UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO

JACIANE ROSA MARIA DE SOUZA

STATUS HÍDRICO DO FEIJÃO-CAUPI (*Vigna unguiculata* L.) IRRIGADO COM ÁGUA SALINA EM SOLOS COM MINERALOGIAS CONTRASTANTES

RECIFE

2023

Jaciane Rosa Maria de Souza

Engenheira Agrônoma

Status hídrico do feijão-caupi (V*igna unguiculata* L.) **irrigado com água salina em solos com mineralogias contrastantes**

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

Orientador: Prof. Dr. Edivan Rodrigues de Souza
Coorientadora: Dra. Cintia Maria Teixeira Lins
Coorientador: Prof. Dr. Valdomiro Severino de Souza Júnior

Recife
2023

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

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S729 Souza, Jaciane Rosa Maria de
STATUS HÍDRICO DO FEIJÃO-CAUPI (Vigna unguiculata L.) IRRIGADO COM ÁGUA SALINA EM SOLOS COM MINERALOGIAS CONTRASTANTES / Jaciane Rosa Maria de Souza. - 2023.
54 f. : il.

Orientador: Edivan Rodrigues de Souza.
Coorientador: Valdomiro Severino de Souza Junior.
Inclui referências.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Recife, 2023.

1. Estresse iônico. 2. Enzimas anti-oxidantes. 3. Efluxo de CO2. I. Souza, Edivan Rodrigues de, orient. II. Junior, Valdomiro Severino de Souza, coorient. III. Título

CDD 631.4

JACIANE ROSA MARIA DE SOUZA

Status hídrico do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L.) **irrigado com água salina em solos com mineralogias contrastantes**

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

Aprovada em 25 de julho de 2023

_____

Prof. Dr. Edivan Rodrigues de Souza
Orientador
Universidade Federal Rural de Pernambuco

BANCA EXAMINADORA

_____

Profa. Dra Cláudia Ulisses de Carvalho Silva
Universidade Federal Rural de Pernambuco

_____

Dr. Lucas Yago de Carvalho Leal
Universidade Federal Rural de Pernambuco

_____

Prof. Dr. Nildo da Silva Dias
Universidade Federal Rural do Semiárido

_____

Prof. Dr. Ygor Jacques Agra Bezerra da Silva
Universidade Federal Rural de Pernambuco

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para execução desse trabalho;
Ofereço.

A Deus;
Aos meus pais:
Marcos Manoel de Souza, e Ladjane Rosa Silva de Souza;
Dedico.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, minha fonte inesgotável de amor e esperança, não só em dias difíceis, mas em dias felizes também, onde posso vivenciar muitos milagres, não tenho palavras para agradecer tamanha bondade e fidelidade. Porque dEle, e por Ele, e para Ele, são todas as coisas;

Aos meus pais, Marcos e Ladjane, meus amores, minha inspiração para seguir em frente, obrigada por acreditarem no meu potencial e em todos os meus sonhos, por nunca me limitar aos sonhos de vocês e permitirem que eu possa seguir os meus. Eu jamais conseguirei agradecer por tudo que vocês fizeram e fazem por mim, foi por vocês que cheguei até aqui, e são por vocês que seguirei em frente.

Ao programa de pós-graduação em Ciência do Solo UFRPE, pela oportunidade concedida e por todo suporte nesses 4 anos.

A todos os órgãos de fomento: FACEPE, CAPES e em especial o CNPq o qual concedeu minha bolsa de estudo.

Agradeço ao meu orientador, Professor Dr. Edivan Rodrigues de Souza, por toda orientação e paciência, pela competência cientifica, por contribuir com minha formação profissional, e pessoal, sempre foi muito didático, conduzindo da melhor forma meu período de doutorado, toda minha admiração e respeito.

Ao professor Dr. Valdomiro Severino de Souza Jr, meu coorientador, por toda ajuda, pelas idas ao campo na coleta dos solos e por ceder as estruturas dos laboratórios de mineralogia, pelo apoio com reagentes e materiais de uso geral, pelas palavras amigas, pelas sugestões e orientação durante todo o processo, toda minha admiração e respeito.

A minha coorientadora Drª Cíntia Lins, por contribuir diretamente para concepção da ideia desse trabalho, e sempre responder meus questionamentos, obrigada por tudo!

Ao Dr. Antônio Félix da Costa, do Instituto Agronômico de Pernambuco (IPA), por ceder as sementes do Feijão-caupi Cv. Sempre Verde salgueiro, pela atenção e gentileza.

Ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, muito obrigada por todos os conhecimentos compartilhados.

A secretária Maria do Socorro, o coração pulsante do solos UFRPE! Obrigada, por tudo, te amamos muito, Socorrinho!

Agradeço aos meus colegas de grupo de pesquisa Solo-Água-Planta (SAP), Alfredo Nunes, pelas vezes que foi coletar solo comigo, a Francisco Ernesto por toda ajuda nos ensaios iniciais, a Lucas Leal, pela amizade, pela parceria nas análises, por estar sempre presente, eu aprendi muito com você, meu amigo! A Rafael Medeiros, na irrigação das plantas. A Martha Paulino, pela disponibilidade em me ajudar de alguma forma. Agradeço também, a PNPD Drª Monaliza Alves, por todas as vezes que se disponibilizou e me ajudou com alguma análise, pelo profissionalismo na condução das demandas do grupo. A todos (as) estagiários (as) de iniciação científica que passaram e contribuíram para que esse trabalho fosse realizado, seja

no destorroamento dos solos, seja em alguma análise, especialmente: Kauê, Victor e Welligton, vocês foram incríveis, obrigada pelo suporte.

Aos colegas de turma 2019.1, obrigada por todos nossos momentos de estudos, e por todos os momentos de descompressão também.

Aos amigos, Ivison Galdino e Alexandre Taumaturgo, obrigada por me acompanhar e estar presente em momentos importantes da minha vida, gratidão a Deus por ter colocado vocês no meu caminho.

A Marilya Sousa, amiga, você sabe o quanto é especial para mim, quantas memórias, aventuras, alegrias, sobretudo parceria, incentivo e fé, sim a fé, porque ela nos move. Você é incrível! Obrigada por tanto. Sempre!

A Luiz Henrique, pelos momentos de estudo, por todos os momentos que precisei e ele foi presente, sobretudo sua leveza, minha admiração e respeito ao cientista que você é.

A Cíntia Gouveia, foi bom demais te conhecer e dividir contigo alguns momentos, quero que saibas que tua força me inspira. És uma potência, no sentido literal de força!

A Tiago Cavalcanti, obrigada amigo, por todas as vezes que pude esquecer a pressão do dia a dia contigo, por tudo que construímos nesses 4 anos, meu muito obrigada!

A Ana Beatriz Torres, pela amizade e ombro amigo, pelos bons momentos de risadas, e a boa companhia.

As amigas do Ceará, Gabriele Libório, Cecília Serafim, Ravena Vidal, Camila Castro e Monique Gomes, vocês são maravilhosas demais!

A Shirleane Rodrigues, minha querida amiga dos tempos da graduação, por toda parceria nos estudos, pelas palavras de fé e incentivo.

A todos que fazem parte do laboratório de mineralogia do solo, pelos bons momentos de conversas, e especial Artur pela ajuda nas análises.

Aos técnicos dos laboratórios de Química e Física dos solos, Pedro Henrique e Eudes Oliveira, por toda atenção e disponibilidade em tirar todas as dúvidas e auxílio em análises específicas, muito obrigada.

Aos amigos que construí nesse período e que levarei para a vida: Belchior Trigueiro, Nara Núbia, Amanda Lima, Danillo Dutra, Katerin Encina, Cinthia Atanázio, e Midouin Lidelias, vocês são especiais demais, levarei um pouquinho de cada um no meu coração.

Os ciclos se encerram, mas o afeto permanece.
Muito Obrigada!

“O correr da vida embrulha tudo, a vida é assim: esquenta e esfria, aperta daí afrouxa, sossega e depois desinquieta. O que ela quer da gente é coragem”.

Grande Sertão: Veredas - João Guimarães Rosa

Status hídrico do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L.) **irrigado com água salina em solos com mineralogias contrastantes**

RESUMO

A salinidade do solo é um estresse abiótico que requer investigações constantes por afetar a produção vegetal, especialmente em zonas climáticas árida e semiárida. A interação dos íons com a superfície dos sólidos ocorre de forma dinâmica e é dependente da assembleia mineralógica dos solos e da natureza das cargas elétricas. Assim, torna-se importante investigar a interação estresse salino e natureza mineralógica dos solos, especialmente aqueles cultivados com com espécies comercialmente relevantes em regiões com maior probremas de salinidade. Nesse contexto, o Feijão-caupi (*Vigna unguiculata*), destaca-se devido a sua tolerância moderada à salinidade, revelando-se como cultura promissora para o cultivo em solos salinos. Dessa forma, avaliou-se o efeito da mineralogia do solo e níveis crescentes de salinidade na ecofisiologia do feijoeiro e na evolução temporal da salinidade em duas ordens de solos com mineralogias diferentes. Para isso, foram testados seis níveis de condutividade elétrica (0; 1,5; 3; 4;5; 6,5 e 9 dS m^{-1}) em dois solos das ordens Argissolo (A) e Luvissolo (L) com teores de argilas semelhantes e qualidade mineralogia contrastante. Foram realizados dois ensaios experimentais. Os dois experimentos com solos de mineralogia contrastantes foram realizados na mesma época em blocos ao acaso com quatro repetições. Avaliou-se o desempenho fisiológico e bioquímico da cultura durante o estádio fenológico final a partir da determinação do potencial total e osmótico foliar, ajustamento osmótico, extravasamento de eletrólitos, da determinação de enzimas antioxidantes superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e ascorbato peroxidase (APX). Além disso, a análise dos teores de nutrientes; avaliação biométrica da planta; biomassa e produtividade. No final do experimento, foi determinado a evolução temporal da CE do solo e determinado o efluxo de CO_2 do solo. As análises dos resultados indicam que as plantas de feijão cultivadas em solo com mineralogia 1:1 sofreram mais precocemente os efeitos dos sais em relação ao solo com mineralogia 2:1 que o efeito foi mais pronunciado. As enzimas CAT, SOD e APX foram mais expressivas com o aumento da concentração salina. Houve um aumento da evolução temporal na salinidade do solo nas diferentes mineralogias. A produtividade e a biomassa das plantas de Feijão-caupi foram diretamente afetadas em solos com mineraologia distintas e os parâmetros fisiológicos do feijoeiro foram influenciados pela irrigação com águas salinas em ambos os solos estudados.

Palavras-chave: Estresse iônico. Enzimas anti-oxidantes. Efluxo de CO_2.

