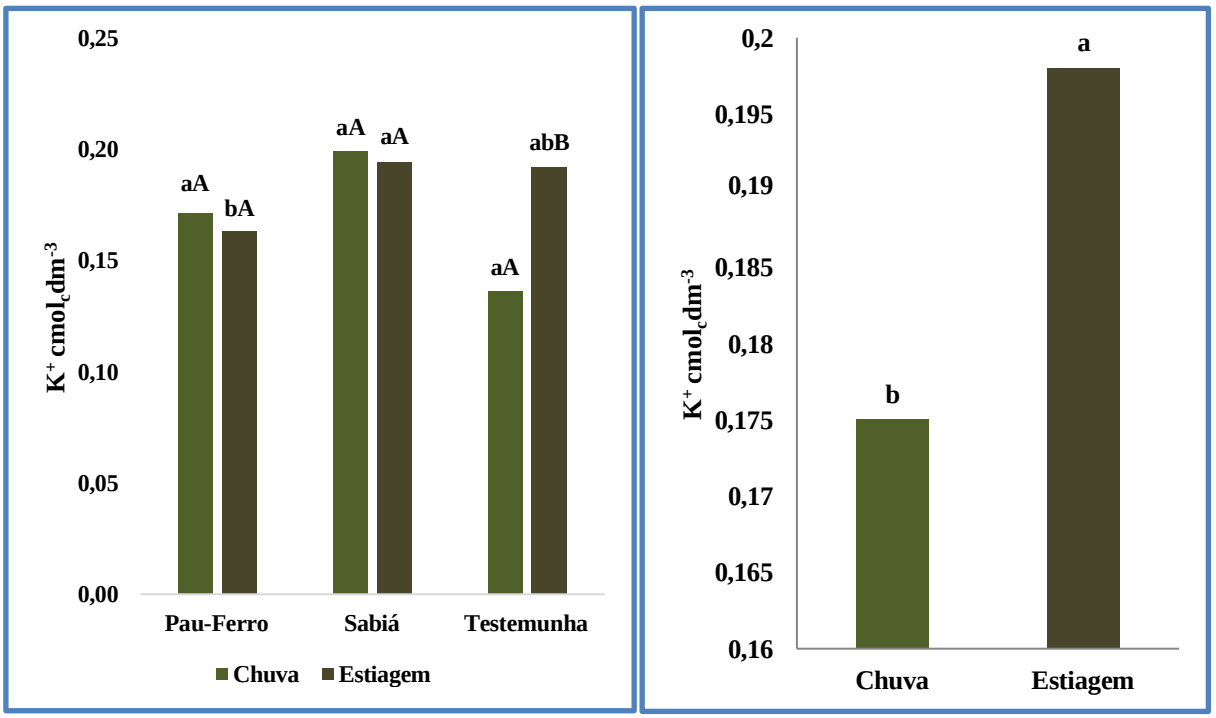



**Figura 13**. Efeitos das plantas na formação dos teores de potássio trocável do solo em função dos tratamentos. Sousa, PB, (Brasil), 2024. CV: 31,33%

Os tratamentos não apresentaram diferenças significativas em relação à testemunha (solo sem cultivo), conforme análise estatística aplicada. O cultivo de pau-ferro (*Caesalpinia ferrea*) e sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia*) não foi efetivo em aumentar os teores de potássio trocável no solo. Além disso, essas espécies não diferiram estatisticamente entre si quanto a

esse parâmetro nos períodos avaliados, de acordo com o teste de Tukey.

Observou-se que, durante o período chuvoso, o maior conteúdo de água no perfil do solo contribuiu para a dissolução do potássio, resultando em menores teores nas análises realizadas. Esse efeito evidencia a influência das condições hídricas na dinâmica do potássio no solo, limitando sua disponibilidade em períodos de maior umidade.

Em relação ao potássio solúvel no solo, a sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia*) se destacou, contribuindo para o aumento dos teores de potássio solúvel no solo. Nesse parâmetro, houve diferença estatística entre a sabiá, o pau-ferro (*Caesalpinia ferrea*) e a testemunha (solo sem cultivo), conforme o teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade Figura 14.

Na interação entre os períodos estudados, o período chuvoso apresentou maior formação de potássio solúvel. Isso pode ser explicado pelo fato de que, durante as chuvas, a quantidade de água na interface sólida do solo aumenta, o que resulta em maior dissolução dos sais solúveis presentes, incluindo o potássio, Figura 14.

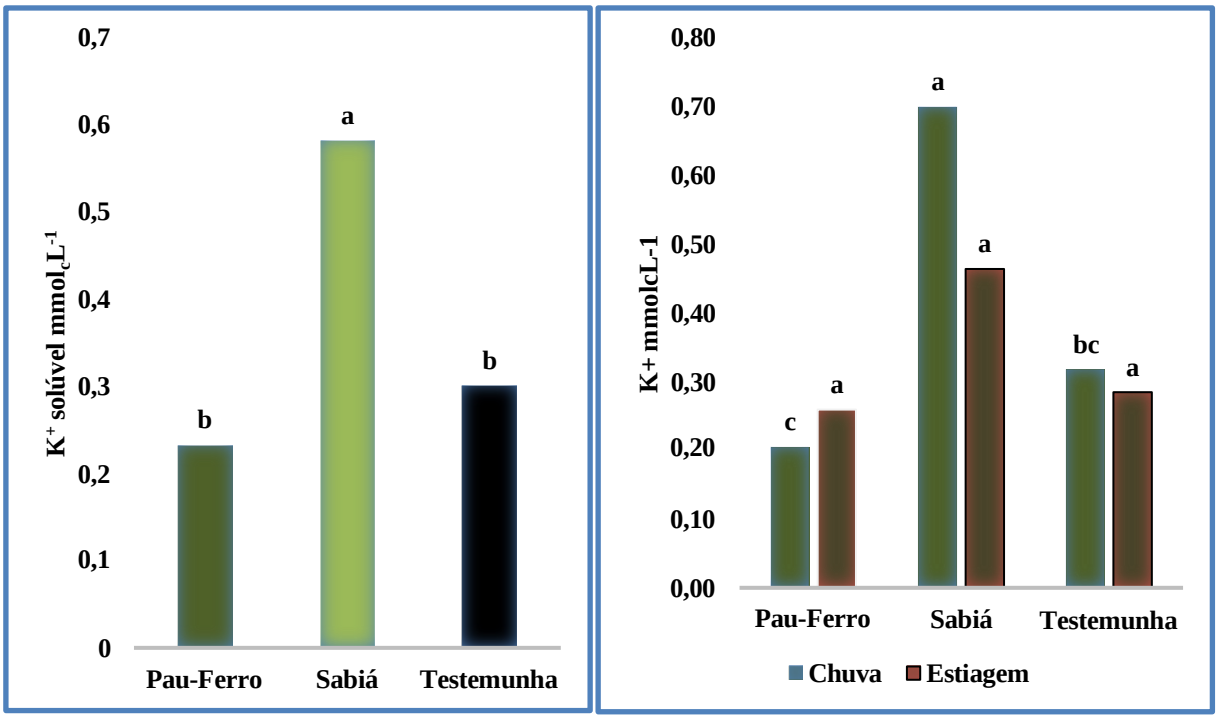



**Figura 14**. Efeitos das plantas na formação dos teores de potássio solúvel do solo em função dos tratamentos. Sousa, PB, (Brasil), 2024. CV: 75,36%

A salinização é caracterizada pelo acúmulo de sais solúveis em água no solo, incluindo íons como potássio ($K^+$), magnésio ($Mg^{2+}$), cálcio ($Ca^{2+}$), cloreto ($Cl^-$), sulfato ($SO_4^{2-}$), carbonato ($CO_3^{2-}$), bicarbonato ($HCO_3^-$) e sódio ($Na^+$) (Abrol et al., 1988). O maior destaque foi para a *Mimosa caesalpiniaefolia*, que apresentou maior disponibilidade de potássio na profundidade estudada (0-20 cm), mesmo sem aplicação de fertilizantes. Franchini et al. (2001)

demonstraram que a aplicação de extratos de plantas aumentou o potássio disponível no solo até a camada de 15-20 cm, com destaque para a aveia preta, cujos resultados são consistentes com os encontrados neste estudo.

A *Caesalpinia ferrea* e a *Mimosa caesalpiniaefolia* são espécies vegetais importantes para o bioma Caatinga, especialmente em solos sálicos, que apresentam altos níveis de sais solúveis e sódio trocável, fatores que impactam negativamente a fertilidade e a produtividade. Essas plantas, adaptadas às condições adversas da Caatinga, podem melhorar as propriedades químicas do solo, mobilizando potássio e outros nutrientes, e contribuindo para a ciclagem de nutrientes.

A *Mimosa caesalpiniaefolia*, com seu sistema radicular pivotante, é capaz de acessar nutrientes nas camadas mais profundas do solo e trazê-los para a superfície, promovendo a solubilização de potássio. O potássio desempenha um papel essencial em diversos processos fisiológicos das plantas, como regulação osmótica, equilíbrio iônico, controle da abertura estomática, síntese de proteínas e carboidratos, ativação de enzimas, e resistência a doenças, geada, seca e salinidade (Furlani, 2004; Meurer, 2006; Raven et al., 2010; Taiz; Zeiger, 2013; Ernani et al., 2007; Malavolta, 1980).

Além disso, a *Mimosa caesalpiniaefolia* contribui para a melhoria das condições do solo em ambientes sálicos. Suas folhas possivelmente ricas em nutrientes e sua capacidade de fixação biológica de nitrogênio favorecem a solubilização de potássio e a criação de um ambiente mais propício à mobilização de nutrientes.

Ambas as espécies, por meio da deposição de matéria orgânica e da atividade radicular, alteram a composição iônica do solo, promovem a solubilização de potássio e outros nutrientes, melhoram a estrutura do solo, facilitando a lixiviação de sais e contribuindo para a redução da salinidade e sodicidade.

A presença dessas espécies promove a ciclagem de nutrientes, melhora a estrutura do solo e aumenta a disponibilidade de potássio, o que favorece a sustentabilidade dos ecossistemas semiáridos e a produtividade agrícola. Os resultados das análises dos teores de potássio solúvel indicam que o manejo adotado, juntamente com o plantio dessas espécies, proporcionou melhorias significativas no solo.

Quanto à formação dos teores de cálcio no solo, observou-se que o cultivo do pau-ferro (*Caesalpinia ferrea*) foi significativamente mais eficaz na elevação dos níveis de cálcio no solo, quando comparado à sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia*) e à testemunha (solo sem cultivo**)**, que não apresentaram diferenças entre si, conforme o teste de Tukey a 5% de

probabilidade, Figura 15.

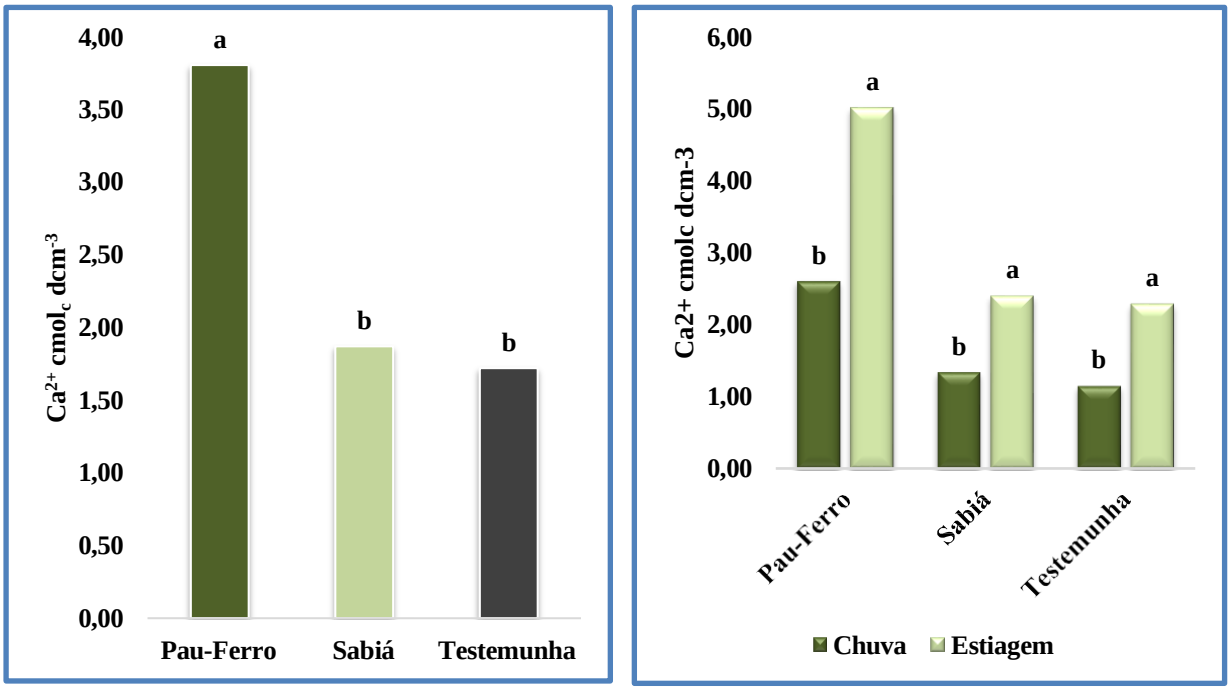



**Figura 15**. Efeitos das plantas na formação dos teores de cálcio do solo em função dos tratamentos. Sousa, PB, (Brasil), 2024. CV: 28,94%

Nesses aspectos, pode-se sugerir que o pau-ferro (*Caesalpinia ferrea*), devido ao seu sistema radicular mais volumoso, favorece maior entrada de água e gás carbônico no solo. Isso contribui para a oxidação biológica de compostos orgânicos contendo cálcio, resultando na formação de $CaCO_3$ (Pocknee & Sumner, 1997). As plantas nativas da Caatinga, como a *Caesalpinia ferrea*, desempenham um papel importante na recuperação de áreas degradadas, especialmente quando há a manutenção de água no perfil do solo.

Nesse processo, ocorre a dissolução da calcita, liberando cálcio que participa da troca iônica no solo. Assim, essas espécies nativas contribuem significativamente para o aumento do teor de cálcio no solo. A irrigação, mesmo em formato de manutenção, favorece o desenvolvimento do sistema radicular das plantas e a dissolução da calcita, promovendo a liberação de mais cálcio para as raízes.

O conteúdo de água mantido próximo ao sistema radicular em áreas degradadas também melhora a sobrevivência e o crescimento das espécies nativas, acelerando os processos de ciclagem de nutrientes e decomposição da matéria orgânica. A disponibilidade de água é essencial para esses processos biológicos e químicos (Araújo; Piedra, 2009). As folhas e outros resíduos orgânicos das plantas nativas, ao caírem e se decompor, liberam nutrientes, incluindo cálcio, de volta ao solo.

Esse processo de decomposição é fundamental para a reciclagem de nutrientes no ecossistema.

Em relação às épocas de estudo (chuva e estiagem), os teores de cálcio foram maiores no período de estiagem, devido à dissolução do cálcio no solo durante o aumento da umidade no período chuvoso. No entanto, ao analisar a interação entre as épocas e os tratamentos, não foram observadas diferenças significativas pelo teste aplicado. A *Mimosa caesalpiniaefolia*, por sua vez, não apresentou diferença estatística em relação à testemunha, indicando que não foi eficaz na liberação de cálcio para o solo.

Em relação ao magnésio trocável, o cultivo de pau-ferro **(***Caesalpinia ferrea***),** mostrou-se significativamente eficaz na formação de magnésio trocável no solo, com diferenças estatísticas entre a *Mimosa caesalpiniaefolia* e a testemunha, conforme o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade (Figura 16). No entanto, a *Mimosa caesalpiniaefolia* não apresentou diferenças significativas em comparação com a testemunha (solo sem cultivo). Por outro lado, o plantio de *Caesalpinia ferrea* resultou em um aumento considerável nos teores de magnésio trocável no solo, quando comparado à testemunha (Figura 16).

A *Caesalpinia ferrea* foi o principal destaque na formação de magnésio trocável no solo, embora não tenha havido diferença significativa em relação à Mimosa caesalpiniaefolia. Quanto às épocas, observou-se que os teores de magnésio foram mais elevados durante o período de estiagem, o que pode ser explicado pela diluição do elemento em períodos de maior saturação de água no solo. Mesmo considerando a interação entre as épocas e os tratamentos, o período de estiagem apresentou maiores concentrações de magnésio em todos os casos (Figura 16).

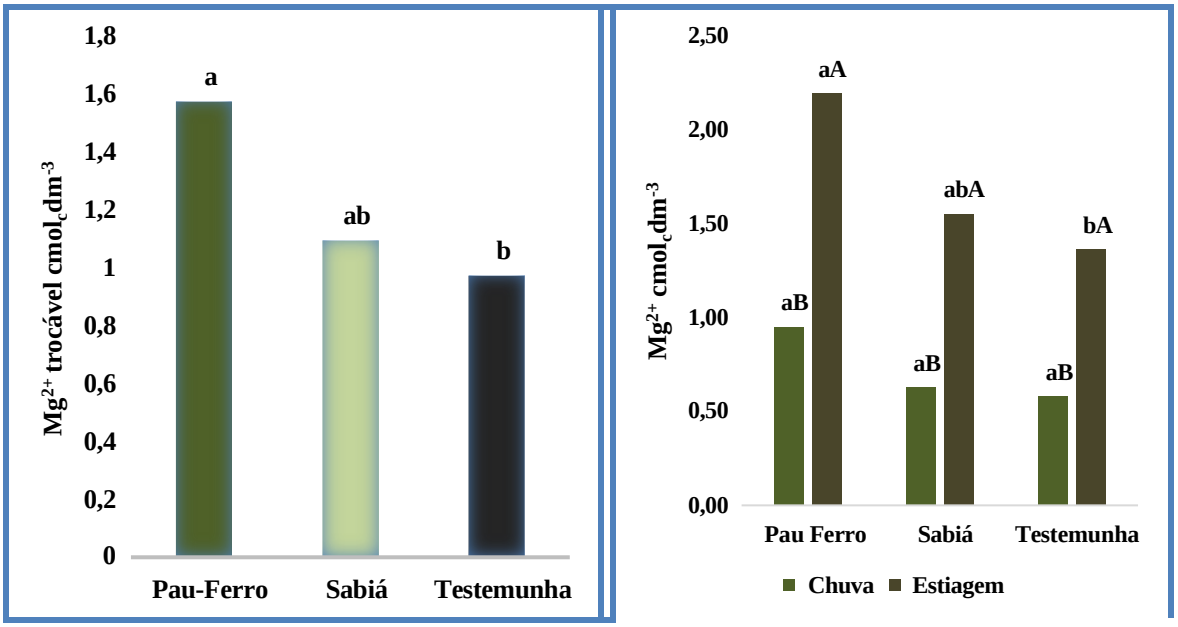


**Figura 16**. Efeitos das plantas na formação dos teores de magnésio trocável do solo em função dos tratamentos. Sousa, PB, (Brasil), 2024. CV: 57,12%

A salinidade compromete a fertilidade do solo, promovendo distúrbios nutricionais nas plantas cultivadas em ambientes com excesso de sais, afetando seu desenvolvimento e a disponibilidade de nutrientes essenciais (Freire; Freire, 2007).

Esses solos, caracterizados por alta concentração de sais e sódio trocável, representam um desafio para a fertilidade e saúde das plantas. As espécies *Caesalpinia ferrea e Mimosa caesalpiniaefolia* desempenham um papel crucial na ciclagem de nutrientes, incluindo o magnésio, por meio da decomposição de sua biomassa e da atividade radicular, contribuindo para a melhoria da fertilidade do solo.

Em solos com pH abaixo de 6,0, a adição de resíduos vegetais geralmente resulta em aumento da disponibilidade de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) na solução do solo. Além disso, em solos com altos teores de alumínio (Al), pode ocorrer uma complexação desse elemento com ânions orgânicos, o que o torna menos tóxico para as plantas (Pohlman & McColl, 1986).

Já em solos alcalinos, a adição de resíduos vegetais continua a fornecer nutrientes, como Ca e Mg, que são mais disponíveis nesse pH devido à maior solubilidade e presença de carbonatos. O alumínio, neste caso, precipita como hidróxido de alumínio, tornando-se insolúvel e reduzindo o risco de toxicidade.

Portanto, em solos ácidos, a complexação do alumínio com ânions orgânicos é uma estratégia importante para mitigar a toxicidade, enquanto em solos alcalinos essa preocupação praticamente desaparece devido à química do alumínio em pH elevado. A disponibilidade de Ca e Mg em solos alcalinos tende a ser naturalmente maior, uma vez que esses elementos se solubilizam mais facilmente em pH elevado. Solos alcalinos frequentemente contêm maiores quantidades de calcário ($CaCO_3$) e dolomita ($CaMg(CO_3)_2$), que são fontes naturais de Ca e Mg.

O acúmulo de resíduos vegetais, ricos em matéria orgânica, também pode fornecer mais desses elementos ao solo, através da decomposição e mineralização dos resíduos. A serapilheira e a matéria orgânica resultante da decomposição das plantas são ricas em nutrientes e desempenham um papel essencial na melhoria das propriedades químicas do solo.

A *Caesalpinia ferrea* também contribui para a melhoria da disponibilidade de magnésio no solo salino-sódico, por meio de seus processos biológicos e da decomposição de sua biomassa. A atividade das raízes e a decomposição da biomassa dessa espécie são fundamentais para a mobilização de magnésio no solo. A adição de adubo orgânico ao solo melhora suas características físicas, químicas e biológicas, além de fornecer macro e

micronutrientes de forma gradual (Lima et al., 2007; Maia et al., 2008). Por meio da ciclagem de nutrientes, da melhoria da estrutura do solo e da adição de matéria orgânica, essas espécies aumentam a disponibilidade de magnésio, promovendo a sustentabilidade e a produtividade dos ecossistemas semiáridos. Diversos estudos realizados no Brasil demonstraram que os resíduos vegetais aumentam a disponibilidade de Ca, Mg e K trocáveis nas camadas superficiais do solo, o que pode ser explicado pela quantidade presente nos resíduos, e não pelo aumento da disponibilidade dos nutrientes já existentes no solo (Franchini et al., 1999; Amaral et al., 2004). Em período chuvoso os sais são dissolvidos devido a presença de maior conteúdo de água no solo, e isso, diminuem a presença desses cátions no perfil do solo.

Em relação da interação das épocas e os teores de magnésio solúvel no solo, percebe-se que não houve diferenças significativas nos tratamentos e nem nas épocas, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, na interação teores de magnésio solúvel no solo em relação aos tratamentos aplicados, Figura 17.

Na interação, o pau-ferro (*Caesalpinia ferrea*) foi a que mais contribuiu na formação de magnésio solúvel do solo, apesar de não haver diferença estatística com a Sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia*) e a testemunha (solo sem cultivo). O período de estiagem apresentou a maior contribuição para a formação de magnésio solúvel no solo, Figura 17.

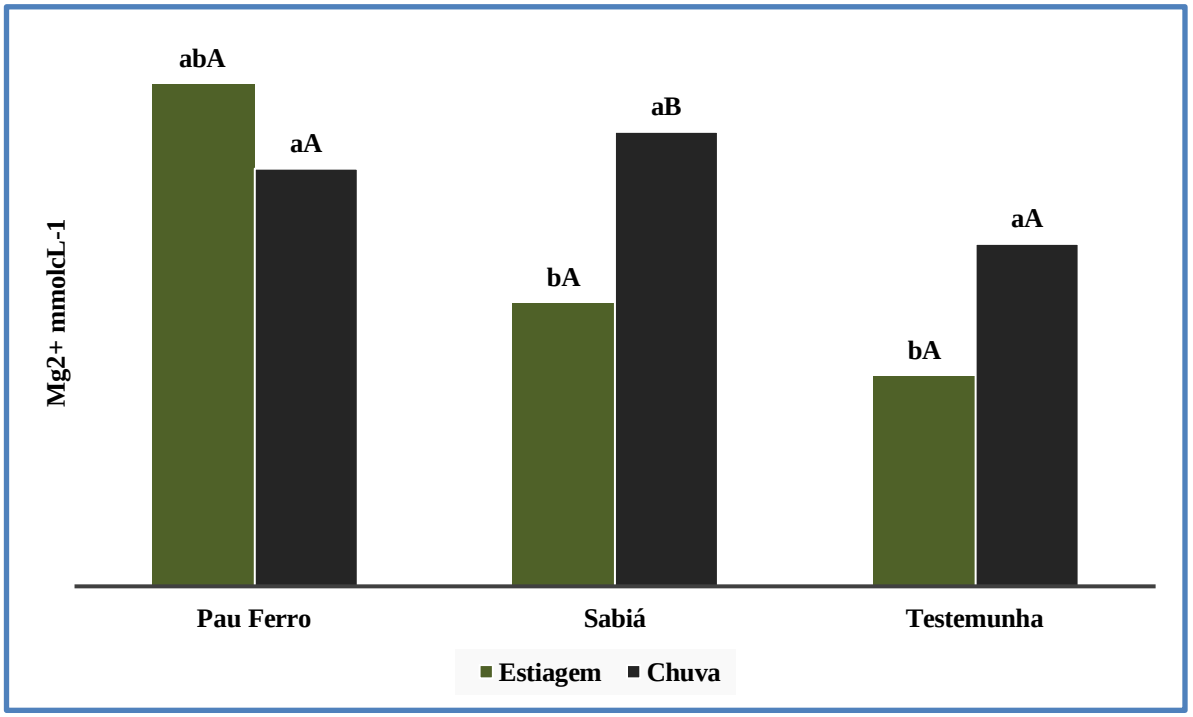



**Figura 17**. Efeitos das plantas na formação dos teores de magnésio solúvel do solo. Sousa em função dos tratamentos, PB, (Brasil), 2024. CV: 68,28%

Entre as técnicas disponíveis para a melhoria de solos salino-sódicos, destacam-se o

cultivo de espécies tolerantes e o uso de produtos que promovem a redução dos teores de sódio trocável, da condutividade elétrica do extrato de saturação (CE) e do pH, além de favorecer o aumento dos teores de cálcio e magnésio no solo (Qadir et al., 2007).

A *Caesalpinia ferrea* e a *Mimosa caesalpiniaefolia* são espécies vegetais com papel significativo na melhoria dos solos com problemas de sais, especialmente na formação de magnésio solúvel. Esses solos, comuns em regiões semiáridas, apresentam desafios devido à alta concentração de sais solúveis e sódio trocável, o que pode prejudicar a fertilidade do solo e a saúde das plantas.

A presença dessas espécies em solos salino-sódicos resultou no aumento da concentração de magnésio solúvel, possivelmente devido à dissolução de sais solúveis no solo com o aumento do conteúdo de água e ar no perfil do solo. Além disso, a decomposição de folhas e raízes, juntamente com a atividade microbiana estimulada pela matéria orgânica incorporada, pode ter contribuído para essa melhoria.

Nos ambientes salinos, os cátions mais comuns são: sódio ($Na^{+}$), cálcio ($Ca^{2+}$) e magnésio ($Mg^{2+}$), enquanto os ânions predominantes são: cloreto ($Cl^{-}$), sulfato ($SO_4^{2-}$), carbonato ($CO_3^{2-}$) e bicarbonato ($HCO_3^{-}$). O sódio é o íon dominante entre os cátions e o cloreto é o principal entre os ânions, compreendendo cerca de 50 a 80% do total de sais solúveis (Tavakkoli et al., 2011).

Essas plantas também ajudam a aumentar a disponibilidade de magnésio solúvel no solo salino-sódico, tanto por seus processos biológicos quanto pela decomposição de sua biomassa. Os tratamentos com as plantas apresentaram melhores resultados em comparação com o tratamento testemunha (solo sem cultivo), evidenciando a eficiência das plantas nativas no agrossistema.

Através da ciclagem de nutrientes, da melhoria da estrutura do solo e da adição de matéria orgânica, essas espécies promovem a solubilização do magnésio, contribuindo para a sustentabilidade e a produtividade dos ecossistemas semiáridos. Esses sistemas geralmente apresentam maior nível de matéria orgânica na superfície, o que resulta em uma maior concentração de substâncias húmicas solúveis (Salet, 1994). Embora uma análise mineralógica do solo não tenha sido realizada, sabe-se que, no processo de fitorremediação de solos afetados por sais, as plantas atuam na liberação de cálcio e magnésio a partir de minerais presentes no solo, como a calcita, por meio da acidificação do solo próximo ao sistema radicular.

Esse processo pode contribuir para o aumento dos teores desses elementos, conforme observado por Qadir et al. (2007), e possivelmente tenha ocorrido também neste estudo.

Em relação à soma de bases trocáveis do solo, não houve diferença significativa entre os tratamentos, nem na interação entre as épocas estudadas (período chuvoso e período de estiagem), conforme o teste de Tukey a 5% de probabilidade. Em relação aos períodos, os maiores valores foram observados durante o período de estiagem, confirmando, mais uma vez, a diluição dos cátions no período chuvoso, Figura 18.

Não houve diferenças significativas nos tratamentos, nem na interação entre épocas e tratamentos, conforme o teste de Tukey a 5% de probabilidade. No entanto, podemos afirmar que, entre as épocas estudadas, a estiagem resultou em um aumento maior na soma de bases (SB) do solo. Isso pode ser explicado pelo fato de que, no período chuvoso, com maior conteúdo de água no solo, as bases estão mais diluídas, Figura 18.

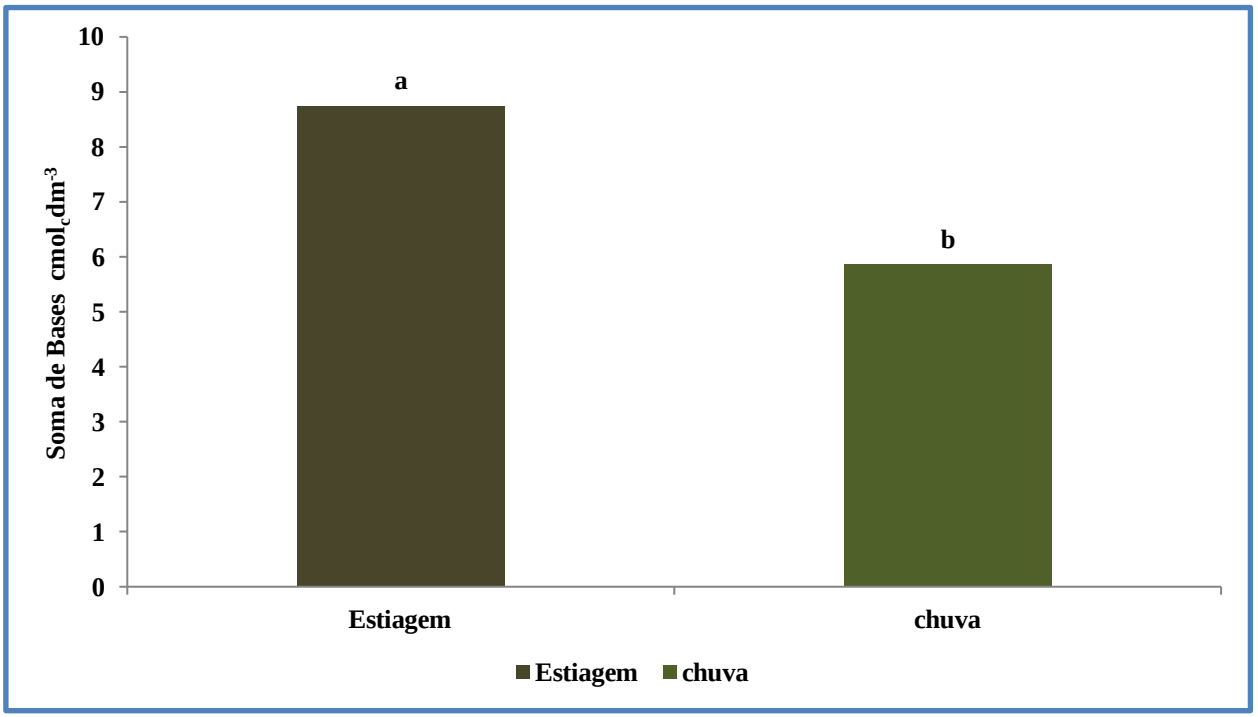



**Figura 18**. Efeitos das plantas na formação das bases trocáveis do solo em função das épocas. Sousa, PB, (Brasil), 2024. CV: 33,88%.

Durante o período de maior conteúdo de água no solo, as bases ficam mais diluídas, o que explica os valores menores de bases trocáveis observados no período chuvoso. O solo estudado não contém ($H^+ + Al^{3+}$); portanto, a capacidade de troca catiônica (CTC) é equivalente à soma de bases trocáveis.