Water status of cowpea (*Vigna unguiculata* L.) **irrigated with saline water in soils with contrasting mineralogy**

ABSTRACT

Soil salinity is an abiotic stress that requires constant investigations to affect plant production, especially in arid and semi-arid climatic zones. The interaction of ions with the surface of solids occurs dynamically and is dependent on the mineralogical assembly of the soil and the nature of the electrical charges. Therefore, it is important to investigate the interaction of saline stress and the mineralogical nature of soils, especially those cultivated with commercially relevant species in regions with greater salinity problems. In this context, Cowpea (*Vigna unguiculata* L.) stands out due to its moderate tolerance to salinity, proving to be a promising crop for cultivation in saline soils. In this way, the effect of soil mineralogy and increasing levels of salinity on bean ecophysiology and on the temporal evolution of salinity in two orders of soils with different mineralogy was evaluated. For this, six levels of electrical conductivity (0; 1.5; 3; 4.5; 6.5 and 9 dS m-1) were tested in two soils from the orders Argisol (A) and Luvisolo (L) with levels of Similar clays and contrasting mineralogy quality. Two experimental tests were carried out. The two experiments with soils of contrasting mineralogy were carried out at the same time in randomized blocks with four replications. the physiological and biochemical performance of the crop during the final phenological stage is determined by determining the total and leaf osmotic potential, osmotic adjustment, and electrolyte extravasation, the regulation of antioxidant enzymes superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT) and ascorbate peroxidase (APX). In addition, an analysis of nutrient content; biometric evaluation of the plant; biomass and productivity. At the end of the experiment, the temporal evolution of soil EC was determined and the CO2 efflux from the soil was determined. Analyzes of the results indicate that bean plants grown in soil with 1:1 mineralogy suffered earlier from the effects of salts in relation to soil with 2:1 mineralogy and the effect was more pronounced. The enzymes CAT, SOD and APX were more expressive with increasing salt concentration. There was an increase in the temporal evolution of soil salinity in different mineralogies. The productivity and biomass of cowpea plants were directly affected in soils with different mineralogy and the physiological functions of the cowpea plant were influenced by supervision with saline water in both trained soils.

Keywords: Ionic stress. Antioxidant enzymes. CO^2 efflux.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Curva típica de tolerância das culturas à salinidade.....21

Figura 2 - Localização dos perfis dos solos coletados; Argissolo amarelo - Itapirema-PE e Luvissolo crômico - Floresta-PE.....26

Figura 3 - Umidade e temperatura do ar ao longo do experimento.....26

Figura 4 - Produtividade média e desvios padrões de *Vigna unguiculata* cultivada sob diferentes níveis salinos e solos distintos 35

Figura 5 - Potencial hídrico foliar do feijoeiro nos dois solos com mineralogia distintas em função dos diferentes níveis de água salina.....36

Figura 6 - Potencial osmótico final do feijão-caupi, nos dois solos com mineralogia distintas em função dos diferentes níveis de água salina.....37

Figura 7 - Ajustamento osmótico do feijão-caupi em Argissolo amarelo e Luvissolo crômico aos 80 dias após o plantio.....38

Figura 8 - Teor relativo de Água (TRA) do feijoeiro sob diferentes níveis salinos em solos com mineralogia distintas.....39

Figura 9 - Extravasamento de eletrólitos em folhas de Feijão-caupi após 80 dias submetidas a diferentes níveis salinos em solos com mineralogia distintas.....40

Figura 10 - Atividade da enzima superóxido dismutase (SOD) aos 80 dias após a semeadura em plantas de Feijão-caupi submetidas a diferentes níveis salinos em soloscom mineralogia distintas.....41

Figura 11 - Atividade da enzima Catalase (CAT) aos 80 dias após a semeadura em plantas de Feijão-caupi submetidas a diferentes níveis salinos em solos com mineralogia distintas.....42

Figura 12 - Atividade da enzima Ascorbato Peroxidase (APX) aos 80 dias após a semeadura em plantas de Feijão-caupi submetidas a diferentes níveis salinos em solos com mineralogia distintas.....43

Figura 13 - DRX da fração argila total analisados na forma de pó não orientado do Argissolo amarelo no horizonte b.....44

Figura 14 - DRX da fração argila total analisados na forma de pó não orientado do Luvissolo crômico no horizonte b 44

Figura 15 - DRX da fração argila fina analisados na forma de pó não orientado do Luvissolo crômico no horizonte b.....45

Figura 16 - DRX da fração argila fina analisados na forma de pó não orientado do Argissolo amarelo no horizonte b.....45

Figura 17 - Efluxo de CO_2 do solo em um Luvissolo Crômico e Argissolo Amarelo.....46

Figura 18 - Valores de condutividade elétrica do extrato de saturação de Luvissolo e Argissolo ao final do experimento.....47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Atributos químicos e físicos dos solos coletados.....27

Tabela 2- Concentrações médias e desvios padrões dos parâmetros biométricos de *Vigna unguiculata* cultivada em solos distintos..... 33

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO **16**
1.1 Hipóteses **17**
1.2 Objetivos **17**
1.2.1 Objetivo Geral **17**
1.2.2 Objetivos Específicos **18**
2 REVISÃO DE LITERATURA **18**
2.1 Fontes e causas da salinidade do solo **18**
2.2 Fases do estresse salino **19**
2.3 Tolerância das culturas à salinidade **20**
2.4 Tolerância de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L.) a salinidade **21**
2.5 A cultura do feijão-caupi (V*igna unguiculata* L) **22**
2.5.1 Origem **22**
2.5.2 Produção e importância socioeconômica **23**
2.6 Efeito da natureza mineralógica do solo com a dinâmica de sais e estresse salino em plantas **23**
3 MATERIAL E MÉTODOS **24**
3.1 Descrição da área **24**
3.2 Coleta e caracterização de solos utilizados na pesquisa **24**
3.3 Análises mineralógicas **27**
3.4 Preparo das águas salinas. **27**
3.5 Manejo de adubação **27**
3.6 Manejo da irrigação **27**
3.7 Análises de planta **28**
3.7.1 Avaliação biométrica da planta e produtividade **28**
3.7.2 Potencial hídrico das plantas (ψ_w) e potencial osmótico (ψ_o,) **28**
3.7.3 *Ajustamento osmótico (Ao)* **28**
3.7.4 Extravasamento de eletrólitos **29**
3.7.5 Teor relativo de água **29**
3.7.6 Determinação de enzimas antioxidantes superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e ascorbato peroxidase (APX) **30**
3.7.7 Superóxido dismutase (SOD) **30**
3.7.8 Ascorbato peroxidade (APX) **30**
3.7.9 Catalase (CAT) **30**
3.8 Análises de solo **31**
3.9 Análise de dados **31**
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO **31**

4.1 Produção e componentes de produção **31**
4.1.1 Efeito do estresse salino na avaliação biométrica em plantas cultivadas em Argissolo e Luvissolo **32**
4.2 Parâmetros fisiológicos **34**
4.2.1 Potencial hídrico **34**
4.2.2 Potencial osmótico **36**
4.2.3 Ajustamento osmótico **36**
4.2.4 Teor relativo de água (TRA) **37**
4.2.5 Extravasamento de eletrólitos **38**
***4.2.6 Superóxido dismutases* (SODs)** **39**
***4.2.7 Catalase* (CAT)** **40**
***4.2.8 Ascorbato peróxidase* (APX)** **41**
4.3 Parâmetros do solo **42**
4.3.1 Difração de raio x (DRX) **42**
4.3.2 Condutividade do solo **45**
***4.3.3 Efluxo de* CO_2** **45**
4.3.4 Potencial hidrogeniônico e condutividade elétrica do solo de plantas cultivadas em Argissolo amarelo e Luvissolo crômico **45**
5 CONCLUSÕES **47**
6 REFERÊNCIAS **48**

1 INTRODUÇÃO

A salinização dos solos é um dos estresses ambientais mais pesquisados em em zona climática árida e semiárida, especialmente em áreas irrigada com água salina. Estima-se que, esse aumento acarrete degradação de solos cultivados na ordem de 8,7 milhões de hectares ano^{-1}, contribuindo para a redução de áreas agricultáveis e consequentemente, ameaça à insegurança alimentar (FAO, 2021).

No Brasil, a região Nordeste tem maior incidência de solos afetados por sais, especialmente devido as condições que favorecem ou aceleram o processo de salinização dos solos, destacam-se as chuvas irregulares e as elevadas taxas de evapotranspiração que contribuem para o acúmulo de sais, sobretudo nas partes mais superficiais dos perfis. Além disso, a precipitação irregular em associação ao baixo grau de intemperismo, drenagem deficiente, e uso de água salina na irrigação, contribuem para a salinização e, posteriormente, salinização (RIBEIRO et al., 2016; CASTRO, 2020);

A concentração de sais solúveis no solo afeta diretamente o crescimento das plantas e, em um primeiro momento, os danos ocorrem devido ao aumento da pressão osmótica na solução do solo que, reduz a absorção de água pelas plantas. De maneira geral, o estresse salino é subdividido em duas fases: I) uma resposta rápida que, ocorre cerca de 1 após à exposição da planta ao estresse salino, em que há efeito da pressão osmótica sobre a disponibilidade hídrica o; e II) uma resposta mais lenta, ocorre após uma semana de exposição das plantas ao estresse, resultando na toxicidade de de íons potencialmente tóxicos como Na^+ e Cl^- na parte aérea (MUNNS; TESTER, 2008; TAIZ; ZEIGER, 2017; SOUZA et al., 2020; MELO et al., 2020).

A velocidade da resposta das espécies ao estresse salino depende da concentração de sais na solução do solo, da natureza dos íons, do grau de tolerância e do estádio fenológico da planta. No entanto, estes efeitos do estresse salino sobre à planta, também pode variar com a textura e mineralogia dos solos, sendo que, muitos estudos, têm negligenciado este fator quando se avaliam a resposta das plantas à salinidade.

De fato, as plantas respondem diferentemente os efeitos da salinidade em solos de natureza mineralógicas. (RODRIGUES, 2018) observou que os solos ricos em partículas com elevada superfície específica, com composição minerais 2:1 majoritariamente, podem agregar ao potencial total da água no solo a componente mátrica, levando a planta a exibir respostas

ao estresse salino mais rápidas sob uma mesma condição de salinidade do que plantas cultivadas em solos cuja mineralogia predominante é de sólidos 1:1.

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L.) é considerado um espécies tolerante à salinidade em experimentos realizados em solos de textura média, mas é importante considerar à resposta da espécies em condições locais, especialmente em solos de texturas contratantes, especialmente devido a sua importância econômica para semiáridas do Nordeste por ser cultivada com o uso de água salina em diferentes tipos de solos, pois além de ser uma fonte de proteína para as famílias, sua biomassa pode ser utilizada como alimento para os animais, fixando assim a permanência dessas famílias no campo, sendo um meio de sobrevivência nesses ambientes, uma alternativa de geração de renda e emprego (EMBRAPA, 2022).

De modo geral, observa-se uma escassez de pesquisas que avaliem os mecanismos fisiológicos de plantas de feijão-caupi em solos com mineraologia distintas. O conhecimento bioquímico das funções fisiológicas do feijão-caupi permite inferir sobre algumas questões de como manejar a água de irrigação, fazer uso de algumas tecnologias tendo como interesse final o aumento dessa tolerância do feijoeiro à salinidade.

1.1 Hipóteses

1. Plantas cultivadas em solos de mineralogia 1:1 sofrem precocemente os efeitos do potencial osmótico em comparação às cultivadas no solo de mineralogia 2:1 e esse efeito é mais pronunciado nas plantas irrigadas com as soluções de maiores condutividades elétricas.

2. Em solos com predominância de carga variável a diminuição do potencial osmótico não é linear.

3. A ativação de defesa antioxidativa e de sinalização celular são mais expressivas quando as plantas entram na fase iônica do estresse salino.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Caracterizar e identificar o efeito da mineralogia do solo na ecofisiologia do feijão-caupi irrigado com água de diferentes condutividades elétricas.

1.2.2 Objetivos Específicos

a) Avaliar a influência da irrigação com água salina em dois solos com níveis de intemperismo distintos sobre o potencial hídrico e osmótico foliar, o ajustamento osmótico, no extravasamento de eletrólitos, no teor relativo de água.

b) Avaliar a biometria, a produção de biomassa, o rendimento de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L.), cultivadas em solos com mineralogias diferentes sob condição de salinidade.
c) Avaliar a influência do estresse salino nas enzimas do complexo oxidativo;

d) Avaliar o impacto da salinidade para o efluxo de CO_2 do solo.

e) Avaliar o processo de evolução temporal da salinidade do solo em diferentes mineralogias.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Fontes e causas da salinidade do solo

A salinidade do solo é um estresse abiótico que ocorre em várias regiões do globo e atinge desde áreas litorâneas até o interior dos continentes. As maiores ocorrências de solos afetados por sais são encontradas, principalmente, em zonas áridas e semiáridas e abrangem mais de 100 países. No Brasil solos com problemas de salinidade se concentram na região Nordeste, sendo 25% dessas áreas salinizadas são irrigadas (MUNNS; TESTER, 2008; RIBEIRO et al., 2016;).

Quanto a origem, a salinização pode ser classificada em primária e secundária. OBS: Se é uma revisão, precisa deixar claro quando é primária e secundária. No semiárido nordestino, por exemplo, os maiores problemas associados à salinidade ocorrem em solos que se desenvolveram sobre o embasamento cristalino. Outro fator que favorece a ocorrência da salinização primária pode ser ocasionado especialmente devido a elevada evapotranspiração. À medida que o lençol ascende no perfil, sais vão sendo depositados e se concentram prioritariamente próximos à superfície e em alguns casos chegam a formar crostas salinas. Áreas localizadas topograficamente em regiões de baixadas podem ser naturalmente salinizadas devido ao aporte de sais pelas áreas adjacentes. Nas regiões litorâneas é comum a salinização do solo por intrusão marinha.

Por outro lado, a salinização secundária ou antrópica está mais associada ao uso de práticas de manejo inadequadas, como a falta de drenagem, irrigação em excesso ou com água

de má qualidade, ao uso excessivo de adubos e corretivos químicos, e a ausência de drenagem.

Nas regiões semiáridas do Brasil, devido à irregularidade das chuvas e escassez de água, o uso de água SALINA de poços ou irrigação por nascentes é necessário para aumentar o rendimento agrícola nos sistemas de cultivo (SILVA JÚNIOR et al., 2017; JÁCOME et al., 2021). Em zona semiáridas, a condutividade elétrica das águas superficiais e subterrâneas variam entre 0,6 a 4,5 dS m^{-1} (MEDEIROS et al., 2003; SÁ et al., 2019).

A salinidade é considerada o estresse abiótico mais preocupante (POMPEIANO et al., 2016), e alguns autores relatam que há uma diminuição na germinação, crescimento, desenvolvimento e produção de algumas importantes culturas de valor agrícola na região nordeste do Brasil (SOUSA et al., 2016).

2.2 Fases do estresse salino

O estresse salino nas plantas se desenvolve em duas fases distintas: I) uma resposta muito rápida ao aumento da pressão osmótica externa; e II) uma resposta mais demorada em função do acúmulo de Na^+ nas células vegetais.

A fase I, ocorre após o aumento da concentração de sais na zona radicular e, logo há queda significativa da taxa de crescimento da planta, pois o aumento do gradiente osmótico restringe a absorção de água pelas culturas e limita o fluxo transpiratório. Nessa etapa funções fisiológicas como trocas gasosas ficam comprometidas e pode haver declínio significativo da fotossíntese.

A fase II, por sua vez, pode ocorrer após semanas de exposição ao estresse, no entanto o tempo de desenvolvimento dessa fase irá depender de aspectos da cultura, tais como, grau de tolerância, estádio vegetativo, e idade. Essa fase se inicia quando há o aumento da concentração de íons tóxicos, como o sódio e o cloreto nos tecidos vegetais. A concentração desses íons em excesso pode levar à degradação de membranas importantes, tais como as membranas dos tilacóides e comprometer severamente a captação de luz pelo complexo antena. Durante essa fase também pode haver maior acúmulo de espécies reativas do oxigênio. (MUNNS; TESTER, 2008).

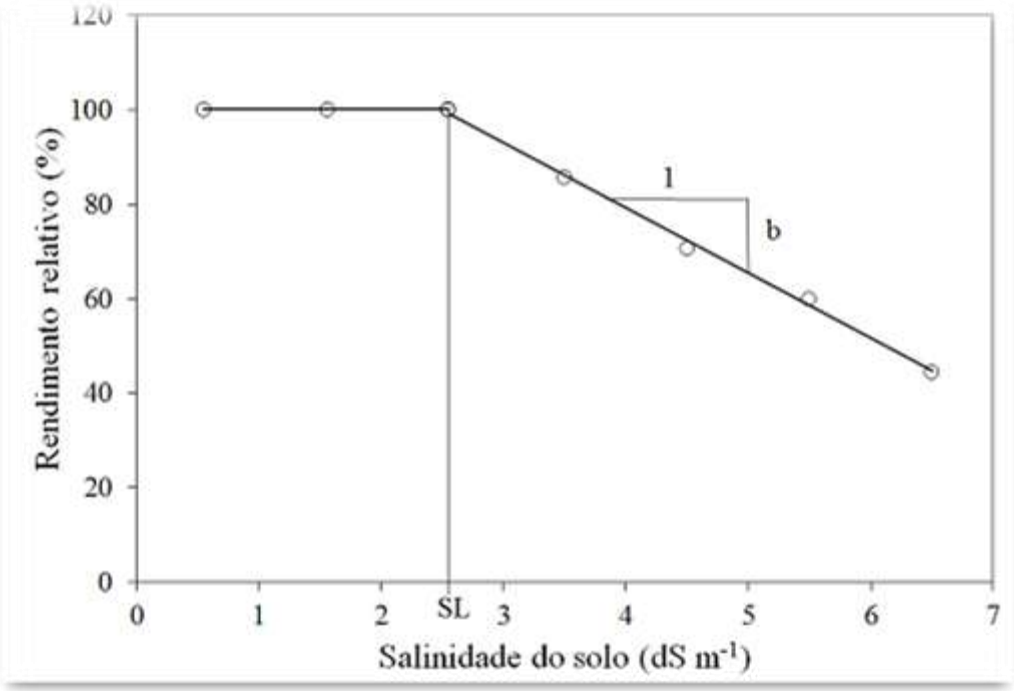
Além da perda de rendimento devido ao estresse osmótico, o estado funcional das membranas tilacoides em cloroplastos vegetais também é alterado, resultando em mudanças nas características do sinal da fluorescência (WANG et al., 2018). Além disso, em condições

adversas, as plantas desencadeiam uma série de modificações e adaptações que afetam os processos fisiológicos e bioquímicos (TAIZ et al., 2017; LO'AY; EL-EZZ, 2021).

2.3 Tolerância das culturas à salinidade

A tolerância de uma planta pode ser descrita por meio de uma função do declínio da produção, em função da variação da concentração de sais. A tolerância pode ser descrita avaliando a influência da condutividade elétrica (CER) do extrato de saturação na redução da produção da cultura avaliada, num parâmetro conhecido como condutividade elétrica limiar ou salinidade limiar (SL) (figura 1), que se caracteriza pelo valor de CE que começa a reduzir a produtividade. Espera-se que inicialmente a condutividade elétrica provoque uma redução do rendimento inicial máximo. A curva típica de tolerância a salinidade pelas plantas, apresenta relação linear entre a salinidade e a produtividade. Com base nos resultados dessa curva típica assim é possível indicar os valores de salinidade limiar, e a inclinação ou perda de rendimento pelo crescimento unitário da CE (GRIEVE et al., 2012; DIAS et al., 2016), essa produção pode ser expressa da seguinte forma (MAAS; HOFFMAN, 1977):

Figura 1 - Curva típica de tolerância das culturas à salinidade



$$P=100 - b\,(CE_{es} - SL)$$

Em que:

P- produção relativa a máxima produção obtida em condições ótimas (%);

CE_{es} - condutividade elétrica do extrato da pasta de saturação do solo média na zona radicular (dS m^{-1});

SL - salinidade limiar (dS m^{-1}); e,

b - inclinação ou perda de rendimento por incremento unitário da CE (% por dS m^{-1}).

A tolerância das plantas à salinidade é uma característica herdada por espécies que evoluíram em ambientes salinos ou com predisposição à salinidade. Quanto a tolerância as plantas podem ser classificadas em halófitas e glicófitas. Por definição plantas halófitas são espécies vegetais que apresentam capacidade de emergir e completar o ciclo de desenvolvimento em ambientes salinos (PRAXEDES, 2020). Dentro desse grupo as plantas podem ser classificadas ainda em tolerantes e moderadamente tolerantes. Essa classificação é feita com base na salinidade do solo que compromete o desenvolvimento e/ou promove danos econômicos. Para sobreviver em ambientes salinos, essas espécies desenvolveram ao longo da evolução uma série de adaptações morfológicas (presença de glândulas e pelos excretores), fisiológicas (ajustamento osmótico) e bioquímicas (produção de enzimas do complexo oxidativo).

Nos últimos anos o potencial genético de plantas tolerantes tem sido recorrentemente investigado, seja para o desenvolvimento de culturas com elevado potencial fitorremediador ou para o desenvolvimento de híbridos mais tolerantes à salinidade (SOUZA, 2019).

Em contrapartida, as espécies classificadas como glicófitas não apresentam a capacidade de se desenvolver em ambientes halomórficos, podendo sofrer danos e ou morrer mesmo em valores de condutividade elétricas considerados baixos (até ~2 dSm^{-1}). De acordo com essa classificação o feijão-caupi, é considerado como moderadamente tolerante à salinidade podendo suportar sem comprometimento das funções fisiológicas de 3,3 dS m^{-1} até 4,9 dS m^{-1} da condutividade elétrica do solo. A ocorrência de ajustamento osmótico no feijão-caupi era um assunto polêmico e que provocava divergências, no entanto, recentemente Dourado et al. (2019) comprovaram a existência desse mecanismo na espécie.