A soma de bases no solo refere-se ao total de cátions básicos ($Ca^{2+}$, $Mg^{2+}$, $K^+$ e $Na^+$) presentes na fase trocável, sendo um importante indicador da fertilidade do solo. De acordo com Kiehl (1979), a baixa pluviosidade leva ao acúmulo de sais de cálcio, magnésio, potássio e

carbonato de sódio, saturando o complexo coloidal e gerando alcalinidade no solo. O autor explica que o solo se torna alcalino quando a maior parte das cargas negativas dependentes de pH são saturadas por bases, que desalojam o $H^+$, o qual passa para a solução do solo. Assim, as bases dominam a solução do solo.

Os estudos revelaram que as diferenças significativas nas características do solo foram atribuídas diretamente às espécies e às variações sazonais entre os períodos chuvoso e de estiagem. Durante o período chuvoso, há maior lixiviação de sais e um aumento na disponibilidade de cátions básicos. Por outro lado, durante a estiagem, a concentração de sais tende a aumentar devido à evaporação, o que reduz a eficiência das plantas na recuperação do solo. Portanto, as variações sazonais são fundamentais no monitoramento das mudanças nas bases do solo e na eficácia dessas espécies na recuperação de solos sálicos.

No que se refere aos carbonatos presentes no solo, os tratamentos com o cultivo de pau-ferro (*Caesalpinia ferrea*) e sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia*) mostraram-se significativamente eficazes na redução dos teores de carbonatos, quando comparados à testemunha (solo sem cultivo). Essa diferença foi comprovada pelo teste de Tukey, com nível de significância de 5%, Figura 19.

As plantas analisadas demonstraram eficácia significativa na redução dos teores de carbonatos no solo em comparação à testemunha. Na interação épocas/tratamentos, observou-se maior redução de carbonatos durante o período chuvoso, com exceção da testemunha (solo sem cultivo), o que reflete o papel das plantas na recuperação do solo, Figura 19.

Na interação o pau-ferro apresentar menor médias entre os tratamentos, diferenciando estatisticamente entre o sabiá e testemunha no período chuvoso, Figura 19.

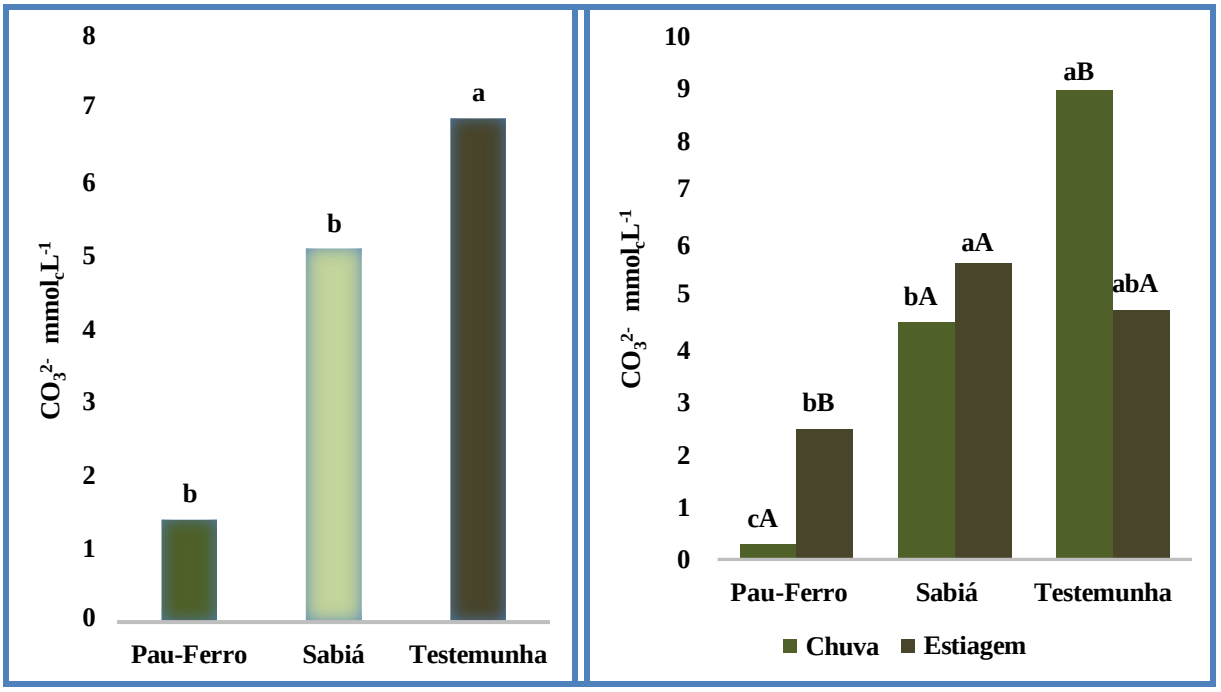



**Figura 19**. Efeitos das plantas na redução dos carbonatos do solo em função dos tratamentos. Sousa, PB, (Brasil), 2024. CV: 105,31%

Essa redução é particularmente relevante, pois os carbonatos podem precipitar cátions essenciais como cálcio e magnésio, formando compostos menos solúveis e, consequentemente, menos disponíveis para as plantas. Esse fenômeno pode agravar deficiências nutricionais em culturas já vulneráveis ao ambiente salino-sódico. Durante o período de maior umidade no solo (período chuvoso), ambas as espécies contribuíram de maneira significativa para a diminuição dos carbonatos, enquanto a testemunha apresentou um aumento nos teores, indicando a inação do solo sem cultivo na mitigação do problema.

O plantio de *Caesalpinia ferrea* e a *Mimosa caesalpiniaefolia* em solos salino-sódicos no semiárido nordestino revela importantes avanços na recuperação desse tipo de solo, corroborando estudos da literatura atual. As reduções observadas nos teores de sódio nos tratamentos com plantas estão associadas à absorção pelos sistemas radiculares ou à lixiviação de íons específicos, demonstrando que o cultivo dessas espécies é uma estratégia promissora. Adicionalmente, a presença dessas plantas estimula a atividade biológica na rizosfera, aumentando a concentração de $CO_2$, o que intensifica a dissolução de carbonatos.

Esse processo resulta na liberação de $Na^+$ trocável, que pode ser lixiviado da solução do solo, contribuindo para sua correção (Carmona et al., 2010). Essas características tornam o cultivo dessas espécies uma ferramenta potencial para melhorar a viabilidade agrícola em ambientes salinos (Hasanuzzaman et al., 2014).

As plantas também influenciam o pH do solo e a solubilidade dos carbonatos, enquanto a atividade microbiana associada às raízes desempenha um papel crucial na decomposição desses compostos. As raízes promovem a atividade de microrganismos que auxiliam na decomposição de carbonatos e na melhoria estrutural do solo. Segundo Leal et al. (2008), reduções significativas de sódio em solos salino-sódicos irrigados com águas salinas (0,175; 0,500 e 1,500 dS $m^{-1}$) foram observadas após 100 dias de cultivo com *Atriplex nummularia* em ambiente controlado, caracterizando essa planta como hiperacumuladora de sódio, com potencial para fitoextração desse elemento. Estudos similares de Souza et al. (2011) confirmaram a redução de sódio trocável no solo com o cultivo em campo de *Atriplex nummularia*, destacando sua eficiência na extração de sais e recuperação do solo.

Tanto *Caesalpinia ferrea*, quanto a *Mimosa caesalpiniaefolia* possuem grande potencial para diversos aspectos da recuperação de solos salino-sódicos. Sua capacidade de alterar a química do solo por meio de exsudatos radiculares e de promover atividade microbiana que decompõe carbonatos é um diferencial. Incorporar compostos orgânicos ao solo também pode intensificar a atividade microbiana, acelerando a decomposição de carbonatos e reduzindo a alcalinidade. Assim, essas espécies representam uma estratégia viável e sustentável para melhorar a estrutura e a fertilidade do solo, contribuindo para a recuperação e a produtividade de áreas degradadas no semiárido.

Já em relação aos bicarbonatos do solo, não houve diferença significativa nos tratamentos e nas épocas estudadas (período chuvoso e período de estiagem), conforme o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, Figura 20.

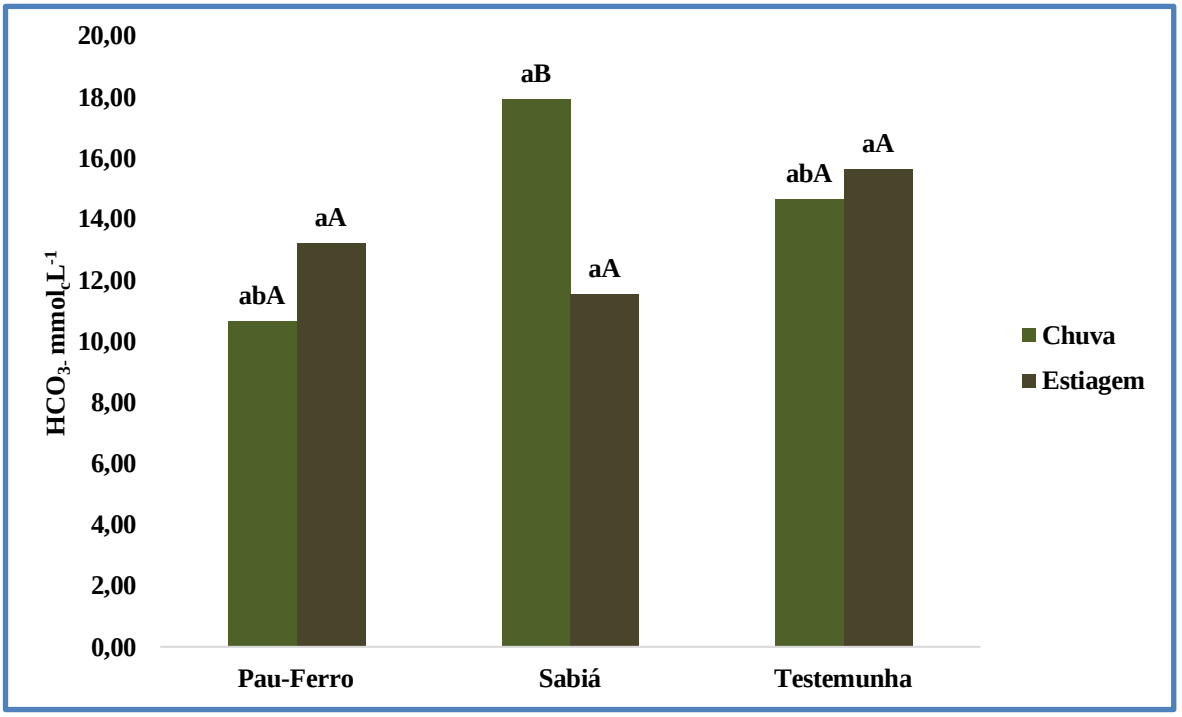



**Figura 20**. Efeitos das plantas na redução dos bicarbonatos do solo em função dos tratamentos. Sousa, PB, (Brasil), 2024. CV: 51,55%

Os solos sálicos apresentam altos níveis de sódio, o que pode dispersar partículas de argila e comprometer a estrutura do solo. Esse efeito é agravado pela presença de bicarbonatos, que aumentam o pH, intensificando a dispersão da argila e a destruição estrutural. O cultivo de *Caesalpinia ferrea* (pau-ferro) demonstrou potencial para influenciar na redução de bicarbonatos no solo, ainda que de forma indireta.

A atividade biológica promovida pelas plantas e a decomposição de matéria orgânica contribuem para uma leve acidificação do solo, alterando a forma predominante do carbono presente (bicarbonatos versus carbonatos). Em solos ligeiramente ácidos, há maior prevalência de bicarbonatos em relação aos carbonatos (Brady & Weil, 2016). Entre as espécies estudadas, *Caesalpinia ferrea* foi a planta que mais contribuiu para a redução de bicarbonatos excessivos, embora os resultados não tenham apresentado diferenças estatisticamente significativas conforme o teste aplicado. Essa contribuição pode estar associada a fatores indiretos, como a melhoria na estrutura do solo, o aumento na incorporação de matéria orgânica e a facilitação de processos dinâmicos que regulam a química do solo.

A atuação de *Caesalpinia ferrea* na redução de bicarbonatos se dá, possivelmente, pela promoção de condições mais favoráveis à estabilidade do solo sálicos. Esses efeitos incluem o estímulo à atividade microbiana e a maior interação entre os componentes orgânicos e minerais, que auxiliam na estabilização da química do solo e na redução dos bicarbonatos em excesso. Tais resultados reforçam o potencial dessa espécie como uma ferramenta para o manejo e a

recuperação de solos degradados, especialmente em regiões afetadas pela salinidade.

Em relação aos teores de cloretos no solo, o manejo adotado no cultivo de *Caesalpinia ferrea* (pau-ferro) promoveu uma redução significativa dos níveis de cloretos em comparação à testemunha (solo sem cultivo). Por outro lado, o plantio de *Mimosa caesalpiniaefolia* (sabiá) não apresentou diferenças estatisticamente significativas em relação à testemunha, indicando que essa espécie não foi eficaz na redução dos teores de cloretos do solo.

Os resultados dos tratamentos foram significativos em comparação à testemunha, conforme indicado pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade (Figura 21). Esses achados ressaltam o potencial do *pau-ferro* na remediação de solos sálicos, enquanto o *sabiá* demonstrou menor eficiência nesse parâmetro específico.

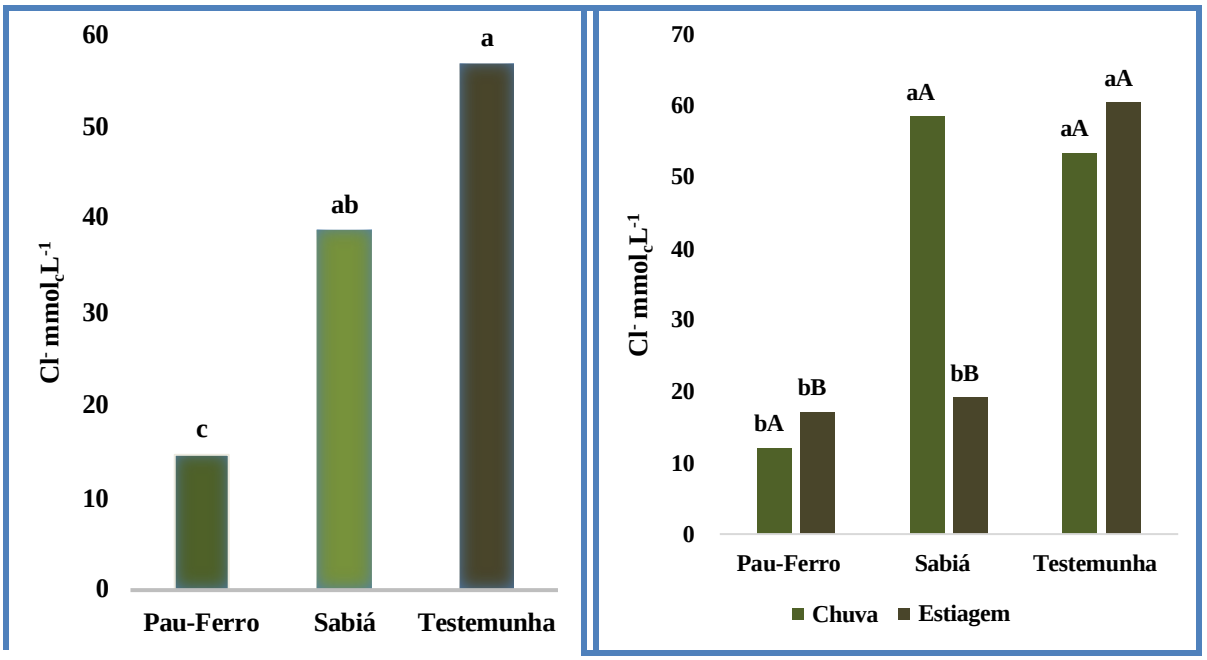



**Figura 21.** Efeitos das plantas na redução dos cloretos do solo em função dos tratamentos. Sousa, PB, (Brasil), 2024. CV: 87,47%.

Na interação entre as épocas estudadas, a *Caesalpinia ferrea* foi eficaz na redução dos teores de cloretos em ambos os períodos (chuvoso e estiagem), diferentemente da testemunha (solo sem cultivo), que não promoveu redução significativa, mantendo o processo de degradação. Já a *Mimosa caesalpiniaefolia* foi mais efetiva durante o período de estiagem, reduzindo os teores de cloretos em comparação à testemunha.

Entre os sintomas gerais de danos causados pelo estresse salino, a inibição do crescimento ocupa uma posição primária. Esse efeito está associado ao estresse osmótico gerado pela alta concentração de sais na solução do solo, que restringe a absorção de água e nutrientes pelas plantas (Chen et al., 2007; Pace et al., 2012).