2.4 Tolerância de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L.) a salinidade

O feijão-caupi, é classificado como espécie moderadamente tolerante a salinidade, podendo suportar salinidade no extrato de saturação de até 3,3 dS m^{-1}, além disso adapta-se

bem a diferentes classes de solos. Como a maioria das leguminosas, não suporta condições de alagamento, sendo mais adaptado às condições de seca (AYERS; WESTCOT, 1999).

Recentemente Dourado et al. (2019) verificaram que a espécie apresenta potencial de cultivo em solos salinos. Tal feito foi alcançado devido a detecção de mecanismo de ajustamento osmótico da espécie quando cultivada sob condição de salinidade. Porém, ainda são necessários estudos que avaliem pontualmente o efeito de cada fase do estresse salino no desenvolvimento da cultura, bem como é necessário avaliar o desempenho da espécie sob condições de salinidade em solos de diferentes mineralogias. Aspectos acerca da ocorrência de sinalização celular e síntese de solutos orgânicos ainda permanecem pouco explorados, justificando a necessidade de estudos que explore mais esses parâmetros. (LEITE, 2017; OLIVEIRA et al., 2017).

2.5 A cultura do feijão-caupi (V*igna unguiculata* L)

2.5.1 Origem

O gênero Vigna, ocorre em regiões tropicais e subtropicais, no entanto tem ampla distribuição mundial. De acordo com Steele e Mehra o gênero apresenta em torno de 160 espécies, das quais a maioria ocorre na África, sendo 66 delas endêmicas, o que sugere que a evolução desse gênero pode estar relacionada a esse continente. Entre as espécies de ocorrência na África está *Vigna unguiculta* L. De acordo com Steele e Mehra (1980), o centro de origem dessa espécie ainda é bastante discutido em diversos países como Índia, Paquistão, Irã, Etiópia e inclusive América do Sul são citados como possíveis centros de dispersão. Apesar das divergências tem se adotado a África como centro de origem devido a ocorrência de formas selvagens que não são encontradas fora desse continente.

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata*), é uma planta dicotiledônea, pertencente a ordem Fabales, família Fabaceae. Devido a sua alta capacidade fotossintética, e por possuir metabolismo C3, sua produção máxima de folhas, é alcançada a partir dos 20 dias após sua formação. O nome feijão-caupi originou-se do inglês “cowpea”, que significa ervilha de vaca, pelo fato dessa cultura ser utilizada como fonte de alimento para os animais na forma de feno. Essa leguminosa se apresenta com vários nomes populares, o que pode dificultar e o seu reconhecimento, essa diferença nominal varia de região para região (TIMKO et al., 2007; FILHO et al., 2023).

2.5.2 Produção e importância socioeconômica

Dentre a família Fabaceae, o feijão-caupi é uma das espécies mais adaptadas as condições climáticas do semiárido Brasileiro, além de ser fonte de nutrientes. No Nordeste, o feijão-caupi tem seu cultivo concentrado, no agreste e sertão, por questões culturais e pelas características edafoclimáticas, tais como, altas temperaturas e baixa precipitação. A agricultura familiar se destaca pela maior parte da produção. Segundo a Conab (2020), os dados estimados de área plantada com feijão-caupi no Nordeste correspondem a 694 mil hectares, representando 81% da área nacional. Em Pernambuco, os valores de área plantada e produtividade também vêm crescendo, com cerca de 107,3 mil hectares de área plantada. Espera-se que em 2020 a produção atinja cerca de 40,2 mil toneladas.

2.6 Efeito da natureza mineralógica do solo com a dinâmica de sais e estresse salino em plantas

Nos solos os íons adsorvidos aos coloides minerais podem ser substituídos ou realocados por outro. Em condições quimicamente neutras o número total de cátions trocáveis, apresentado em termos de equivalentes químicos por unidade de massa de partícula de solo, são aproximadamente constantes e independe da espécie de cátions presente. Essa propriedade é chamada de capacidade de troca de cátions (CTC), e é um fenômeno de superfície que afeta o movimento e a retenção de íons no solo, bem como os processos de floculação e dispersão dos colóides do solo. Diferenças entre raio iônico, valências e propriedades hidratantes, fazem com que os íons sejam adsorvidos nas micelas com diferentes graus de preferência. Quanto menor for o raio iônico quando hidratado e maior for a valência, mas fortemente o íon será adsorvido.

A relação entre as cargas variáveis e dependentes de pH em solos com mineraologia distintas, é um assunto complexo e ainda muito pouco estudado, porém, a permeabilidade dos solos, sofre uma diminuição porque o sódio trocável, permite que os minerais de argila os aluminossilicatos se dispersem e aumentem na presença de água. Já solos com presença de esmectitas, com altos teores de Na+ trocável apresentam uma maior expansão. As illitas por sua vez, geralmente permanecem dispersas em soluções de alta condutividade elétrica, o que ocorre comumente em solos de mineralogia 2:1. A dispersão das caulinitas pode variar com o pH da solução do solo, por parte de sua carga pode sofrer variação (CHURCHMAN, 1993).

A pedodiversidade no semiárido nordestino está relacionada com o material de origem. Os solos dessa região em sua maioria são rasos e poucos intemperizados e, associado

com a má distribuição das chuvas e a drenagem pouco eficiente essas áreas tornam-se predispostas a salinização (ARAÚJO FILHO et al., 2023).

O processo de salinização primária ocorre principalmente pelo acúmulo de sais ao longo do perfil do solo, está relacionado também com as águas subterrâneas, processo resultante dos processos naturais. Essa salinização é induzida por processos geológicos, e por tipos de minerais específicos das rochas, e com o aumento salino das águas subterrâneas, (RUTO et al., 2018).

O processo de salinização secundária também possui relação com o excesso do uso dessas áreas que são propicias a salinização, revolvendo os solos mais profundos para as superfícies, aflorando os sais para as camadas mais superficiais do solo, afetando a produção agrícola. (CONSTANTINI et al., 2018). Já foi relatado anteriormente.

A fertilidade desses solos também é um fator limitante, uma vez que o pH do solo está diretamente ligado a disponibilidade de nutrientes, que são necessários para o crescimento das plantas (GHAZALI et al., 2020).

3 MATERIAL E MÉTODOS

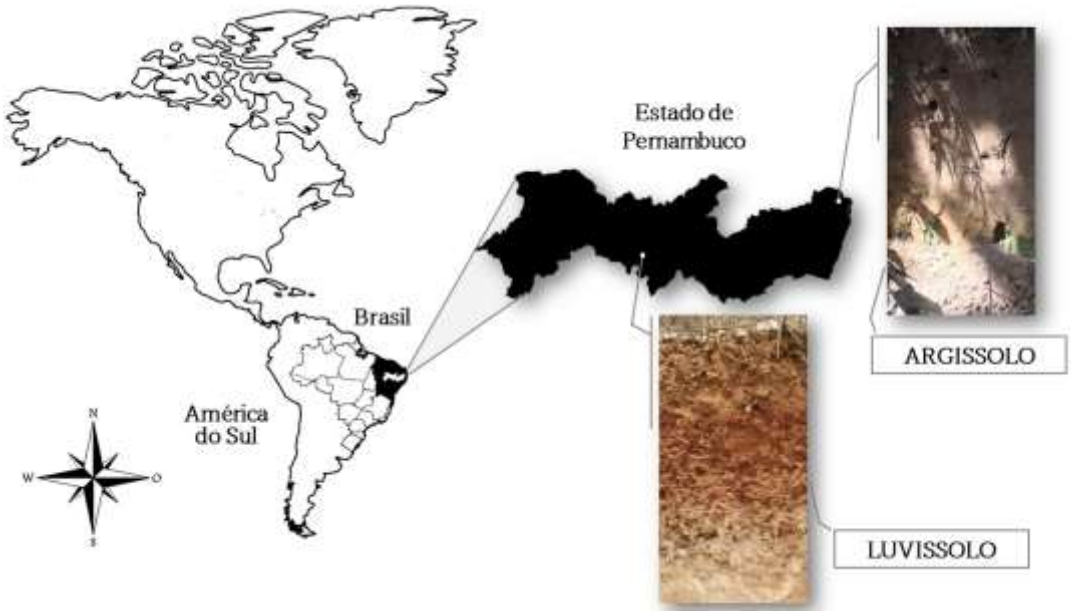
3.1 Descrição da área

O experimento foi conduzido em ambiente protegido, no Departamento de Agronomia (DEPA), da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), localizada em Recife-PE (Figura 2). O clima da região é do tipo Am (clima de monção tropical, com estação seca no inverno), de acordo com a classificação de Köppen. A temperatura média anual é de 25.8 °C, com pluviosidade média de 1804 mm/ano.

3.2 Coleta e caracterização de solos utilizados na pesquisa

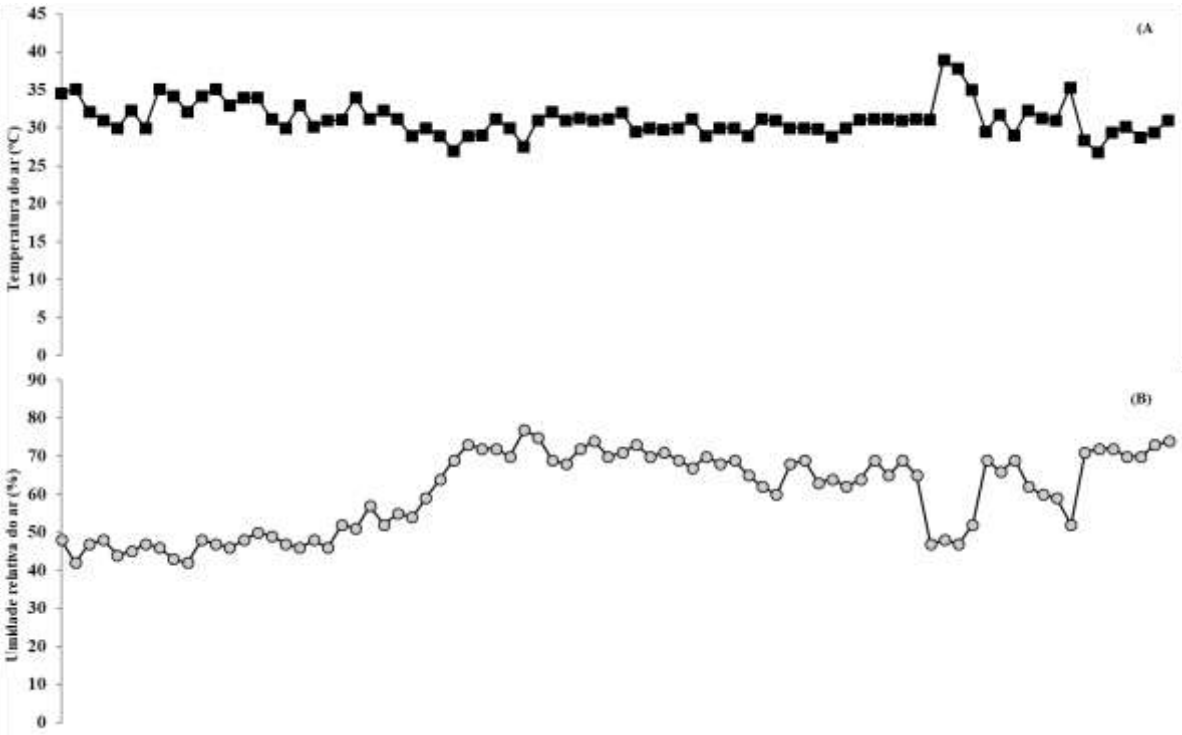
A coleta dos solos foi realizada a partir do horizonte diagnóstico b, em dois perfis distintos (Figura 2). O Argissolo Amarelo foi coletado no município de Goiana-PE, região metropolitana de Recife, na estação do IPA, localizada em Itapirema-PE, (7.64°S, 34.96°W), e o Luvissolo Crômico que foi coletado no município de Floresta, na estrada com sentido ao distrito de Manga de Baixo-PE, (8.77°S, 38.85°W), inserido na Bacia do Rio São Francisco e do Rio Pajeú. Vale destacar que a escolha de coleta no horizonte diagnóstico se deu para garantir a possibilidade de manter a mesma mineralogia característica da ordem dos solos e manutenção da intenção de testar solos com níveis de intemperismo distintos.

Figura 2 - Localização dos perfis dos solos coletados; Argissolo amarelo-Itapirema-PE e Luvissolo crômico- Floresta-PE



As informações meteorológicas foram registradas durante todo o experimento, aos 64 dias após o plantio, a temperatura média foi de 39°C e uma umidade relativa de 77%, atingindo a umidade mais alta, durante os 80 dias de experimentação (Figura 3 (A) e (B)).

Figura 3 - Temperatura (A) e Umidade relativa do ar (B) ao longo dos 80 dias de experimento.



Dias após o início do tratamento salino (0-80)

Tabela 1 - Atributos químicos e físicos dos solos coletados

Atributo	Argissolo	Luvissolo
pH (H_2O) 1:2,5	4,50	6,70
C.E[a] (dS m^{-1})	0,4	0,8
H+Al ($cmol_c$ dm^{-3})	3,52	0,66
Ca ($cmol_c$ dm^{-3})	0,80	5,0
Mg ($cmol_c$ dm^{-3})	0,60	2,30
Al ($cmol_c$ dm^{-3})	0,43	0,00
Na ($cmol_c$ dm^{-3})	0,05	0,21
K ($cmol_c$ dm^{-3})	0,03	0,35
P (mg dm^{-3})	0,00	6,00
CTC (pH 7,0)	5,00	8,52
Ds (g/cm^{-3})	1,24	1,87
Dp (g/cm^{-3})	2,55	2,56
AG(g/Kg^{-1})	428	220
AF (g/Kg^{-1})	236	170
Silte (g/Kg^{-1})	156	250
Argila (g/Kg^{-1})	180	360
ADA (%)	45	64
GF (%)	75	73
GD (%)	25	26

[a]Condutividade elétrica;Ds:Densidade do solo; Dp:Densidade da partícula; AG: Areia grossa;AF: areia fina;ADA: Argila dispersa em água; GF: Grau de floculação; GD: grau de dispersão;

As amostras dos solos coletadas no horizonte diagnóstico b foram caracterizadas conforme (Tabela 1). Para as caracterizações físicas dos solos, foram feitas as análises de granulometria, argila dispersa em água pelo método do densímetro, e densidade do solo pelo método da proveta para o Argissolo amarelo, e o do torrão para o Luvissolo crômico, e de partículas pelo balão volumétrico (EMBRAPA, 2017). As amostras de tecido vegetal coletadas para avaliação do estado nutricional foram submetidas às digestões sulfúrica e nítrica-perclórica, para a determinação das concentrações de macro e micronutrientes, conforme procedimentos descritos em Miyazawa et al. (2009).

3.3 Análises mineralógicas

As caracterizações mineralógicas da areia grossa e fina e argila foram determinadas por meio de difratometria de raios X (DRX), na forma de pó não orientado, operando com radiação de Cu kα, com velocidade de 1º min 2θ , registrando amplitude de 5 a 70º (2θ). A argila foi separada por meio de decantação, em seguida foram secas em estufa a 60ºC, passadas em moinho com almofariz de ágata, passando por peneira de 100 mesh. A interpretação e identificação dos diafratogramas dos minerais constituintes da fração areia e argila, foram baseados nos picos de difração mediante aos tratamentos térmicos e de saturação, e no espaçamento interplanar (d), segundo metodologias apresentadas por Jackson (1975), Brown & Brindley (1980) e Moore & Reynolds (1989).

3.4 Preparo das águas salinas.

As condutividades elétricas de 0;1,5;3,0;4,5;6,5;9,0 dSm^{-1} foram obtidas com a adição de sais de NaCl, CaCl2 e o MgSO4 fundamentado na relação 7:2:1 encontrada nas águas salobras de poços do semiárido, conforme Medeiros (1992). Para a água sem mistura de sais foi utilizada a água da companhia de abastecimento local com condutividade elétrica média de 0,06 dS m^{-1}

3.5 Manejo de adubação

Após coletadas, as amostras foram enviadas para análise de fertilidade, então foram definidos o manejo de adubação adotados em cada uma das classes de solos. A recomendação de adubação foi pautada nas exigências nutricionais do feijoeiro conforme IPA (2008). As fontes usadas para adubação foi nitrogênio, fósforo e potássio as quantidades foram de: para suprir a necessidade de micronutrientes foi utilizada a solução de Hogland.

3.6 Manejo da irrigação

A irrigação foi feita uma vez ao dia, sempre no fim da tarde levando em consideração a demanda evapotranspiratória da cultura. Para determinação da umidade de cultivo foram feitos ensaios de capacidade de pote, determinando a porcentagem de umidade. A umidade trabalhada no estudo foi de 70% da capacidade de pote. Diariamente foram feitas a reposição da lâmina evapotranspirada por meio de pesagens, e cada tratamento recebia suas respectivas águas salinas referente a cada tratamento.

3.7 Análises de planta

3.7.1 Avaliação biométrica da planta e produtividade

Os experimentos foram conduzidos de 15/02/2022 a 05/05/2022 totalizando 80 dias de experimentação. Ao longo do experimento, foram avaliados os parâmetros diâmetro de caule, altura da planta, produção de biomassa foliar, e ao final do experimento a produtividade.

3.7.2 Potencial hídrico das plantas (ψ_w) e Potencial osmótico (ψ_o,)

O potencial hídrico das plantas (ψw) foi determinado utilizando a câmara de pressão de scholander (1965), (modelo 1515d pressure chamber instrument - pms instrument company). a medição do potencial hídrico das plantas foi realizada no estádio de maturação do feijoeiro aos 80 dias após o plantio, antes do amanhecer (madrugada).

Para a determinação do potencial osmótico (ψo) foram utilizadas as folhas coletadas dos ramos utilizados na determinação potencial hídrico, as quais foram maceradas com nitrogênio líquido e trituradas em almofariz com auxílio de pistilo e a seiva oriunda da maceração foi filtrada e centrifugada a 10.000 g em uma temperatura de 4 ºc por 15 minutos. a análise da osmolidade para determinação do potencial osmótico (ψ_o), foi realizada em osmômetro de pressão de vapor (vapro wescor modelo 5600), onde utilizou-se 10 microlitros do sobrenadante. os valores de osmolalidade foram convertidos para mpa utilizando a equação de vant´t hoff (equação 2) (KIRKHAM, 2004; HILLEL, 2007; SOUZA et al., 2012).

$$\Psi_o\,(MPa) = -\ moles\ do\ soluto * R * T \qquad \text{(Eq. 2)}$$

Em que

R = constante universal dos gases (0,008314 MPa Kg $K^{-1}mol^{-1}$);

T = é a temperatura em Kelvin.

3.7.3 *Ajustamento osmótico (Ao)*

Em decorrência da análise de potencial hídrico (ψw), foram coletadas folhas semelhantes as usadas na determinação no ψw, para a estimar o ajustamento osmótico, essas folhas foram saturadas com água destiladas em placas de petri, a 4 °C durante 24 h totalmente no escuro. Quando atingiram o turgor, foram secas com papel toalha e maceradas com nitrogênio líquido, em almofariz de porcelana. Após a obtenção do extrato, os mesmos foram filtrados em tecido musseline e transferidos para enppendorfs®

de 1,5 mLe centrifugadas a 10000 g por 15 minutos a 4 ºC. A leitura da osmolalidade foi realizada em osmômetro (VAPRO WESCOR modelo 5600). Os valores dos resultados foram convertidos a Mpa a partir da equação de Van't Hoff. De acordo com Blum (1989), o ajustamento osmótico foi obtido por meio da diferença entre potencial osmótico das plantas testemunhas e das plantas em estresse (Equação 3).

$$\mathrm{AOtot} = \Psi\mathrm{ot}^{100} - \Psi\mathrm{os}^{100} \qquad \text{(Eq. 3)}$$

Em que,

AOtot – Ajustamento osmótico Total;

$\Psi\mathrm{ot}^{100}$ – Potencial osmótico das plantas controle a pleno turgor

$\Psi\mathrm{os}^{100}$ – Potencial osmótico das plantas estressadas a pleno turgor

3.7.4 Extravasamento de eletrólitos

A análise de extravasamento de eletrólitos (ALVES et al., 2009, adaptado) foram coletadas amostras da folha +2, com área de 0,5 cm^2 (0,5 cm base x 1,0 cm altura) essas amostras foram colocadas em tubos de ensaio com 10 mL de água destilada e incubada em banho-maria a 25 °C por 24 horas. Após o período de incubação foi determinada a condutividade elétrica do extrato (C1) com condutivímetro, expressa em µS cm^{-1}. Em seguida, as mesmas amostras de folhas foram colocadas em banho-maria a 90 ºC por 1 h e, após resfriamento até temperatura ambiente foi realizada a leitura da condutividade elétrica do extrato (C2). O percentual do extravazamento de eletrólitos, proporcional principalmente aos danos na membrana plasmática, foi estimado pela seguinte relação (Equação 5):

$$EE\% = (C1/C2) \times 100 \qquad \text{(Eq. 4)}$$

3.7.5 Teor relativo de água

O teor relativo de água foi detrminado na madrugada, aos 80 dias após o plantio, em que coletou-se 5 discos foliares, retirando seu peso fresco (PF), foram saturados com água destilada, logo em seguida foram retirados o peso túrgido (PT) e, os discos permaneceram saturando por 48 horas, ao fim levados a estufa de 65 °C, por 48 horas igualmente. Por fim obteve-se o peso seco (PS) e feitas as relações (Equação 5) (SILVEIRA et al., 2003).

$$TRA\%=PF-PS/PT-PSx100 \qquad \text{(Eq.5)}$$

3.7.6 Determinação de enzimas antioxidantes superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e ascorbato peroxidase (APX)

Foram coletadas amostras de folhas do feijoeiro, no final do experimento, que foram imediatamente congeladas em N líquido e armazenado a -80 °C. As amostras posteriormente foram trituradas em N líquido e maceradas em almofariz com auxílio de pistilo. A seiva obtida foi centrifugada e o sobrenadante foi coletado para a determinação da atividade de enzimas. A superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e ascorbato peroxidase (APX) as atividades foram determinadas segundo método descrito por Giannopolitis & Ries (1977), Chance & Maehly, (1995), e Nakano & Asada (1981), respectivamente.