Além disso, ocorre toxicidade devido ao efeito de íons específicos, como cloreto, sódio

e boro (Munns, 2005). O acúmulo excessivo desses íons interfere na atividade de enzimas citosólicas, perturba a homeostase de potássio intracelular e causa estresse oxidativo nas células vegetais (Ashraf; Harris, 2004; Pandolfi et al., 2012). Esses efeitos pleiotrópicos afetam negativamente o crescimento e desenvolvimento das plantas em níveis fisiológicos e bioquímicos (Yao et al., 2012).

O cultivo de *Caesalpinia ferrea* contribuiu para a redução dos teores de cloretos no solo, principalmente pela melhoria da estrutura do solo, aumento da matéria orgânica e promoção da lixiviação de sais. Essas melhorias facilitam a redução da salinidade e a remoção de sais cloretos, promovendo a recuperação de áreas degradadas.

As contribuições dessas plantas na redução dos cloretos no solo se devem a vários mecanismos biológicos e físicos. As raízes profundas de *C. ferrea* melhoram a infiltração de água no solo, favorecendo a lixiviação de cloretos e outros sais para camadas mais profundas ou para fora do perfil do solo. A decomposição da matéria orgânica das folhas e resíduos vegetais favorece a formação de complexos organo-cloretos, que são menos solúveis e móveis no solo, reduzindo a disponibilidade de cloretos na solução do solo.

Além disso, o aumento da capacidade de troca catiônica (CTC) promovido pela matéria orgânica ajuda a reter nutrientes e íons no solo, contribuindo para a remoção de cloretos por troca iônica e lixiviação (Brady & Weil, 2016). Os tratamentos com as plantas demonstraram maior eficiência na redução de cloretos em comparação ao tratamento sem cultivo.

A *Caesalpinia ferrea* mostrou-se particularmente eficiente, promovendo melhorias na estrutura do solo, aumento da matéria orgânica, lixiviação de sais e, possivelmente, bioacumulação de cloretos. Esses processos são fundamentais para a recuperação de solos salinizados, restaurando a fertilidade e a produtividade de áreas degradadas na Caatinga.

Excesso de cloretos no solo pode causar fitotoxicidade, comprometendo a saúde e o desenvolvimento das plantas. A redução desses teores é essencial para a recuperação de solos salino-sódicos e para garantir a viabilidade da agricultura em ambientes salinos. Assim, o manejo com espécies como *C. ferrea* é uma estratégia sustentável para a reabilitação de solos degradados e para o fortalecimento da agricultura em regiões semiáridas.

Em relação aos teores de sulfatos, observou-se que o cultivo de pau-ferro (Caesalpinia ferrea) foi significativamente eficaz na redução desses compostos, especialmente na interação entre as épocas estudadas, quando comparado ao cultivo de sabiá (Mimosa caesalpiniaefolia) e à testemunha (solo sem cultivo). Esses resultados foram confirmados pelo teste de Tukey ao nível

de 5% de probabilidade, Figura 22.

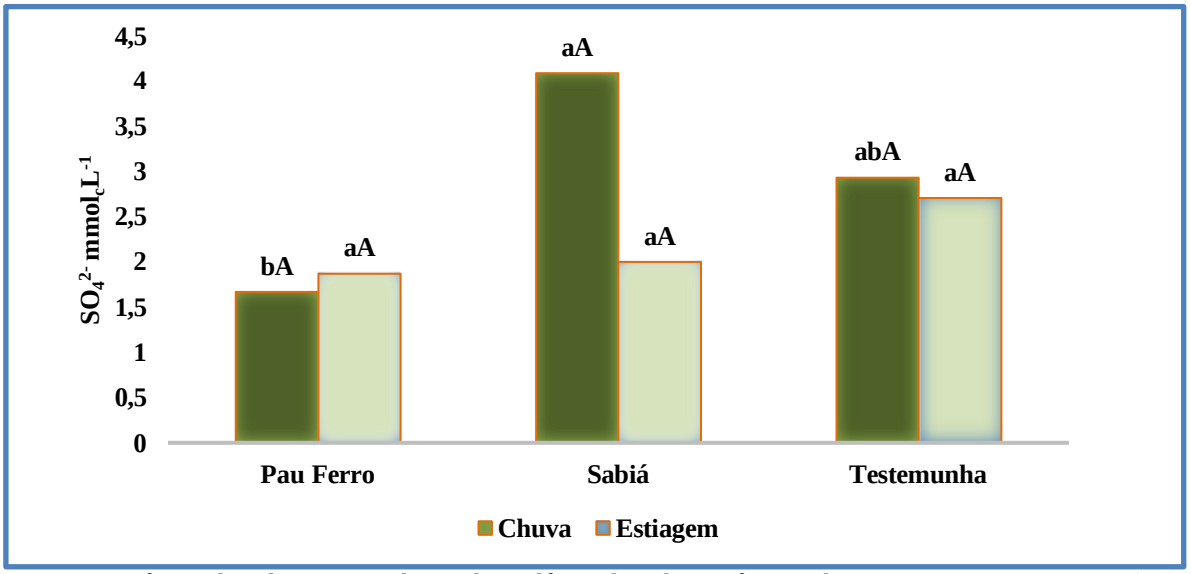



Figura 22. Efeitos das plantas na redução dos sulfatos do solo em função dos tratamentos. Sousa, PB, (Brasil), 2024. CV: 68,77%.

A *Mimosa caesalpiniaefolia* não demonstrou eficiência na interação entre épocas nem na redução dos teores de sulfatos no solo, não sendo recomendada para esse parâmetro específico de mitigação. Os tratamentos não apresentaram resultados significativos em relação aos teores de sulfatos no solo. Essa ausência de diferenças significativas pode ser atribuída à alta adaptação dessas espécies às condições do semiárido, incluindo a salinidade do solo e as variações sazonais.

A *Caesalpinia ferrea* possivelmente possui mecanismos fisiológicos e morfológicos que permitem sua sobrevivência e crescimento em ambientes adversos, o que pode justificar a falta de variações detectáveis nos parâmetros avaliados entre tratamentos e épocas. Essa resiliência destaca o potencial dessa espécie para a recuperação de solos salino-sódicos e áreas degradadas.

Estudos como este oferecem insights importantes sobre novas possibilidades de cultivos adaptados a condições adversas (*Colmer et al.*, 2005). A compreensão do comportamento ecofisiológico de espécies tolerantes à salinidade e de suas adaptações ao ambiente é essencial para identificar quais espécies ou grupos ecológicos são mais adequados à restauração de solos degradados.

A redução dos teores de sulfatos ($SO_4^{2-}$) no solo, quando bem manejada, pode ser benéfica, especialmente em solos sálicos, onde o excesso de sulfatos intensifica a salinidade e compromete a estrutura do solo. Contudo, é fundamental garantir que essa redução não resulte

em deficiência de enxofre, um elemento vital para a fertilidade do solo e a saúde das plantas. Uma gestão equilibrada é essencial para promover a sustentabilidade do ecossistema e a produtividade agrícola em ambientes desafiadores.

No que diz respeito à capacidade de troca de cátions do solo (CTC), não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos aplicados, de acordo com o teste de Tukey ao nível de 5% de significância. No entanto, na interação entre tratamentos e épocas, o período de estiagem destacou-se como o que mais contribuiu para o aumento da CTC do solo, conforme ilustrado na Figura 23.

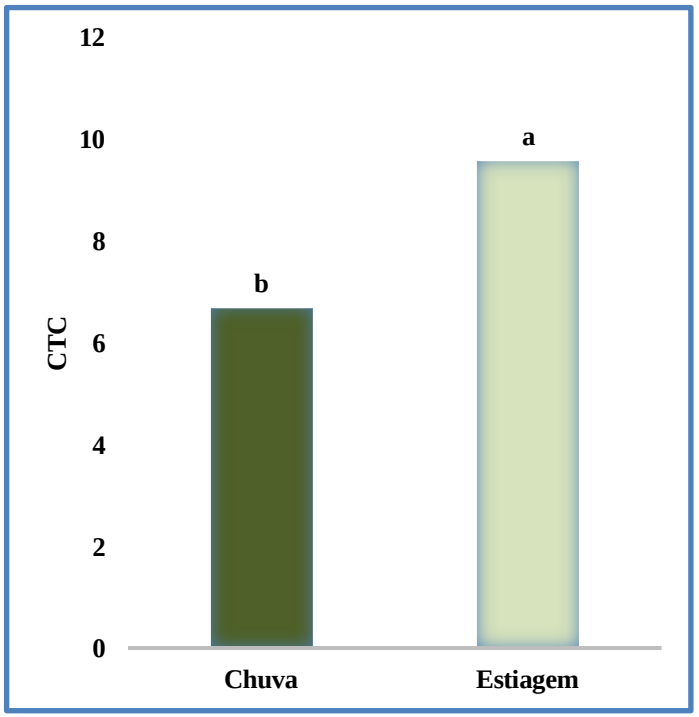



**Figura 23**. Efeitos das plantas na interação da capacidade de troca de cátions (CTC) do solo em função dos tratamentos. Sousa, PB, (Brasil), 2024. CV: 33,88%.

No período chuvoso, devido ao aumento da quantidade de água no perfil do solo, os cátions tornam-se mais diluídos, o que resulta em uma menor capacidade de troca catiônica (CTC). Segundo Miranda et al. (2018), os compostos presentes na matéria orgânica do solo geralmente atuam como agentes floculantes, interferindo positivamente em suas propriedades físicas e químicas. Esses compostos promovem melhorias como o aumento da condutividade hidráulica, a infiltração de água e a capacidade de troca catiônica (CTC), efeitos semelhantes aos esperados em solos afetados por sais.

A CTC é uma medida essencial da capacidade do solo de reter e trocar cátions (íons positivos), sendo um parâmetro crítico para a fertilidade do solo. As plantas desempenham um papel importante ao contribuir para a retenção de cátions no solo, mantendo sua disponibilidade

para as plantas e melhorando a qualidade do solo.

Em solos sem cultivo, observa-se maior desagregação estrutural, o que facilita o transporte de partículas e cátions, tornando o solo menos estruturado e menos fértil. Embora os efeitos do cultivo das espécies avaliadas não tenham sido estatisticamente significativos, sua contribuição para a estabilidade e a funcionalidade do solo é evidente em áreas degradadas.

Em relação à Relação de Adsorção de Sódio (RAS**)** ajustada para solos degradados por sódio, observou-se que o cultivo do pau-ferro (*Caesalpinia ferrea*) contribuiu significativamente para a redução da RAS, conforme indicado pelo teste estatístico aplicado, em comparação com o cultivo do sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia*) e com a testemunha (solo sem cultivo), como ilustrado na Figura 25.

O ajuste da Relação de Adsorção de Sódio (RAS), é fundamental para melhorar a fertilidade do solo e sua capacidade produtiva, para ajuste da RAS utilizou-se a seguinte equação: RASaj = Na / $(Ca^{2+} + Mg^{2+})^{1/2}$. [1 + (8,4 – pHc)], em $(mmolc\ L^{-1})^{1/2}$. Em que, $Ca^{2+}$, $Mg^{2+}$ e $Na^{+}$ representam as concentrações de cálcio, magnésio e sódio em mmolc/L. O pHc se refere ao pH de equilíbrio para o $CaCO_3$, serve para calcular a RAS ajustada e pode ser calculada de acordo com a seguinte fórmula: pHc = (pK - pKc) + p (Ca + Mg) + pAlc; Onde: pK - pKc é obtido através do somatório dos valores de (Ca + Mg + Na), de acordo com a Tabela de Ayeres; Westcot, (1976).

O valor do somatório de concentração é enquadrado na coluna (pK - pKc) da Tabela, obtendo-se um valor para tal  e p(Ca + Mg) é o somatório dos valores de (Ca + Mg), que enquadrado na tabela referida, se obtém um valor p(Ca+Mg), e p (Alc) é obtido em função da soma dos valores de ($CO_3^{2-}$ + $HCO_3^{-}$), seguindo o mesmo mecanismo, na Tabela, encontra-se o valor para p(Alc), Ayeres; Westcot, (1976).

O valor 8,4 (pH do $CaCO_3$ em água destilada) corresponde ao pH de uma solução salina, não sódica, em equilíbrio com o carbonato de cálcio ($CaCO_3$). Valores de pHc maiores que 8,4 demonstram uma tendência de dissolução do Ca do solo. Valores inferiores a 8,4 demonstram uma tendência de precipitação do cálcio da água aplicada.

Os resultados da RAS demonstraram que o cultivo de pau-ferro (*Caesalpinia ferrea***)** reduziu significativamente a RAS do solo, conforme validado pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância. Esse efeito foi estatisticamente superior ao obtido com o cultivo de sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia*) e ao solo sem cultivo (testemunha), conforme apresentado na Figura 24.

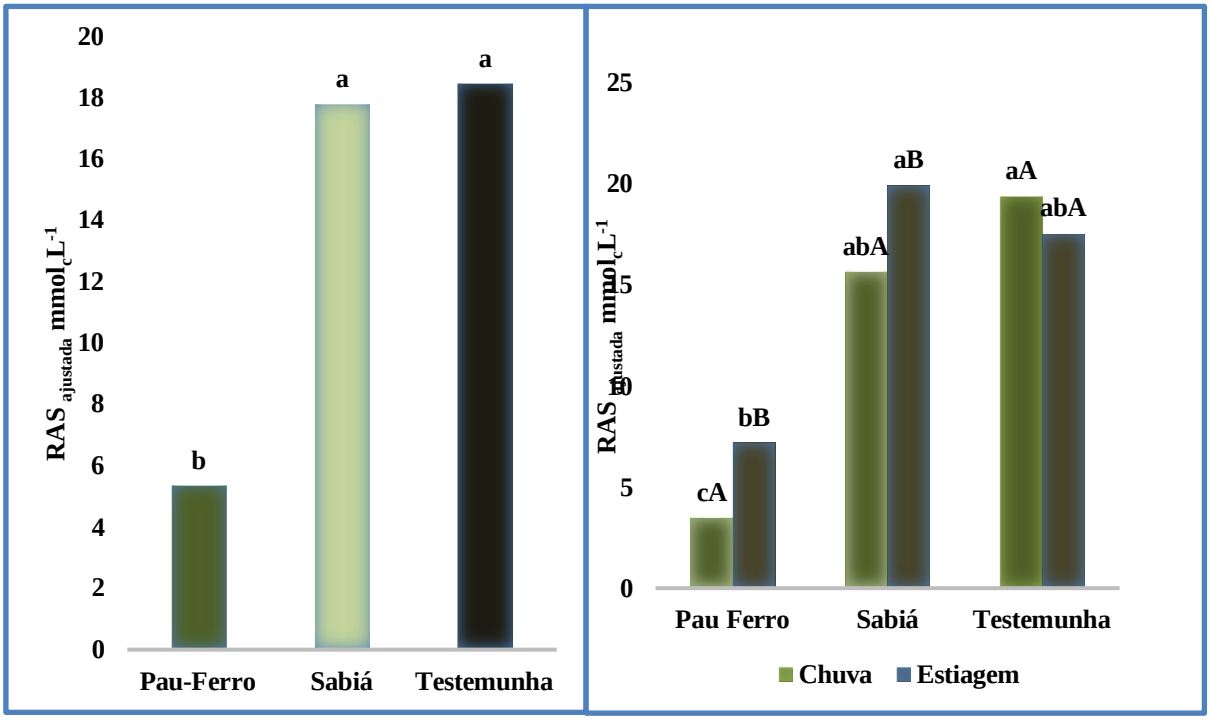



**Figura 24**. Efeitos das plantas na redução e interação da relação de adsorção de sódio (RAS) do solo em função dos tratamentos. Sousa, PB, (Brasil), 2024. CV: 77,69%

Esses resultados destacam o potencial do pau-ferro (*Caesalpinia ferrea*) como uma estratégia eficiente para a recuperação de solos degradados por sódio, promovendo melhorias na qualidade do solo e contribuindo para sua sustentabilidade produtiva. A *Caesalpinia ferrea* demonstrou eficácia na redução da Relação de Adsorção de Sódio (RAS), especialmente ao aumentar a concentração de cátions divalentes, como cálcio ($Ca^{2+}$**)** e magnésio ($Mg^{2+}$). Esses cátions desempenham papel fundamental na troca catiônica, desalojando o sódio ($Na^{+}$) do complexo de troca do solo, o que melhora sua estrutura e funcionalidade.

Entre os períodos avaliados, o período chuvoso foi o que mais contribuiu para a redução da RAS, com exceção da testemunha (solo sem cultivo). Durante este período, a lixiviação favorece a remoção de sódio do solo, intensificando o efeito dos tratamentos. Por outro lado, níveis elevados de sódio no complexo de troca podem exercer uma ação depressiva, especialmente quando equivalem a 50% ou mais do valor modal da RAS do solo (Dias; Blanco, 2010). Nessas condições, os cátions divalentes, como $Ca^{2+}$ **e** $Mg^{2+}$**,** tendem a precipitar-se na forma de bicarbonatos à medida que a solução do solo se concentra em sódio, conforme observado por Richards (1974) e Ribeiro (2010). Isso agrava a saturação de sódio no solo, prejudicando sua estrutura.

O excesso de sais solúveis no solo reduz o potencial osmótico da solução, dificultando a absorção de água pelas plantas. Essa condição resulta em desequilíbrios nutricionais que

comprometem o desenvolvimento das culturas (Carvalho; Stamford, 1999; Dutra et al., 2000; Viana et al., 2001; Amorim et al., 2002). Além disso, solos salino-sódicos apresentam um duplo desafio: o acúmulo de sais solúveis e sódio trocável. Esses fatores degradam a estrutura do solo, causando dispersão de partículas, redução da permeabilidade e dificultando o crescimento das plantas.

A *Caesalpinia ferrea* desempenha um papel crucial na recuperação de solos sálicos ao ajustar a RAS, que é um indicador da proporção de sódio em relação aos cátions divalentes ($Ca^{2+}$ **e** $Mg^{2+}$**)** no solo. Ao reduzir a RAS, melhora-se a qualidade do solo, promovendo sua aptidão para o cultivo. Solos sálicos, conhecidos por sua baixa produtividade devido ao excesso de sais e sódio trocável, podem ser recuperados através do manejo correto, no qual a *Caesalpinia ferrea* se mostra como uma solução eficaz e sustentável.

Em relação à porcentagem de sódio trocável (PST) nos solúveis, o cultivo de pau-ferro (*Caesalpinia ferrea*), associado ao manejo adotado, reduziu significativamente a PST dos solúveis. Foi observada uma diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos, com o pau-ferro apresentando melhores resultados em comparação ao cultivo de sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia*) e à testemunha, conforme indicado pelo Teste de Tukey ao nível de 5%.
Por outro lado, o cultivo de *Mimosa caesalpiniaefolia* não demonstrou resultados satisfatórios, reforçando a hipótese de que esta espécie não é promissora na redução da PST nem na melhoria de certos atributos do solo. Dessa forma, a *Mimosa caesalpiniaefolia* não pode ser considerada uma boa indicadora de qualidade do solo, Figura 25.

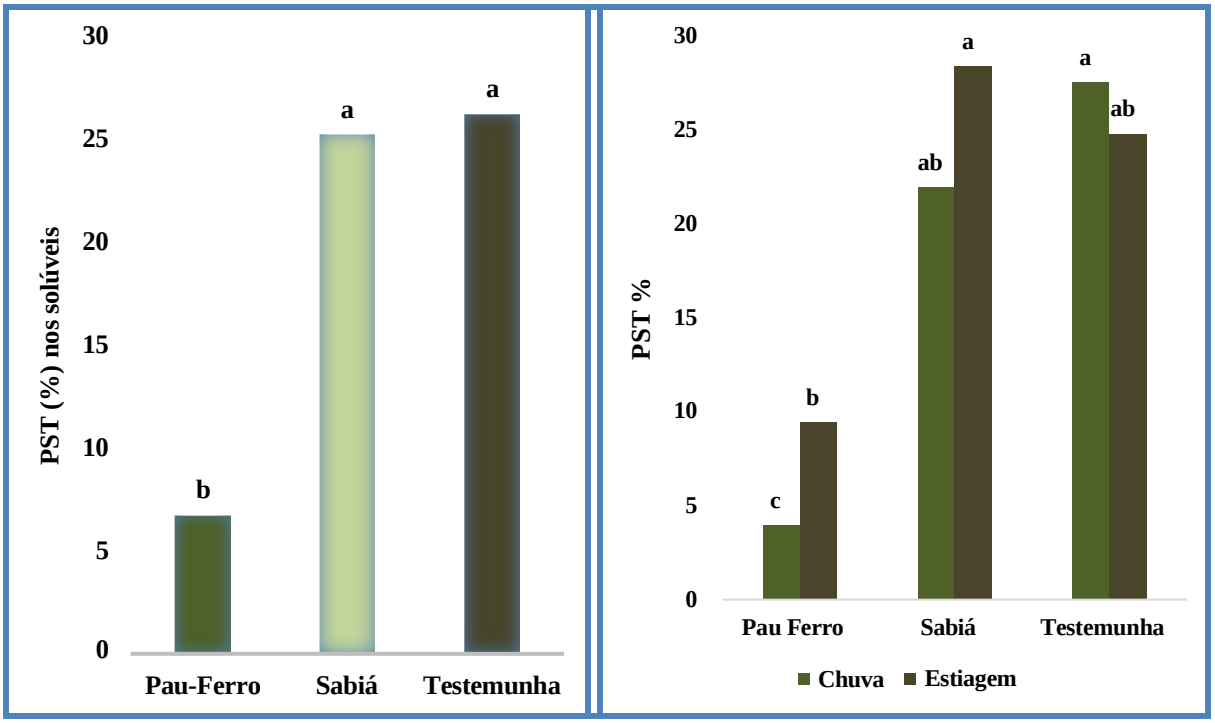



**Figura 25**. Efeitos das plantas na redução e interação da porcentagem de sódio trocável (PST) na solução solúvel do solo em função dos tratamentos. Sousa, PB, (Brasil), 2024. CV: 83,32%.

A *Caesalpinia ferrea* demonstrou o maior potencial na redução da porcentagem de sódio trocável (PST), apresentando diferenças estatisticamente significativas em relação à *Mimosa caesalpiniaefolia* e à testemunha (solo sem cultivo), conforme o teste aplicado (Figura 25). Durante as épocas avaliadas, o período chuvoso proporcionou menores reduções de PST, com exceção da testemunha. Esse comportamento é justificável, pois o aumento do conteúdo de água no solo dilui os sais presentes, reduzindo seus efeitos e, consequentemente, a PST.

A *Caesalpinia ferrea* mostrou-se eficiente na redução da PST dos solúveis no extrato saturado do solo, parâmetro essencial para avaliar o grau de salinidade, a qualidade do solo e sua aptidão para a agricultura. A menor PST observada no período chuvoso, salvo na testemunha, pode ser atribuída à saturação do sódio no complexo de troca.

Esse fenômeno é atenuado pela decomposição de serapilheiras, que aumenta o aporte de matéria orgânica no solo. A matéria orgânica, ao melhorar a estrutura do solo, favorece a infiltração e a percolação da água, promovendo a lixiviação do sódio e reduzindo a PST. Estudos de Gheyi et al. (1995)**,** Cavalcante et al. (2002)**,** Gheyi et al. (2008) **e** Miranda et al. **(**2011**)** corroboram esses resultados, destacando que a redução da sodicidade ocorre pela liberação de cálcio durante a solubilização de gesso e insumos orgânicos.

Esses cátions substituem o sódio nos sítios de adsorção, deslocando-o para a solução do solo, de onde pode ser lixiviado para camadas mais profundas. A decomposição da matéria

orgânica proveniente da Caesalpinia ferrea e da *Mimosa caesalpiniaefolia* aumentaram a concentração de cátions trocáveis no solo, favorecendo a substituição do sódio. Inicialmente, a serapilheira passa por decomposição parcial realizada pela mesofauna, paralelamente à ação dos microrganismos decompositores. Parte do carbono contido nos resíduos é liberada para a atmosfera como dióxido de carbono ($CO_2$), enquanto o restante se integra à matéria orgânica do solo (Bayer & Mielniczuk, 1999).

Por ser uma leguminosa, a *Caesalpinia ferrea* possui alta capacidade de ciclagem de nutrientes e contribui significativamente para a melhoria da estrutura do solo. Essa característica facilita a lixiviação do sódio e resulta em menores valores de PST no extrato saturado. Além disso, estudos recentes indicam que plantas como a *Caesalpinia ferrea* melhoram a estrutura do solo e aumentam sua capacidade de troca catiônica, promovendo a substituição do sódio por outros cátions, como cálcio e magnésio. Esses processos tornam o solo mais apto para o cultivo agrícola.

Por outro lado, a *Mimosa caesalpiniaefolia* não apresentou efeitos relevantes na redução da PST, evidenciando sua baixa eficiência no processo de recuperação de solos sálicos e na diminuição do teor de sódio. Portanto, a *Mimosa caesalpiniaefolia* não é recomendada para melhorar as condições de solos afetados por sódio.

No que diz respeito à porcentagem de sódio trocável (PST) no solo, o cultivo de pau-ferro (*Caesalpinia ferrea*), aliado ao manejo adotado, mais uma vez demonstrou uma redução significativa da PST. Houve diferença estatisticamente significativa entre o pau-ferro, o cultivo de sabiá (Mimosa caesalpiniaefolia) e a testemunha (solo sem cultivo), conforme indicado pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

A PST inicial do solo apresentava-se elevada, em níveis considerados severos, o que comprometia os cultivos agrícolas. Entretanto, os tratamentos, especialmente com o cultivo da Caesalpinia ferrea, resultaram em uma redução significativa da PST, conforme mostrado na Figura 26. A Caesalpinia ferrea, espécie nativa do semiárido brasileiro, demonstrou elevado potencial para recuperar solos degradados, incluindo solos salino-sódicos. Esses solos são caracterizados por elevados teores de sais solúveis e sódio trocável, fatores que comprometem a estrutura do solo, reduzem a disponibilidade de nutrientes e dificultam o crescimento das plantas.

A utilização de espécies como a *Caesalpinia ferrea* na recuperação de solos salino-sódicos envolve múltiplos processos benéficos, como a fitorremediação, a melhoria da estrutura do solo e a promoção de condições mais favoráveis para o desenvolvimento de outras culturas.

Por outro lado, o cultivo de Mimosa caesalpiniaefolia novamente não apresentou contribuições significativas para a melhoria da qualidade do solo nem para a redução dos parâmetros de salinidade. Dessa forma, a Caesalpinia ferrea foi efetiva na recuperação do solo, reduzindo significativamente a PST de sódio trocável em comparação com a *Mimosa caesalpiniaefolia* e a testemunha, como evidenciado na Figura 26.

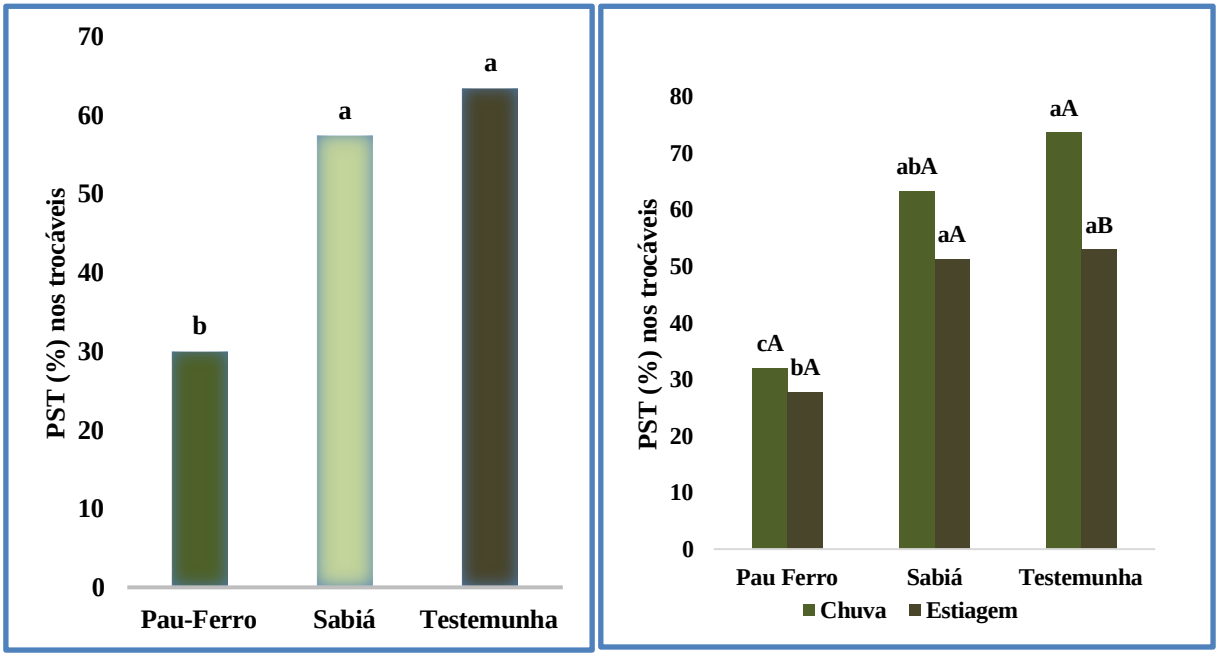



**Figura 26**. Efeitos das plantas na redução e interação da porcentagem de sódio trocável (PST) do solo em função dos tratamentos. Sousa, PB, (Brasil), 2024. CV: 49,95%.

Nas épocas estudadas, a porcentagem de sódio trocável (PST) foi maior no período chuvoso, o que evidencia a alta solubilidade dos sais presentes nesse ambiente degradado. A Caesalpinia ferrea demonstrou ser uma espécie capaz de tolerar elevados níveis de salinidade, o que viabiliza seu crescimento em solos adversos e contribui para a estabilização e recuperação do solo. Sua presença promove melhorias estruturais, com raízes que aumentam a infiltração de água e reduzem a compactação. Além disso, a ciclagem de nutrientes é beneficiada pela adição de matéria orgânica, proveniente da queda de folhas e outros resíduos vegetais.

Embora muitas plantas desenvolvam mecanismos de ajuste osmótico, como a compartimentalização de íons nos vacúolos das células, garantindo sua sobrevivência em ambientes salinos, esse processo pode demandar energia, afetando negativamente o crescimento e o desenvolvimento vegetal (Taiz; Zeiger, 2002). Esse fenômeno parece ter ocorrido nos tratamentos, que apresentaram uma redução significativa da PST, de mais de 60% para pouco acima de 30%, quando comparados à testemunha. Essa redução pode ser atribuída à capacidade da planta de compartimentalizar $Na^+$ nos vacúolos, prevenindo efeitos tóxicos no citosol. Esse

mecanismo mantém o potencial osmótico da célula, minimizando o déficit hídrico em condições de salinidade elevada (Castillo et al., 2007).

A *Caesalpinia ferrea*, como leguminosa, tem a capacidade de fixar nitrogênio atmosférico, enriquecendo o solo com este nutriente essencial. Além disso, a planta apresenta alta resistência ao estresse salino, o que possibilita seu uso em solos salino-sódicos. A decomposição de suas folhas e galhos aumenta a matéria orgânica do solo, contribuindo para melhorias na fertilidade e na capacidade de retenção de água.

Por outro lado, a *Mimosa caesalpiniaefolia*, embora não tenha apresentado resultados estatisticamente distintos em relação à testemunha, ainda assim contribui para a contenção da erosão e pode melhorar a fertilidade do solo. Sua matéria orgânica adicionada ao solo favorece a reestruturação das propriedades físico-químicas, reduzindo, em menor grau, a salinidade e aumentando a capacidade de retenção de água.

Essas espécies demonstram potencial para melhorar significativamente as condições do solo, tornando-o mais apto para o cultivo e promovendo a sustentabilidade agrícola em regiões semiáridas. Enquanto a *Caesalpinia ferrea* se destaca pela alta eficiência em ambientes salinos, a *Mimosa caesalpiniaefolia* tem um papel complementar, contribuindo para processos de reestruturação do solo.

Em relação aos sulfatos não houve diferença significativa entre as espécies e a testemunha, como também na interação entre as épocas.

## 5. CARACTERIZAÇÃO DA MACROFAUNA DO SOLO

Realizamos também a avaliação da macrofauna edáfica ao final do período de estiagem de 2023 (dezembro). Utilizaram-se armadilhas do tipo PROVID, adaptadas a partir de Antoniolli et al. (2006), confeccionadas com garrafas PET de dois litros. Cada armadilha continha quatro aberturas de 2 cm x 2 cm, localizadas a 20 cm da base da garrafa, representando os quatro pontos cardeais. Foi adicionada uma solução de 100 ml de detergente neutro a 15% em cada armadilha. Estas foram enterradas no solo a 20 cm de profundidade, com as aberturas ao nível da superfície, permanecendo em campo por 96 horas.