3.7.7 Superóxido dismutase (SOD)

A atividade da superóxido dismutase foi determinada a 25 °C em meio de reação constituído de 50 mmol de tampão fosfato de potássio pH 7,5, contendo 0,1 mmol L^{-1} de EDTA, 10 mmol/L de metionina, 2 µm de riboflavina, 0,075 mmol L^{-1} de NBT e 20 µL do extrato com um volume final de 3 mL (GIANNOPOLITIS; RIES, 1977).

A produção de formazana azul proveniente da redução do NBT em presença de luz é máxima na ausência da enzima. A atividade da SOD está relacionada a capacidade da enzima presente no extrato inibir a produção de formazana azul. Uma unidade de SOD é a quantidade de enzima capaz de reduzir em 50% a produção de formazana azul. A produção de formazana azul proveniente da redução do NBT em presença de luz foi lida em espectofotômetro a 560 mm.

3.7.8 Ascorbato peroxidade (APX)

A atividade da ascorbato peroxidase (APX) foi determinada em meio de reação constituído por 50 mmol/L de tampão fosfato de potássio contendo 0,1 mmol/L de H_2O_2 0,5 mmol/L de ascorbato e 25 µL de extrato enzimático em um volume final de 2 mL. A atividade da APX foi monitorada pela taxa de oxidação do ascorbato a 290 nm e 28°C em espectrofotômetro a 290 nm (NAKANO; ASADA, 1981).

3.7.9 Catalase (CAT)

A atividade da catalase foi determinada em um meio de reação constituído por 50 mmo/L de tampão fosfato de potássio pH 7,5, contendo 12mmol/L de H_2O em um volume

final de 2mL. A atividade da (CAT) será monitorada pela decomposição do H_2O por meio da mudança na absorbância lida a 240 nm e 25 °C em espectrofotômetro (MCHALE,1987).

3.8 Análises de solo

3.8.1 Efluxo de CO_2 no solo

O Efluxo de CO_2 do solo foi determinado aos 80 dias após o plantio, sendo a última etapa realizada com plantas em vaso com o auxílio de uma câmara de efluxo de CO2 (Modelo Li-6400XT). Foram utilizados os colares de PVC e inseridos no solo a 5 cm de profundidade no solo para acoplar a câmara com conexão ao IRGA. Os dados foram obtidos com a unidade de $\mu molCO_2m^{-2}s^{-1}$.

3.9 Análise de dados

Foram realizados dois experimentos paralelos em blocos casualizados (DBC) com quatro repetições avaliando o efeito de seis tratamentos representados pelos níveis de níveis de condutividade elétrica da água de irrigação de 0; 1,5; 3,0; 4,5; 6,5; 9,0 dS m^{-1}.

Para cada experimento foi utilizado uma ordem de solo com mineraologia distintas: Luvissolo crômico, e Argissolo amarelo. Os dados foram analisados por meio de análise de variância e ajustes de equações de regressões. As análises foram realizadas utilizando o software SISVAR®.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Produção e componentes de produção

De acordo com a ANOVA, as plantas cultivadas em Argissolo Amarelo, não houve efeito significativo ($p<0,05$) isolado da salinidade (CE) da água de irrigação para as variáveis massa seca parte aérea (MSPA) (massa seca raiz (MSR) produção (P), altura de planta (H) e diâmetro do caule (DC). Já nas plantas cultivadas em Luvissolo crômico os resultados não se mostraram significativos para as variáveis MSPA, DC, em contraste para a MSR e H observou-se que a salinidade afetou essas variáveis.

4.1.1 Efeito do estresse salino na avaliação biométrica em plantas cultivadas em Argissolo e Luvissolo

Os valores médios observados para MSPA, MSR, H e DC foram de: 1,17 g; 0,63 g; 26,0 kg ha^{-1}; 63,70 cm e 4,43 cm, respectivamente. Entretanto, pela análise estatística pode-se observar que as variáveis MSPA, MSR, H e DC foram significativas para o tratamento controle nas plantas cultivadas com Argissolo amarelo (Tabela 2).

Tabela 2 - Concentrações médias e desvios padrões dos parâmetros biométricos de *Vigna unguiculata* cultivada em solos distintos.

		Argissolo		
CE(dS m^{-1})	MSPA[a] (g)	MSR[b] (g)	H (cm)	DC[c] (cm)
0	4,00 ± 0,87a	1,21 ± 0,15a	101,65 ± 8,23a	5,05 ± 0,34ab
1,5	1,91 ± 0,32 b	1,23 ± 0,20a	85,50 ± 16,66a	5,66 ± 1,33a
3,0	1,04 ± 0,34c	0,51 ± 0,10b	75,32 ± 20,54ab	4,60 ± 0,87abc
4,5	0,14 ± 0,04c	0,42 ± 0,09b	51,75 ± 16,90bc	3,86 ± 0,14bc
6,0	0,14 ± 0,07c	0,29 ± 0,03b	35,00 ± 2,16c	3,90 ± 0,54bc
9,0	*	0,12 ± 0,02b	33,00 ± 0,81c	3,41 ± 0,02c
		Luvissolo		
0	5,36 ± 0,49ns	2,95 ± 0,54a	119,00 ± 9,01a	5,75 ± 0,23ns
1,5	6,17 ± 0,64ns	2,69 ± 0,51ab	103,00 ±17,52a	6,47 ± 0,30ns
3,0	5,38 ± 1,31ns	2,02 ± 0,25ab	102,50 ± 26,68a	6,41 ± 1,02ns
4,5	4,23 ± 0,93ns	1,82 ± 0,38ab	95,50 ± 13,30ab	5,99 ± 0,20ns
6,0	4,65 ± 0,71ns	1,90 ± 0,21ab	96,00 ± 23,30ab	5,79 ± 1,33ns
9,0	4,03 ± 1,00ns	1,54 ± 0,35b	63,25 ± 15,52b	6,70 ± 1,24ns

Valores seguidos de letras diferentes indicam que os níveis diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p > 0,05$); *ns* não significativo ($p < 0,05$); *planta morta. MSPA (massa seca da parte áerea); MSR (massa seca de raízes); H (altura); DC (diâmetro do caule);

Os resultados observados mostram que à medida em que a CE aumentou houve decréscimo nas variáveis correspondentes, sugerindo com isso que o efeito negativo do aumento da salinidade sobre essas variáveis ocorre, principalmente, em consequência aos efeitos adversos dos sais sobre as plantas, especialmente a redução da absorção de água com consequente diminuição na taxa de crescimento das plantas, conforme relatado por Santos et al. (2020).

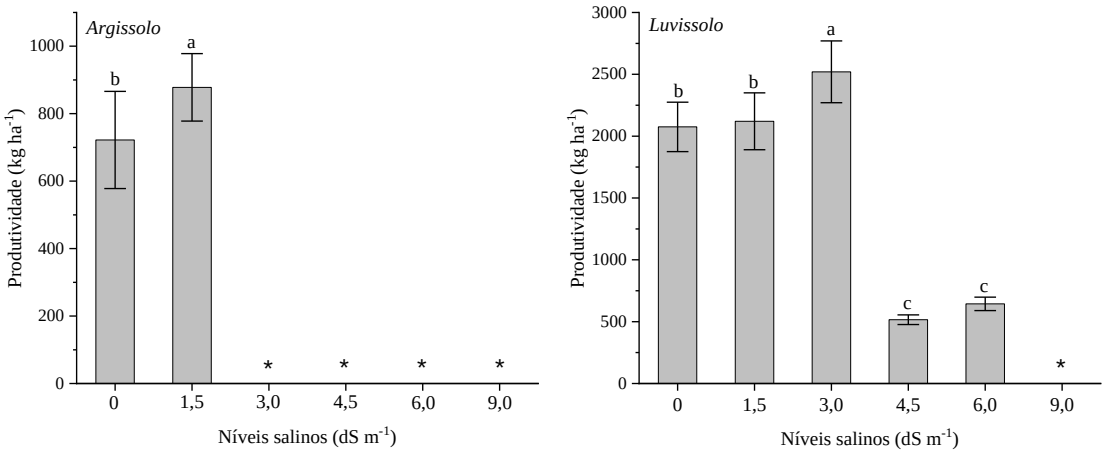
Os valores médios observados para as plantas de feijão-caupi cultivados em Luvissolo crômico foram: 6,70; 17,26 dS m^{-1}; 4,49 g; 95,12 cm e 6,19 cm para as variáveis pH, CE, MSPA, H e DC, respectivamente (Tabela 3).

As plantas de feijão-caupi cultivadas em Luvissolo crômico apresentaram melhores desenvolvimento em relação ao Argissolo amarelo, devido a concentração de sódio trocável, e a condutividade elétrica de cada solo, e também a sua assembléia mineralógica, devido as esmectitas serem expansivas e apresentarem substituição isomórfica, no caso do Al pode ser substituído pelo Mg e pelo Fe e por outros cátions. Sendo assim colabora para que haja uma substituição isomórfica dos sais pelos elementos presentes na estrutura das esmectitas, onde houve acúmulo dos sais, onde o sódio substitui o cálcio, no complexo sortivo, o que também foi encontrado para Costa et al. (2019).

Em relação a produtividade pode-se observar que as plantas cultivadas em Argissolo amarelo quando irrigadas com o nível de salinidade de 1,5 dSm^{-1} mostraram maior produtividade com relação as plantas controle (0 dSm^{-1}) (Figura 4). Entretanto, para os outros níveis salinos não houve produção e enchimento das vagens.

Uma da principal limitação dos Argissolos amarelo é a fertilidade normalmente baixa, um alto risco de erosão, devido a diferença abrupta de textura, tanto superficial quanto subsuperficial, porém apresentam boas características físicas de retenção e umidade, e boa permeabilidade (FILHO et al., 2022).