Após o período de exposição, as armadilhas foram cuidadosamente removidas para evitar o derramamento do conteúdo. O material coletado foi transferido para o Laboratório do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Campus Sousa, localizado em São Gonçalo. No laboratório, os organismos foram lavados em água corrente com o auxílio de peneiras de malha de 0,25 mm e deixados para secar à sombra, sobre folhas de papel A4. A

contagem e a identificação dos organismos foram realizadas até os níveis taxonômicos de ordem e classe, utilizando uma lupa com ampliação de 25 vezes.

As armadilhas foram instaladas em parcelas de plantio de aroeira, catingueira e em solo sem cultivo, com espaçamento de três metros entre cada armadilha. Foram dispostas cinco armadilhas por faixa, totalizando 15 armadilhas distribuídas na área experimental. Os buracos para instalação das armadilhas foram escavados com dimensões suficientes para que as garrafas PET ficassem niveladas com a superfície do solo, facilitando o acesso dos insetos.

Após a coleta, os insetos capturados foram classificados até os níveis taxonômicos de gênero e espécie, com o objetivo de identificar a diversidade, abundância e distribuição da macrofauna edáfica na área de estudo. Esse levantamento contribuiu para o entendimento das interações ecológicas e para a análise da fertilidade do solo.

As armadilhas adaptadas do tipo PROVID foram projetadas com aberturas laterais que permitiam a entrada dos organismos, sendo descritas em detalhe nas Figuras 27 e 28.

**Figura 27**. Armadilha confeccionada para captura da macrofauna do solo. Sousa, PB, Brasil), 2024
Fonte. Autor (2024

**Figura 28**. Armadilha confeccionada para captura da macrofauna do solo. Sousa, PB, (Brasil), 2024
Fonte. Autor (2024)

Os resultados indicam a presença de indivíduos da classe Hymenoptera, que costumeiramente habitam esse tipo de área e por serem mais resistentes a elevadas temperaturas. Bruchman et al. (2015) mencionam que este grupo se movimenta em seus ninhos no período de seca em busca de alimento.

O predomínio da Classe Insecta na macrofauna do solo foi verificado também na

testemunha, só que em menor números. Essas classes também foram observadas por Correia et al. (2009), e em outros biomas brasileiros (Höfer et al., 2001; Silva et al., 2007).

Em relatos de outros estudos em biomas diferentes demonstraram aumento no número de grupos de invertebrados edáficos de acordo com a complexidade estrutural do ambiente, como os de (Vicente et al. 2010) entre área de mata e outra em avançado estado de degradação e de (Menezes et al. 2009) em florestas de Mata Atlântica em diferentes estágios sucessonais.

Nos tratamentos com as plantas nativas da Caatinga os números de indivíduos da população das ordens foram superiores a testemunha, comprovando que o ambiente da vegetação é mais propício a macrofauna do solo, Tabela 5.

A introdução de plantas nativas como o pau-ferro (Caesalpinia ferrea) em áreas degradadas não apenas contribui para a restauração da vegetação, mas também promove a recuperação da biodiversidade do solo. Essa recuperação é essencial para a fertilidade geral do ecossistema, melhorando os atributos do solo e incentivando processos ecológicos vitais, como a ciclagem de nutrientes, mediada pela macrofauna edáfica, Tabela 5.

Entre os invertebrados do solo, a macrofauna desempenha um papel fundamental no funcionamento dos ecossistemas. Esses organismos afetam diretamente a produção primária e ocupam todos os níveis tróficos na cadeia alimentar do solo, desempenhando funções essenciais para a estabilidade e produtividade do ambiente (Silva et al., 2007). As áreas cultivadas com Caesalpinia ferrea demonstraram capacidade de atrair populações diversificadas de indivíduos pertencentes a várias classes e ordens da macrofauna edáfica, conforme apresentado na Tabela 5. Isso reforça o papel dessa espécie na promoção da biodiversidade funcional do solo, essencial para a recuperação de áreas degradadas.

Portanto, o cultivo de espécies nativas como o pau-ferro não apenas restaura a cobertura vegetal, mas também melhora as condições biológicas do solo. A presença dessas plantas cria um ambiente favorável para a ciclagem de nutrientes e atrai uma rica diversidade de macrofauna, fortalecendo os processos ecológicos que sustentam a fertilidade do solo e a sustentabilidade do ecossistema como um todo, Tabela 5.

**Tabela 5**. Planta, parcela, classes, ordens taxonômicas e número de indivíduos da macrofauna do solo coletados após dois anos de avaliação em dezembro de 2023, São Gonçalo, Sousa, PB, (Brasil), 2024.

| Planta nativa da Caatinga | parcela | Classe | Ordem | Nº indivíduos da população |
|---|---|---|---|---|
| *Caesalpinia ferrea* | 1 | Insecta | Coleóptera | 6 |
| | | | Hymenoptera | 147 |
| | | | Díptera | 5 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Arachnida | Araneae | 5 |
| *Caesalpinia ferrea* | 2 | Insecta | Coleóptera | 2 |
| | | | Hymenoptera | 111 |
| | | | Araneae | 3 |
| | | Arachnida | Orthoptera | 1 |
| *Caesalpinia ferrea* | 3 | Insecta | Coleóptera | 5 |
| | | | Hymenoptera | 71 |
| | | Arachnida | Araneae | 3 |
| *Caesalpinia ferrea* | 4 | Insecta | Coleóptera | 2 |
| | | | Hymenoptera | 368 |
| | | | Díptera | 3 |
| | | Arachnida | Aracnídeos | 9 |
| *Caesalpinia ferrea* | 5 | Insecta | Coleóptera | 5 |
| | | | Hymenoptera | 44 |
| | | Arachnida | Aracnídeos | 2 |
| **Total ..... 792** | | | | |

Fonte: Autor (2024)

Entre os invertebrados do solo, a macrofauna edáfica desempenha um papel fundamental no funcionamento dos ecossistemas. Esses organismos afetam diretamente a produção primária, tanto de maneira direta quanto indireta, e ocupam todos os níveis tróficos na cadeia alimentar do solo (Silva et al., 2007). A importância da macrofauna do solo na avaliação da saúde e sustentabilidade dos ecossistemas é amplamente reconhecida e documentada, especialmente em ambientes que sofrem interferência antrópica. Estudos de referência, como os de Baretta et al. (2006), Pereira Júnior et al. (2010), Vicente et al. (2010) e Caproni et al. (2011), destacam a relevância dessa fauna como indicadora da qualidade do solo.

De acordo com relatos de Alves et al. (2009), práticas inadequadas de uso agrícola, pecuária extensiva e exploração intensiva de recursos minerais e florestais nas áreas de Caatinga têm gerado núcleos significativos de degradação em várias regiões do Estado. Nesse contexto, a utilização da fauna edáfica como indicador da qualidade do solo é uma ferramenta essencial para monitorar e orientar práticas de recuperação ambiental.

A Caesalpinia ferrea desempenha um papel destacado como espécie pioneira ou facilitadora em áreas degradadas. Ela cria condições favoráveis para o estabelecimento de outras espécies vegetais, além de oferecer cobertura que protege o solo contra processos erosivos, tanto hídricos quanto eólicos, problemas comuns em áreas degradadas.

O cultivo da espécie sabiá (Mimosa caesalpiniaefolia) demonstra uma importante contribuição para a diversificação de diferentes classes e ordens de insetos. Dados apresentados evidenciam que essa planta atraiu populações e indivíduos de diversas categorias taxonômicas. Entre as ordens observadas, Hymenoptera destacou-se como a mais abundante, seguida em

importância por Coleóptera e Araneae, conforme indicado na Tabela 6.

**Tabela 6**. Planta, parcela, classes, ordens taxonômicas e número de indivíduos da macrofauna do solo coletados após dois anos de avaliação em dezembro de 2023, São Gonçalo, Sousa, PB, (Brasil), 2024.

| Planta nativa da Caatinga | parcela | Classe | Ordem | Nº indivíduos da população |
|---|---|---|---|---|
| *Mimosa caesalpiniaefolia* | 1 | Insecta | Coleóptera | 9 |
| | | | Hymenoptera | 84 |
| | | | Díptera | 2 |
| | | Arachnida | Araneae | 1 |
| *Mimosa caesalpiniaefolia* | 2 | Insecta | Coleóptera | 23 |
| | | | Hymenoptera | 31 |
| | | | Díptera | 15 |
| | | | Ortóptera | 1 |
| | | Arachnida | Araneae | 16 |
| *Mimosa caesalpiniaefolia* | 3 | Insecta | Coleóptera | 17 |
| | | | Hymenoptera | 81 |
| | | | Díptera | 9 |
| | | | Ortóptera | 1 |
| | | Arachnida | Araneae | 5 |
| *Mimosa caesalpiniaefolia* | 4 | Insecta | Coleóptera | 14 |
| | | | Hymenoptera | 388 |
| | | | Ortóptera | 1 |
| | | | Díptera | 3 |
| | | Arachnida | Aracnídeos | 25 |
| *Mimosa caesalpiniaefolia* | 5 | Insecta | Coleóptera | 23 |
| | | | Hymenoptera | 51 |
| | | | Díptera | 1 |
| | | Arachnida | Aracnídeos | 24 |
| **Total ..... 825** | | | | |

Fonte: Autor (2024)

O cultivo da espécie nativa da Caatinga, sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia*), fornece informações valiosas sobre a macrofauna do solo em áreas plantadas com espécies nativas, evidenciando sua contribuição para uma maior biodiversidade de organismos vivos em comparação com áreas sem cultivo (testemunha). Esse papel é especialmente relevante no processo de recuperação de áreas degradadas.

Nas amostras coletadas, destacou-se a dominância de Hymenoptera, representados principalmente por formigas (Formicidae). Esses resultados corroboram estudos prévios, como os de Araújo et al. (2009), Correia et al. (2009) e Pereira Júnior et al. (2010), realizados em diferentes áreas de Caatinga paraibana utilizando o método Provid, que também registraram a prevalência desse grupo na macrofauna do ecossistema.

A *Mimosa caesalpiniaefolia* exerce um papel significativo na promoção da biodiversidade do solo e na recuperação de áreas degradadas. Esse efeito positivo é evidenciado

pela maior diversidade e abundância de macrofauna em solos cultivados, com destaque para Hymenoptera, e reflete uma melhora na estrutura do solo e no aumento da matéria orgânica, favorecendo um ambiente propício para o desenvolvimento de organismos do solo.

A utilização de *Mimosa caesalpiniaefolia* e outras espécies nativas em programas de recuperação ambiental pode ser uma estratégia eficaz para restaurar a qualidade do solo e promover a biodiversidade. Essa abordagem está alinhada com práticas de manejo sustentável e conservação ambiental, sendo essencial para a sustentabilidade e a saúde dos ecossistemas em regiões semiáridas.

No contexto da testemunha (solo sem cultivo), observa-se que a frequência e a diversidade de organismos do solo foram menores em comparação com as áreas plantadas com espécies nativas. Os dados apresentados na Tabela 7 foram coletados especificamente na área da testemunha, reforçando essa diferença.

A ausência de plantas nativas da Caatinga resultou em uma redução significativa no número de indivíduos de insetos na área sem cultivo. Solos sem cultivo tendem a atrair poucos insetos, possivelmente devido à falta de cobertura vegetal, à baixa quantidade de matéria orgânica e à maior susceptibilidade à erosão e compactação, conforme evidenciado na Tabela 7.

Esses resultados reforçam que solos sem cobertura vegetal estão mais suscetíveis à degradação e erosão (hídrica e eólica), tornando-os áreas com baixa presença de organismos e dificultando sua recuperação, Tabela 7.

**Tabela 7**. Planta, parcela, classes, ordens taxonômicas e número de indivíduos da macrofauna do solo coletados na área da testemunha (solo sem cultivo), após dois anos de avaliação em dezembro de 2023. São Gonçalo, Sousa, PB, (Brasil), 2024.

| Planta nativa da Caatinga | parcela | Classe | Ordem | Nº indivíduos da população |
|---|---|---|---|---|
| Testemunha | 1 | Insecta | Coleóptera | 7 |
| | | | Hymenoptera | 205 |
| | | | Diptera | 1 |
| | | Arachnida | Araneae | 2 |
| Testemunha | 2 | Insecta | Coleóptera | 8 |
| | | | Hymenoptera | 51 |
| | | | Diptera | 4 |
| | | Arachnida | Araneae | 2 |
| Testemunha | | Reptilia | Coleóptera | 14 |
| Testemunha | 3 | Insecta | Hymenoptera | 218 |
| | | | Diptera | 24 |
| | | Arachnida | Araneae | 2 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Testemunha | 4 | Insecta | Coleóptera | 3 |
| | | | Hymenoptera | 183 |
| | | | Diptera | 3 |
| | | Arachnida | Araneae | 4 |
| Testemunha | 5 | Insecta | Coleóptera | 7 |
| | | | Hymenoptera | 32 |
| | | Arachnida | Araneae | 17 |
| **Total** | | | | **787** |

Fonte: Autor (2024)

Segundo, Araújo et al. (2009) relataram que áreas de Caatinga com vegetação nativa apresentam maior diversidade e abundância de macrofauna em comparação com áreas degradadas. Nesse contexto, a vegetação nativa, como *Caesalpinia ferrea* e a *Mimosa caesalpiniaefolia*, desempenha um papel crucial na manutenção da saúde do solo e da macrofauna. Além disso, estudos de Correia et al. (2009) e Pereira Júnior et al. (2010) destacaram o método Provid como uma ferramenta promissora para avaliar a macrofauna em diferentes áreas, confirmando a maior presença de Hymenoptera e outras ordens em solos com cobertura vegetal nativa.

Os dados coletados mostram que a população de indivíduos na área de testemunha (solo sem cultivo) foi significativamente inferior às áreas cultivadas com *Caesalpinia ferrea* e como também a *Mimosa caesalpiniaefolia* (Tabela 5; Tabela 6; Tabela 7).

### 5.1 Avaliação da população e frequência relativa de indivíduos em cada área estudada

Na avaliação da população e da frequência relativa de indivíduos da macrofauna do solo coletados na área de plantio de pau-ferro (*Caesalpinia ferrea*) após dois anos, foram apresentados os dados quantitativos e calculada a frequência relativa de cada grupo de organismos. A frequência relativa é obtida como a proporção de cada grupo em relação ao total de indivíduos coletados, expressa em porcentagem. Essa métrica permite uma melhor compreensão do percentual de cada ordem de indivíduos dentro de cada faixa de plantio e da faixa de testemunha (solo sem cultivo).

A fórmula para cálculo da frequência relativa é expressa como: Frequência Relativa (%) = (População do Grupo / População Total) × 100.

Essa abordagem destaca os grupos da macrofauna edáfica local com maior frequência em cada faixa de tratamento utilizado na recuperação do solo, além de permitir comparações com a faixa de solo sem cultivo. Assim, é possível evidenciar as ordens com maior e menor frequência em cada cenário avaliado.

Os dados de frequência relativa apresentados a seguir foram coletados na área de cultivo de pau-ferro, proporcionando insights importantes sobre a composição e distribuição da macrofauna edáfica em diferentes condições de manejo.

Os dados indicam uma significativa superioridade na presença de insetos das ordens Hymenoptera, Araneae e Coleóptera na faixa de cultivo de pau-ferro (*Caesalpinia ferrea*). Essa predominância pode ser atribuída à capacidade da *Caesalpinia ferrea* de proporcionar abrigos favoráveis a essas ordens. Os besouros, por exemplo, tendem a surgir em grandes quantidades na natureza e são facilmente atraídos pelas armadilhas instaladas (Figura 29).

Contudo, na faixa cultivada com *Caesalpinia ferrea*, a ordem Hymenoptera apresentou dominância quase absoluta, representando mais de 93% da população de insetos coletados (Figura 29).