Figura 4 - Produtividade média e desvios padrões de *Vigna unguiculata* cultivada sob diferentes níveis salinos e solos distintos



Valores seguidos de letras diferentes indicam que os níveis diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p > 0,05$); *plantas sem frutos.

A redução na produtividade e características biométricas ocasionadas pelo excesso de sais também foi observado por outros autores como Sousa et al. (2021) e Souza et al. (2022).

Para a produtividade do feijão-caupi em Luvissolo crômico os valores de produtividade foram maiores quando irrigadas com a água de irrigação de 3,5 dSm^{-1}, isso pode tá relacionado com o fato do feijão-caupi, apresentar salinidade limiar de 3,3 dSm^{-1} (AYERS; WESTCOT, 1999). Além de esses solos apresentarem uma boa fertilidade natural e terem características mineralógicas favoráveis para a produção, apresentam boas características físicas, o que pode influenciar na alta produtividade.

4.2 Parâmetros fisiológicos

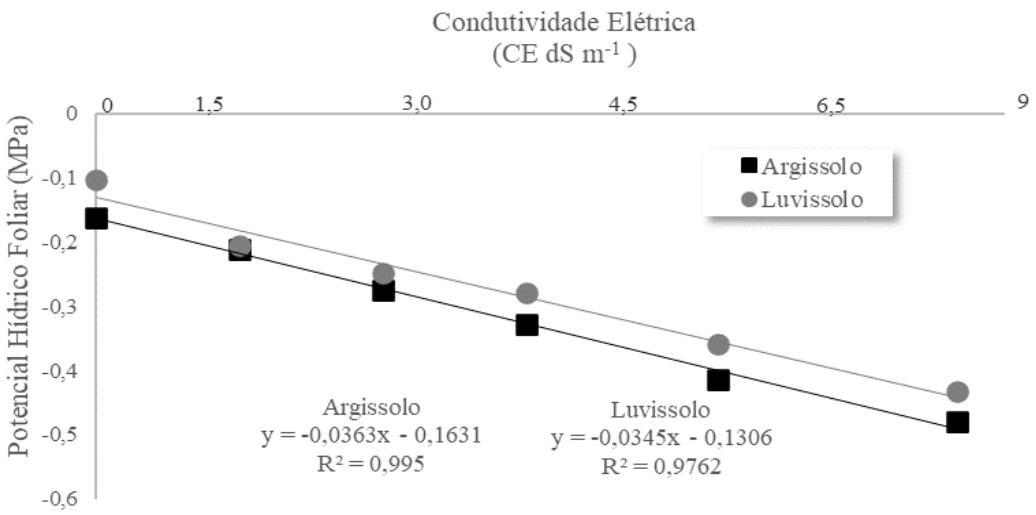
4.2.1 Potencial hídrico

De acordo com a ANOVA observa-se diferenças significativas no potencial hídrico quanto aos níveis de salinidade, sendo registrado redução do potencial hídrico foliar, em decorrência do aumento da salinidade.

O potencial hídrico da folha descreve o status hídrico e tem sido muito utilizado para estudos das relações hídricas das plantas (WESTGATE, 1994), assim, ao comparar os dois tipos de solos pode-se observar que os valores de Potencial hídrico foram menores no Argissolos do que nos Luvissolos (Figura 5).

No geral o potencial hídrico da planta é usado para avaliar o estado hídrico das plantas. Quanto maiores os níveis salinos na água de irrigação, menor a absorção de água pelas plantas, reduzindo também o potencial hídrico do solo. O potencial hídrico foliar foi reduzido nos dois tipos de solos em relação a salinidade. Em trabalho com feijão-caupi Souza et al (2020), observou que a cultura preservou o potencial hídrico foliar mesmo em condições extremas de estresse, conservando e priorizando a manutenção do seu status ao invés da atividade fotossintética.

Figura 5 - Potencial hídrico foliar do feijoeiro nos dois solos com mineraologia distintas em função dos diferentes níveis de água salina.



O potencial hídrico foi muito afetado pelos níveis salinos, para ambos solos porém para o Argissolo amarelo onde apresentam minerais 1:1, as plantas foram mais expostas ao sais com o aumento da condutividade elétrica, houve uma redução do potencial hídrico para essas plantas cultivadas no Argissolo amarelo, fazendo com o que os sais ficassem mais facilmente disponibilizados na solução do solo, quanto maior os níveis salinos na solução do solo, maior o problema de água absorção de água pelas raízes das plantas. Já para o Luvissolo crômico também houve uma redução, mas um pouco menor que o Argissolo amarelo, por apresentar estruturas mineralógicas 2:1 e possuir maior capacidade de retenção desses sais (Figura 5).

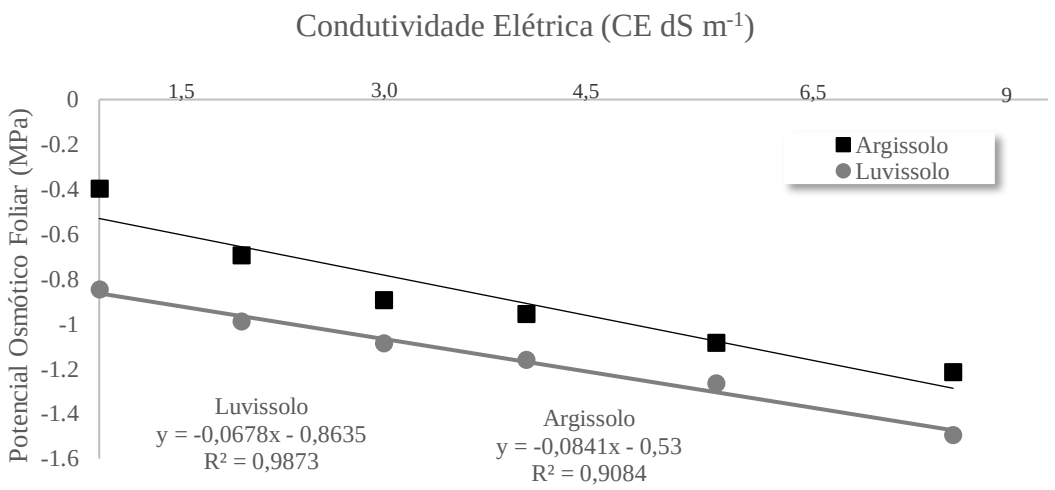
Segundo Fatemi et al. (2019) quando as plantas são submetidas a um ambiente de estresse salino ocorre um menor potencial hídrico, dificultando a absorção de água e levando à desidratação da célula e, finalmente, à ruptura do equilíbrio osmótico.

Analisando mais detalhadamente, observou-se os valores mais negativos nos tratamentos de 0 e 1,5 dS m^{-1}, no Argissolo amarelo e no Luvissolo crômico (Figura 5), Gomes Júnior et al. (2021), observaram comportamento semelhante em plantas de cana-de-açúcar submetidos a diferentes níveis salinos. Comportamento observado por Melo et al. (2020) em trabalho com Feijão-caupi, onde a presença de sais na solução do solo foi um dos principais fatores de alteração no potencial hídrico das plantas. Com o aumento da salinidade da água de irrigação Oliveira et al. (2016), em experimento com Feijão-caupi, também houve diminuição do potencial hídrico.

4.2.2 Potencial osmótico

Para o potencial osmótico do feijoeiro, constatou-se o efeito decrescente da variável com o aumento da salinidade em solos com mineralogias diferentes, ocorrendo uma redução entre o tratamento de maior nível (9,0 dSm^{-1}) e o controle (0,0 dSm^{-1}) para o Argissolo amarelo, o mesmo ocorreu para o tratamento de maior nível (9,0 dSm^{-1}) e o controle (0,0 dSm^{-1}) no Luvissolo crômico (Figura 6).

Figura 6 - Potencial osmótico final do feijão-caupi, nos dois solos com mineralogias distintas em função dos diferentes níveis de água salina.



Como observado, em ambos os solos houve uma redução do potencial osmótico. No solo com mineralogia 2:1 na CEa de 9,0 dSm^{-1}, apresentou valor mínimo -1,49 (Mpa) enquanto no Argissolo amarelo o valor atingiu -1,21 (Mpa), o que mostra que devido as características mineralógicas dos solos estudados, que quanto maior o estresse salino menor o potencial osmótico, refletindo na menor disponibilidade de água para as plantas.

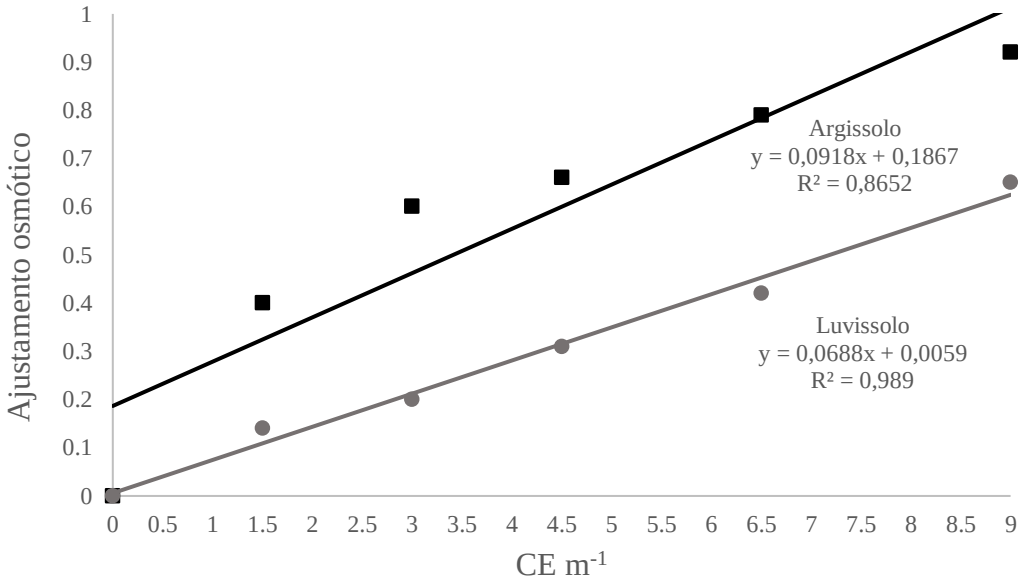
4.2.3 Ajustamento osmótico

Os valores de ajustamento osmótico mostraram uma tendência crescente para ambos os solos. A necessidade de água pelo feijão-caupi varia em função do seu estádio fenológico, e tem relação também com a cultivar (Figura 7) (SOARES, 2021).

Dourado et al. (2019), observou em trabalho com Feijão-caupi que os valores de ajustamento osmótico encontrado por osmometria, foram menores dos que encontrados pela curva pressão volume, sugerindo que as diversas interpretações do ajustamento osmótico em

plantas de Feijão-caupi, devem ser calculados pelo potencial osmótico determinando pelas curvas pressão volume. Houve uma tendência crescente dos valores de Argissolo amarelo e do Luvissolo crômico, baseado no que foi encontrado por Dourado et al. (2019), pode está relacionado ao efeito diluidor da fração apoplástica, tendo em vista que a metodologia utilizada no presente trabalho envolveu pressurização e maceração do tecido vegetal para obtenção da seiva.