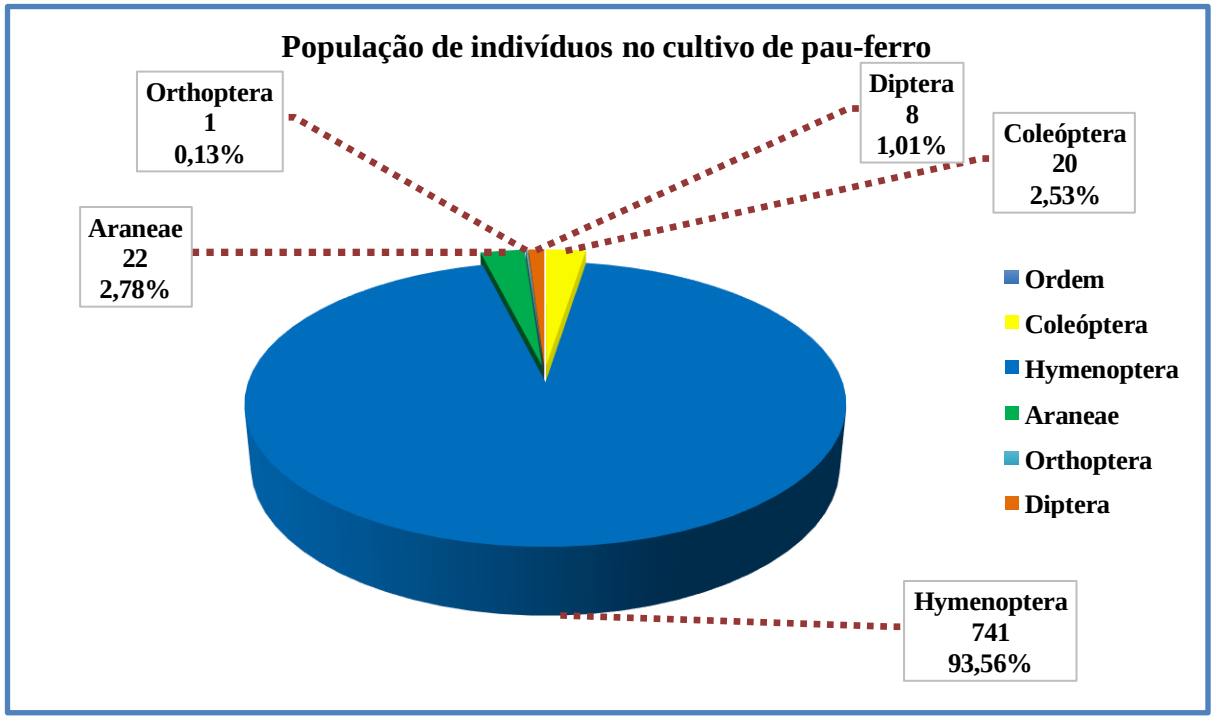



**Figura 29**. População e frequência relativa (%) de indivíduos da macrofauna do solo coletados na área de plantio do pau-ferro, após dois anos de estudo, dezembro de 2023. São Gonçalo, Sousa, PB, (Brasil), 2024
Fonte: Autor (2024)

Nesse contexto e considerado relevante é a presença de indivíduos da classe Arachnida na área de estudo, o que aumenta a variação de classes de organismos presentes no local. A alta abundância de Hymenoptera, grupo diversificado que inclui formigas, vespas e abelhas, é um indicativo de solo saudável e bem estruturado. Formigas, em particular, desempenham papéis cruciais na aeração do solo, no ciclo de nutrientes e no controle de populações de pragas.

Estudos como o de Melo et al. (2015), que avaliaram a macrofauna do solo em uma

área preservada de Caatinga no município de Santana do Ipanema, Sertão Alagoano, registraram a presença de oito grupos taxonômicos, um número superior ao observado nesta pesquisa.

O cultivo de *Caesalpinia ferrea* revela-se altamente benéfico para a biodiversidade do solo, promovendo uma comunidade rica e diversificada de macrofauna. Esses efeitos têm implicações positivas na saúde do solo, na produtividade agrícola e na recuperação de áreas degradadas. Sua contribuição vai além da presença vegetal, influenciando positivamente o ecossistema por meio da melhoria da estrutura do solo, aumento da matéria orgânica, criação de microclimas favoráveis e suporte a uma complexa rede de interações ecológicas. A *Caesalpinia ferrea* fortalece toda a cadeia da fauna edáfica, essencial para a ciclagem de nutrientes e o equilíbrio ambiental.

A frequência relativa abaixo foi realizada na área de cultivo da *Mimosa caesalpiniaefolia*, Figura 30**.**

A macrofauna edáfica do solo na área de cultivo da espécie sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia*) demonstra que a abundância de diferentes ordens pode fornecer informações valiosas sobre a saúde do ecossistema e os efeitos das práticas de cultivo. No solo cultivado com a *Mimosa caesalpiniaefolia*, as ordens mais abundantes foram Hymenoptera, seguidas por Coleóptera e Araneae, conforme apresentado na Figura 30.

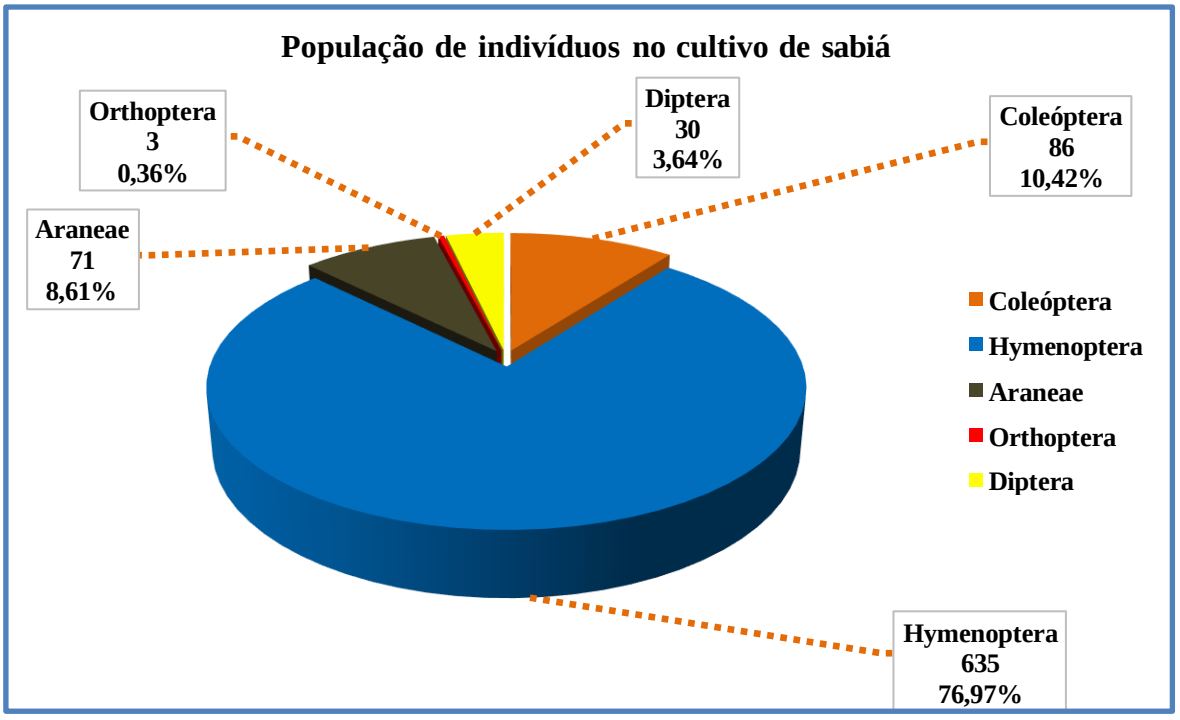



**Figura 30**. População e frequência relativa (%) de indivíduos da macrofauna do solo coletados na área de plantio do sabiá, após dois anos de estudo, dezembro de 2023. São Gonçalo, Sousa, PB, (Brasil), 2024
Fonte: Autor (2024)

A maior diversidade de ordens de insetos sugere diversos benefícios. A ordem

Hymenoptera, grupo que inclui formigas, vespas e abelhas, é um indicativo de solo saudável e bem estruturado, pois muitas formigas desempenham papéis cruciais na aeração do solo e no ciclo de nutrientes. Na área avaliada, essa ordem representou mais de 76% dos indivíduos coletados. Além disso, formigas podem controlar populações de pragas, contribuindo para a estabilidade ecológica.

A macrofauna edáfica é fundamental para o funcionamento dos ecossistemas, pois ocupa todos os níveis tróficos na cadeia alimentar do solo e influencia a produção primária de forma direta e indireta (Silva et al., 2007).

A presença de moscas e mosquitos (ordem Díptera) em grandes números está frequentemente associada à decomposição de matéria orgânica e a condições de alta umidade, que indicam um solo fértil através de suas larvas. Já a ordem Araneae, que inclui as aranhas, reflete a presença de predadores naturais que contribuem para o controle biológico de outros invertebrados, promovendo o equilíbrio ecológico.

Estudos anteriores confirmam a eficácia da fauna edáfica como indicadora da qualidade do solo, especialmente em ambientes impactados pela atividade humana (Baretta et al., 2006; Pereira Júnior et al., 2010; Vicente et al., 2010; Caproni et al., 2011). A ordem Coleóptera, composta por besouros, inclui muitos detritívoros que auxiliam na decomposição de matéria orgânica, contribuindo para a reciclagem de nutrientes e o enriquecimento do solo.

Essas observações reforçam que o cultivo de *Mimosa caesalpiniaefolia* beneficia a biodiversidade do solo ao promover uma comunidade rica e diversificada de macrofauna. Isso tem implicações positivas para a saúde do solo, a produtividade agrícola e a recuperação de áreas degradadas, além de contribuir para a sustentabilidade ecológica. Em comparação à área de testemunha (solo sem plantas), a macrofauna foi significativamente mais abundante nas áreas cultivadas, destacando a importância da cobertura vegetal na promoção da biodiversidade edáfica.

Em relação a área do solo sem cultivo a frequência relativa abaixo foi bem menor em diversidades e abundância de insetos nessa área, as informações abaixo foram coletadas na área da testemunha (solo sem cultivo), Figura 31.

Os dados obtidos na área de solo sem cultivo (testemunha) evidenciam que o número de indivíduos, a população total, bem como as Classes e Ordens presentes, são significativamente menores em comparação às áreas cultivadas com *Caesalpinia ferrea* e a *Mimosa caesalpiniaefolia*. Esses resultados, apresentados na Figura 31, mostram uma menor diversidade e frequência da macrofauna no solo da área de testemunha em relação aos solos

cultivados no semiárido paraibano. Esses achados destacam o impacto positivo das práticas de cultivo com espécies arbóreas na atração e recomposição da macrofauna edáfica, promovendo a saúde e diversidade do solo.

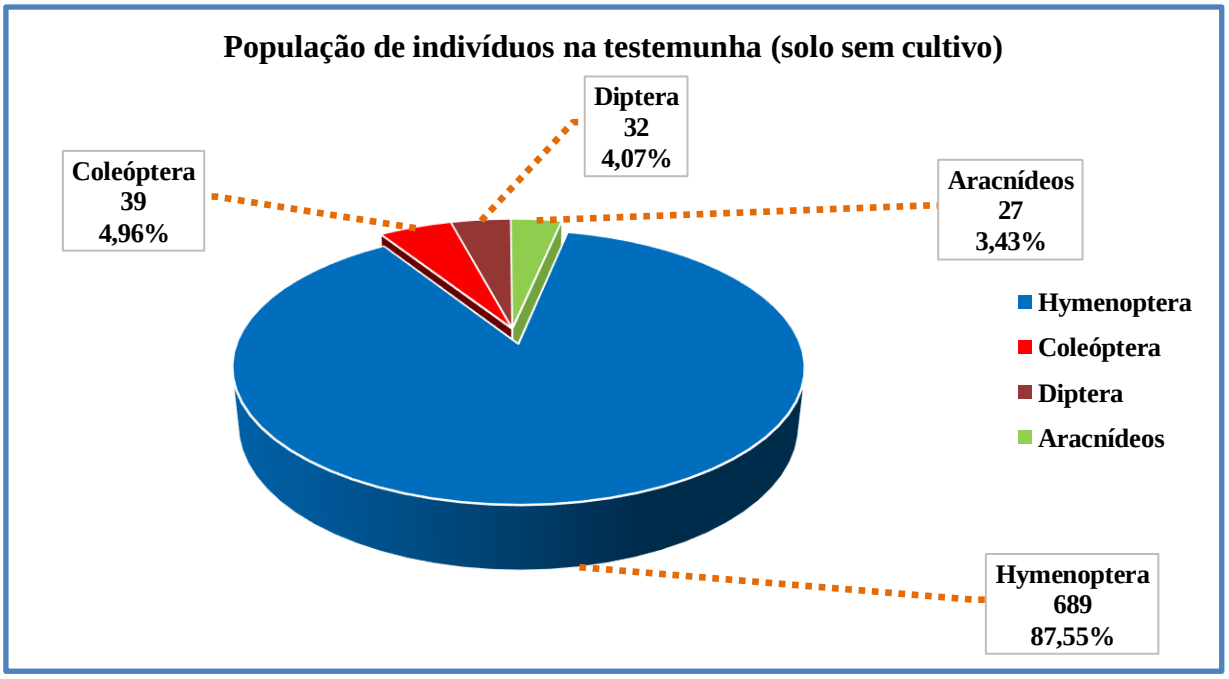



**Figura 31**. População e frequência relativa (%) de indivíduos da macrofauna do solo coletados, na área sem cultivo (testemunha), após dois anos de experimentação, dezembro de 2023. São Gonçalo, Sousa, PB, (Brasil), 2024
Fonte: Autor (2024)

Na área de testemunha, a menor diversidade e frequência da macrofauna edáfica indicam um ecossistema menos saudável e menos produtivo. Esse quadro reflete a ausência de cobertura vegetal, que expõe o solo à erosão, temperaturas extremas e outras condições adversas. A remoção acentuada da vegetação, associada a práticas como a pecuária extensiva e o cultivo em monoculturas, degrada o solo, intensifica a compactação e simplifica os habitats, resultando na redução da diversidade da comunidade edáfica (Assad, 1997).

A ausência de queda de folhas e de outros detritos vegetais reduz a disponibilidade de matéria orgânica para decomposição, limitando a oferta de alimento para a macrofauna. Além disso, a falta de raízes vegetais compromete a estruturação do solo, diminuindo a porosidade e a capacidade de retenção de água, tornando o ambiente menos favorável para os organismos do solo.

Esses fatores reforçam a importância da cobertura vegetal e do plantio de árvores na recuperação e melhoria dos atributos químicos, físicos e biológicos do solo. O uso de espécies arbóreas, como *Caesalpinia ferrea* e a *Mimosa caesalpiniaefolia*, pode desempenhar um papel

essencial na restauração da saúde do solo e na promoção de um ecossistema mais equilibrado e sustentável.

## 5.2 O índice de diversidade de Shannon (H) o índice de uniformidade de Pielou (e) da Macrofauna do Solo

Realizamos e avaliamos a macrofauna edáfica do solo no período de estudo da pesquisa, as amostras foram quantificadas e reunidas no grupo taxonômico Ordem e Classes por meio da comparação da sua morfologia com a literatura (Costa et al., 2006; Triplehorn; Jonnson, 2011). Para todo o estudo, foram determinadas a composição da comunidade da macrofauna (identificação de todas as ordens), sua abundância ou frequência relativa (referente ao tamanho da população, isto é, quanto cada ordem representou na comunidade) e a riqueza de grupos (número total de ordens presentes).

A partir daí, calculou-se o índice de diversidade de Shannon (H) ($H = - \Sigma$ pi .log pi, onde pi = ni/N, ni = densidade de cada grupo e $N = \Sigma$ da densidade de todos os grupos), com resultados variando de zero a cinco. Menores valores indicam menor diversidade e maior dominância de um ou mais grupos na comunidade (Nunes et al., 2008; Pasqualin et al., 2012). Também foi calculado o índice de uniformidade de Pielou (e) (e = H/log S, com H = índice de Shannon e S = número de grupos), que varia de zero a um, com o valor mais elevado indicando maior homogeneidade e, portanto, máxima diversidade, uma vez que todos os grupos são igualmente abundantes (Ricklefs, 2003).

Com base nos dados apresentados, o índice de diversidade de Shannon (H) registrou seus maiores valores nos cultivos das espécies pau-ferro (*Caesalpinia ferrea*) e sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia*), conforme ilustrado na Figura 32. Esses resultados refletem uma maior diversidade e riqueza, além de uma notável dominância de um ou mais grupos dentro da comunidade.

Nesse caso, observou-se a presença de duas classes principais (Arachnida e Insecta) no cultivo de *Caesalpinia ferrea*, com destaque para as ordens Hymenoptera, Díptera e Araneae. A ordem Hymenoptera, composta em grande parte por formigas, foi a mais dominante.

O índice de uniformidade de Pielou (e) também apresentou valores elevados (Figura 32), indicando uma maior homogeneidade entre os grupos de classes e ordens nesta área de cultivo de *Caesalpinia ferrea*. Foram identificadas quatro ordens predominantes: Hymenoptera, Araneae, Díptera evidenciando uma significativa quantidade e riqueza de insetos nas áreas plantadas com as espécies *Caesalpinia ferrea* e a *Mimosa caesalpiniaefolia*.

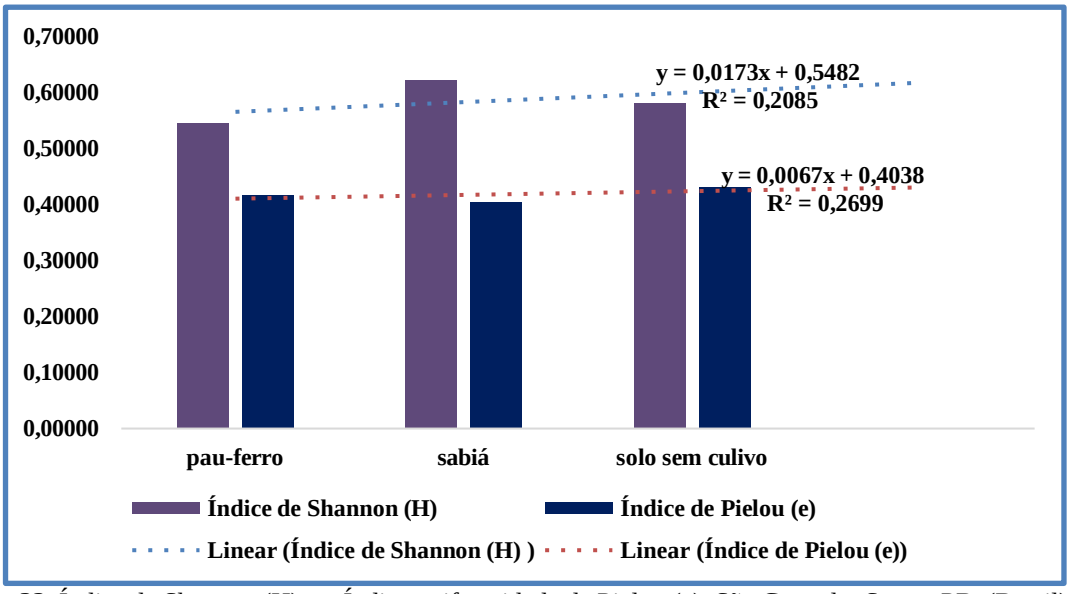



**Figura 32**. Índice de Shannon (H) e o Índice uniformidade de Pielou (e). São Gonçalo, Sousa, PB, (Brasil), 2024
Fonte. Autor (2024)

Os índices ecológicos foram calculados para as áreas de cultivo das espécies pau-ferro (*Caesalpinia ferrea*), sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia*) e a faixa da testemunha (solo sem cultivo). Os resultados mostram que o índice de diversidade de Shannon (H) apresentou maior valor na faixa de cultivo de *Mimosa caesalpiniaefolia*. Esses dados indicam maior diversidade, riqueza e dominância de grupos específicos dentro da comunidade, destacando a ordem Hymenoptera no plantio dessa espécie. No cultivo de *Caesalpinia ferrea*, também prevaleceu a dominância de Hymenoptera, acompanhada pelas ordens Coleóptera e Díptera. Em ambos os cultivos, a ordem Hymenoptera, composta principalmente por formigas (Formicidae), foi a mais representativa.

O índice de uniformidade de Pielou (e), que avalia a homogeneidade na distribuição das classes e ordens em uma comunidade, apresentou maior valor na faixa da testemunha (solo sem cultivo). Isso indica uma uniformidade entre os grupos, mas com baixa riqueza e diversidade, já que poucas espécies dominam o ambiente. O índice de equitabilidade de Pielou, que varia de 0 a 1 (onde 1 representa uma distribuição perfeitamente uniforme), reflete a baixa diversidade na área da testemunha, uma vez que a comunidade é composta principalmente por poucas espécies dominantes.

A classe Insecta foi predominante em todas as áreas analisadas, corroborando estudos realizados em outros biomas brasileiros e na Caatinga paraibana. Pesquisas como as de Correia et al. (2009), Höfer et al. (2001) e Silva et al. (2007) destacaram a importância da ordem Hymenoptera, especialmente das formigas (Formicidae), como indicadores ecológicos cruciais

para a saúde do solo. As amostras analisadas neste estudo confirmam essa tendência, reforçando o papel desse grupo na macrofauna do solo.

Os resultados mostram que o cultivo de espécies vegetais, como a *Mimosa caesalpiniaefolia* e *Caesalpinia ferrea*, contribui significativamente para o aumento da diversidade local e para a melhoria dos atributos químicos, físicos e biológicos do solo. Em particular, o cultivo de *Mimosa caesalpiniaefolia* atraiu uma comunidade diversificada, envolvendo várias classes e ordens, e promoveu melhorias importantes nos parâmetros de fertilidade do solo.

Por outro lado, a área da testemunha (solo sem cultivo) apresentou baixa diversidade e atratividade para a macrofauna, com a ordem Hymenoptera sendo a mais representativa. A ausência de cobertura vegetal, abrigos e matéria orgânica limitou a atração de organismos, tornando difícil a recuperação e a melhoria dos atributos do solo.

A predominância das formigas (Hymenoptera) coincide com os achados de estudos como os de Araújo et al. (2009), Correia et al. (2009) e Pereira Júnior et al. (2010), que também observaram esse grupo em áreas de Caatinga utilizando o método Provid. Segundo Souto et al. (2008), a presença de grupos edáficos menos abundantes na Caatinga é relevante, considerando o papel dessas espécies na ciclagem de nutrientes e no fluxo de energia do ecossistema.

As ocorrências pontuais de grupos menos representados podem estar associadas à especialização alimentar fitófaga ou saprófaga desses organismos (Triplehorn; Johnson, 2011). Isso destaca a importância do cultivo de espécies vegetais para atrair uma maior diversidade e abundância de macrofauna, o que é crucial para a sustentabilidade do ecossistema.

Por fim, a área sem cultivo apresentou pouca atratividade para a macrofauna e não trouxe melhorias significativas para os atributos do solo, enfatizando a relevância das práticas de cultivo e da cobertura vegetal no processo de recuperação e manutenção da qualidade e fertilidade do solo.

## 6. CONCLUSÕES

O cultivo de Caesalpinia ferrea (pau-ferro) mostrou-se eficaz na recuperação de áreas degradadas e afetadas pela salinidade, promovendo melhorias significativas nos atributos do solo, como salinidade, fertilidade, estruturação, agregação das partículas e conteúdo de água. Além disso, contribuiu para o aumento da diversidade e homogeneidade da macrofauna edáfica. Por outro lado, a espécie Mimosa caesalpiniaefolia (sabiá) não apresentou impacto significativo nos atributos do solo analisados. Apesar de fornecer algum abrigo para a macrofauna, sua contribuição para a qualidade do solo é limitada.

Este estudo enfatiza a relevância do uso de espécies nativas da Caatinga, como a *Caesalpinia ferrea*, em programas de recuperação de áreas degradadas no semiárido. Os resultados também apontam para a necessidade de pesquisas futuras que explorem o potencial de outras espécies e aprofundem o conhecimento sobre as interações e dinâmicas das populações da fauna do solo, buscando desenvolver estratégias mais eficazes e adequadas para a recuperação e conservação dos solos em regiões áridas e semiáridas.

## REFERÊNCIAS


ALVES, E. U. et al. **Dormência e desenvolvimento de sementes de sabiá (*Mimosa caesalpiniifolia* Benth.).** Revista Árvore, Viçosa, v. 28, n. 5, p. 655-662, 2004.

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

ANTONIOLLI, Z. I.; CONCEIÇÃO, P. C.; BÖCK, V.; PORT, O.; SILVA, D. M.; SILVA, R. F. **Método alternativo para estudar a fauna do solo**. Revista Ciência Florestal, v.16, n.4, p.407- 417, 2006.

ARAÚJO, K. D.; DANTAS, R. T.; ANDRADE, A. P. de; PARENTE, H. N.; CORREIA, K. G.; PAZERA JR., E. **Levantamento da macrofauna invertebrada do solo em área de caatinga no semiárido da Paraíba.** GeoAmbiente On-Line, Jataí, n. 13, p 19-31, 2009.

BARNEBY, R. C. **Sensitivae censitae: a description of the genus Mimosa Linnaeus (*Mimosaceae*) in the new world**. 1. ed. Bronx, NY: The New York Botanical Garden, 1991. 835 p.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. **Dinâmica e função da matéria orgânica**. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais.** Porto Alegre: GENESIS, 1999. p. 9-23. Disponível em: https://www.scielo.br/j/cerne/a/X4nqrdqbLLsPKyZ3nQhnDHC/?lang=pt&format=html. Acesso em: [04 de abril de 2024].

BRAGA, R. **Plantas do Nordeste, especialmente do Ceará**. 5 ed. Mossoró. Fundação Guimarães Duque. Vol 1204. 540 p. 2001.

BRUCHMAN, G. E. C.; PEZZINI, C.; KÖHLER, A.; PUTZKE, J. **Análise sazonal da entomofauna associada à vegetação no aterro da Souza Cruz, RS,** Brasil. Revista Jovens Pesquisadores, v. 5, n. 1, p. 25-39, 2015.

BURITI, Catarina de Oliveira; BARBOSA, H. A. **Um século de secas**. Lisboa, Portugal, 2018. 454 p.

CASTILLO, E. G.; TUONG, T. P.; ISMAIL, A. M.; INUBUSHI, K**. Response to salinity in rice: Comparative effects of osmotic and ionic stresses**. Plant Production Science, v. 10, p. 159-160, 2007.

CARVALHO, F.G.; STAMFORD, N.P. **Fixação do N2 em leucena (Leucaena leucocephala) em solo da região semi-árida brasileira submetido à salinização**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.23, p.237-243, 1999.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica. Embrapa Florestas, 2008, 17 p.

CAVALCANTE, L. F.; LIMA, R.L.S.; SANTIAGO, R.D.; CAVALCANTE, I.H.L.; ARAÚJO, F.A.R. **Melhoria química e física de um solo salino sódico tratado com matéria orgânica e cultivado com leguminosas forrageiras.** Ciência Agrícola, v. 6, n. 1, p 27-35. 2002.

CORREIA, K. G.; ARAÚJO, K. D.; AZEVEDO, L. G. de; BARBOSA, E. A.; SOUTO, J. S.; SANTOS, T. S. **Macrofauna edáfica em três diferentes ambientes na região do Agreste paraibano, Brasil.** Engenharia Ambiental, Espírito Santo do Pinhal, v. 6, n. 1, p. 206-213, 2009.

CREPALDI, I. C.; SANTANA, J. R. F. de & LIMA, P. B. **Quebra de dormência de sementes de pau-ferro (*Caesalpinia férrea* Mart. ex Tul. Leguminosae, Ceesalpinioideae).** Sitientibus, Feira de Santana, n.18, p.19-29. 1998.

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:** INCTSal, 2010, p. 129-140.

DIAS, N. S.; LIRA, R. B.; BRITO, R. F.; SOUSA NETO, O. N.; FERREIRA NETO, M.; OLIVEIRA, A. M. 2010. **Produção de melão rendilhado em sistema hidropônico com rejeito da dessalinização de água em solução nutritiva**. R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, v.14, n.7, p.755–761.

DUCKE, A. **Estudos Botânicos no Ceará**. ESAM, Coleção Mossoroense. v XC. 1979. 130 p.

DUTRA, I.; MEDEIROS, J.F. de; PORTO FILHO, F. de Q.; COSTA, M. da. C. **Determinação do fator de cobertura do melão cultivado sob diferentes lâminas e salinidades da água de irrigação**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.4, p.146-151, 2000.

GHEYI, H.R.; AZEVEDO, N.C. de; BATISTA, M.A.F.; SANTOS, J.G.R. dos. **Comparação de métodos na recuperação de solo salino-sódico.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.19, p.173-178, 1995.

GHEYI, H.R.; AZEVEDO, N.C. de; BATISTA, M.A.F.; SANTOS, GILL, J. S.; SALE, P. W. G; TANG, C. **Amelioration of dense sodic subsoil using organic amendments increases wheat yield more than using gypsum in a high rainfall zone of southern Australia.** Field Crops Research, v.107. p.265-275, 2008.

HÖFER, H.; HANAGARTH, W.; GARCIA, M.; MARTIUS, C.; FRANKLIN, E.; RÖMBKE, J.; BECK, L. **Structure e function of soil fauna communities in Amazonian antropogenic and natural ecosystems.** European Journal of Soil Biology, v. 37, p. 229-235, 2001.

HOLANDA, A. C.; SANTOS, R. V.; SOUTO, J. S.; ALVES, A. R. 2007. **Desenvolvimento inicial de espécies arbóreas em ambientes degradados por sais**. Revista de Biologia e

Ciências da Terra, v.7, n.1, p.39-50

HOLANDA, F. S. R.; MARCIANO, C. R.; PEDROTTI, A.; AGUIAR, J. F. de; SANTOS, V. P. 2001. **Recuperação de áreas com problemas de salinização**. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 22, n. 210, p. 57-61.

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente. 1998. **Sementes Florestais: Colheita, Beneficiamento e Armazenamento. Programa Florestal,** Projeto Ibama/ PNUD/BRA, 27 p. In: TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (Ed.). **Manual de métodos de análise de solo. 3. ed. rev. e ampl**. Brasília, DF: Embrapa, 2017. pt. 5, cap. 1, p. 527-564.

IPCC. The **Working Group II contribution was released on 28 February 2022**. **Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, 2022.

MIRANDA, M. A.; OLIVEIRA, E. E. M. de, SANTOS, K. C. F. dos; FREIRE, M. B. G. S.; ALMEIDA, B. G. de. **Condicionadores químicos e orgânicos na recuperação de solo salino-sódico em casa de vegetação**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 15, n. 5, p.484–490, 2011

PAREDES-TREJO, F.; BARBOSA, H. A.; GIOVANNETTONE, J.; LAKSHMI KUMAR, T. V.; KUMAR-THAKUR, M.; BURITI, Catarina de Oliveira**. Long-Term Spatiotemporal Variation of Droughts in the Amazon River Basin**. In: Water, v. 13, p. 351-366, 2021b.

PEREIRA JÚNIOR, L. R.; FERRAZ, D. de S.; ALVES, G. S.; SOUSA, J. da S.; SOUTO, J. S. **Influência do cultivo agrícola convencional nas características químicas e macrofauna edáfica**. Engenharia Ambiental, Espírito Santo do Pinhal, v. 7, n. 3, p. 166-177, 2010.

RIBEIRO, M. R. **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados.** Fortaleza: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2010. Cap. 2, **Origem e classificação dos solos afetados por sais.** ISBN 978-85-7563-489-9.

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

RIBEIRO, M. R.; FREIRE, F. J.; MONTENEGRO, A. A. A. 2003. **Solos halomórficos no Brasil: Ocorrência, gênese, classificação, uso e manejo sustentável**. In: CURI, N.; SANTOS, M. A. **Adaptabilidade e Potencial Fitorremediador de Espécies Vegetais em Solo Salino**. 2016. 128 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2016

SANTOS, Humberto Gonçalves dos; et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed., rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.

SANTOS, M. L. O.; SIQUEIRA, W. N.; SÁ, J. L. F.; SILVA, L. R. S.; VASCONCELOS CABRAL, D. L; AMÂNCIO, F. F.; ALBUQUERQUE MELO, A.M. M.; **Estudo do efeito**

**radioprotetor do extrato metanólico de Caesalpinia pyramidalis sobre células embrionárias de Biomphalaria glabatra**. Scientia Plena, v. 9, n. 9, 2013.

SILVA, R. F.; TOMAZI, M.; PEZARICO, C. R.; AQUINO, A. M. de; MERCANTE, F. M. **Macrofauna invertebrada edáfica em cultivo de mandioca sob sistemas de cobertura do solo**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 42, n. 6, p. 865-871, 2007

SOUSA. C. H. C. 2007. **Análise da tolerância a salinidade em plantas de sorgo, feijão de corda e algodão**. Fortaleza. 73f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology**. 3. ed. Sunderland: Sinauer Associates, 2002. 798 p.

TEIXEIRA, P.C., **Manual de métodos de análise de solo. 3ª. ed. Revisada e ampliada**. Brasília, DF: Embrapa, 2017.

TIGRE, C.B. **Estudos de silvicultura especializada do Nordeste. II Congresso Brasileiro de Florestas Tropicais.** ESAM, Coleção Mossoroense. v XLI. 1976.

TRIPLEHORN, C. A.; JONNSON, N. F. **Estudo dos Insetos**. Tradução, 7. ed. de **Borror and Delong´s Introduction to the Study of Insects**. São Paulo: Cengage Learning, 2011. 809 p.

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

VIANA, S.B.A.; FERNANDES, P.D.; GHEYI, H.R. **Germinação e formação de mudas de alface em diferentes níveis de salinidade de água.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.5, p.259-264, 2001.

WHITE, R. E. **Principles and Practice of Soil Science: The Soil as a Natural Resource**. 4. ed. Malden: Blackwell Publishing, 2006.