Figura 7 - Ajustamento osmótico do feijão-caupi em Argissolo amarelo e Luvissolo crômico aos 80 dias após o plantio

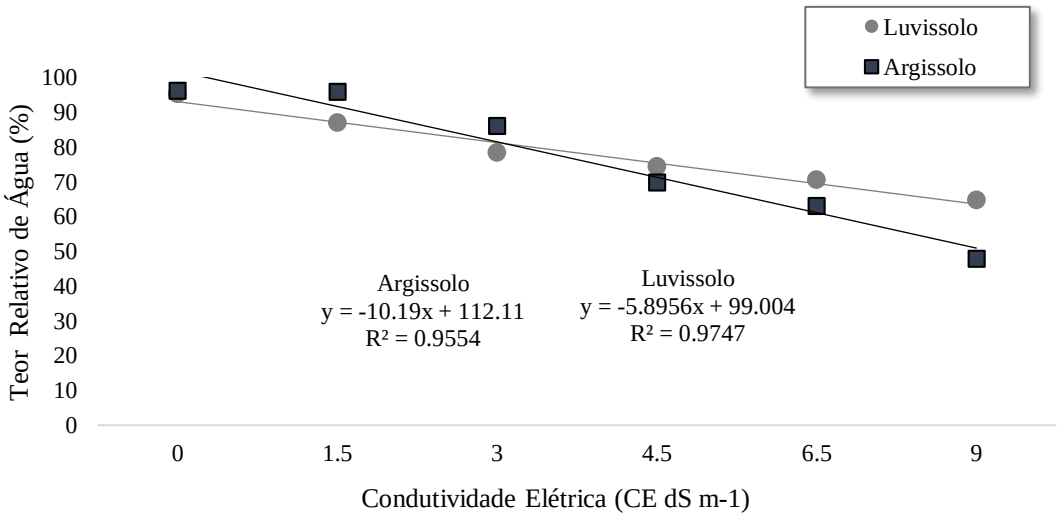


4.2.4 Teor relativo de água (TRA)

O teor relativo de água mostrou efeito significativo ($p<0,05$) para os tratamentos salinos. Nos Argissolos amarelo foi possível observar uma redução variando de entre 96,20% (0,0 dSm^{-1}) a 47,82% (9,0 dSm^{-1}) e nos Luvissolos crômicos uma redução de 96,10% (0,0 $dSm^{-1)}$ a 64,62% (9,0 dSm^{-1}) (Figura 8).

O TRA é a primeira característica da planta que é afetada pelo estresse salino (AKRAMI; ARZANI, 2018). Tal fato pode indicar um comprometimento do processo de osmorregulação, e isso pode ter ocorrido devido ao feijão-caupi Cv. Sempre-Verde salgueiro ser uma espécie moderadamente tolerante a salinidade, onde apresenta salinidade limiar de 3,3dS m^{-1} (AYERS; WESTCOT, 1999**).**

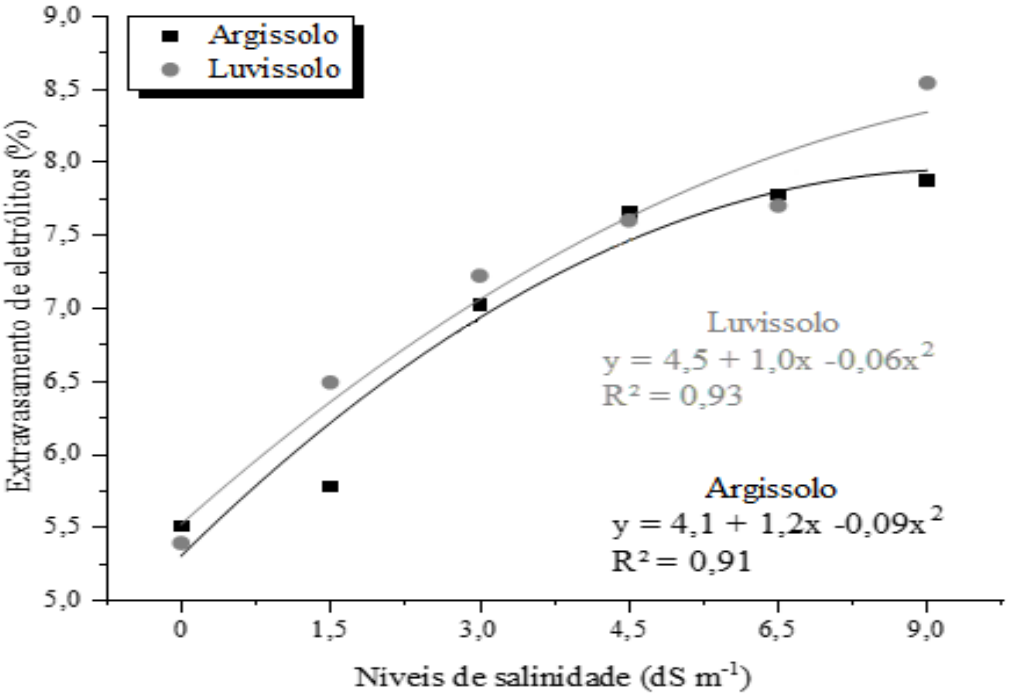
Figura 8 - Teor relativo de Água (TRA) do feijoeiro sob diferentes níveis salinos em



4.2.5 Extravasamento de eletrólitos

Para o extravasamento de eletrólitos nas folhas de Feijão-caupi, nota-se que houve um aumento na quantidade de eletrólitos tanto nas folhas das plantas cultivadas no Argissolo amarelo, quanto no Luvissolo crômico. Porém, na salinidade mais alta da água de irrigação (9,0 dS m^{-1}), as plantas cultivadas em Luvissolo Crômico aumentou em 8% em relação à testemunha, enquanto que no Argissolo amarelo, registrou aumento de 7,5%. O aumento do extravasamento de eletrólitos na alta CE da água demonstra que as plantas estão sofrendo com o estresse salino e, o efeito iônicos causados pelos sais.(Figura 9).

Figura 9 - Extravasamento de eletrólitos em folhas de Feijão-caupi após 80 dias submetidas a diferentes níveis salinos em solos com mineralogias distintas



Os resultados encontrados corrobora com Souza et al. (2022) na cultura da Alface (*Lactuca sativa L.*) irrigada com água salina , o qual observou aumento no extravasamento de eletrólito com o incremento da CE da água de irrigação. Bezerra et al. (2022), observaram em Cafeeiro irrigado com água salina que, ao aumentar os níveis da água de irrigação houve um aumento no extravasamento de eletrólitos.

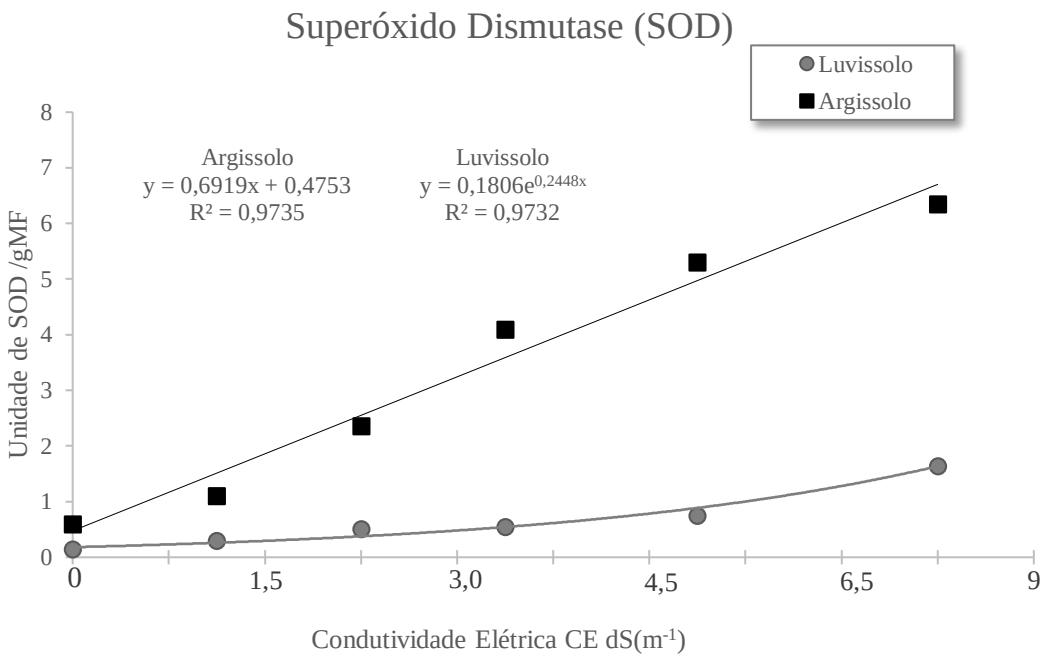
4.2.6 Superóxido dismutases (SODs)

As atividades das enzimas SODs, em plantas de feijão-caupi em solos com mineraologia distintas apresentaram aumento a medida que aumentava A CE da água de irrigação. O Argissolo amarelo apresentou os maiores valores de unidade de SOD/g de matéria fresca, variando entre 0,059 a 9,634 U/gMF. Para o Luvissolo crômico variou entre 0,013 a 9,16 U/gMF (Figura 10). Em ambos os solos, Argissolo e Luvissolo, a atividade das enzimas SODs aumentou com o incremento de sais na água de irrigação (Figura 10), indicando que a o acúmulo excessivo de sais no tecido vegetal produz espécies reativas de oxigênio durante o metabolismo de oxigênio como, por exemplo, a superóxido dismutase, uma enzima produzida pelo vegetal competir com o estresse oxidativo causado pela

salinidade a fim de evitar o descoramento da clorofila ("bleaching"), conforme relatado por Satyawati (2008).

Como produto dessa atividade das SODs na proteção oxidativa da célula vegetal, o aumento da produção pode se dá porque pode haver uma maior produção do H_2O_2, sendo um tipo de EROs, que é excluído da célula devido a ação da peroxidases (SILVEIRA et al., 2010).

Figura 10 - Atividade da enzima superóxido dismutase (SOD) aos 80 dias após a semeadura em plantas de Feijão-caupi submetidas a diferentes níveis salinos em solos



Em trabalho com Feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* L. *Walp*) em condições de estresse salino, Lima et al. (2021) observaram que também houve um incremento na atividade enzimática da SOD, na remoção das EROs em resposta ao estresse salino. O aumento na atividade de SOD em Feijão-caupi, em solos mineralogicamente distintos pode estar relacionado ao fato de devido ao tempo de exposição aos sais as plantas as plantas dessa cultivar se mostre mais tolerante ao estresse salino.

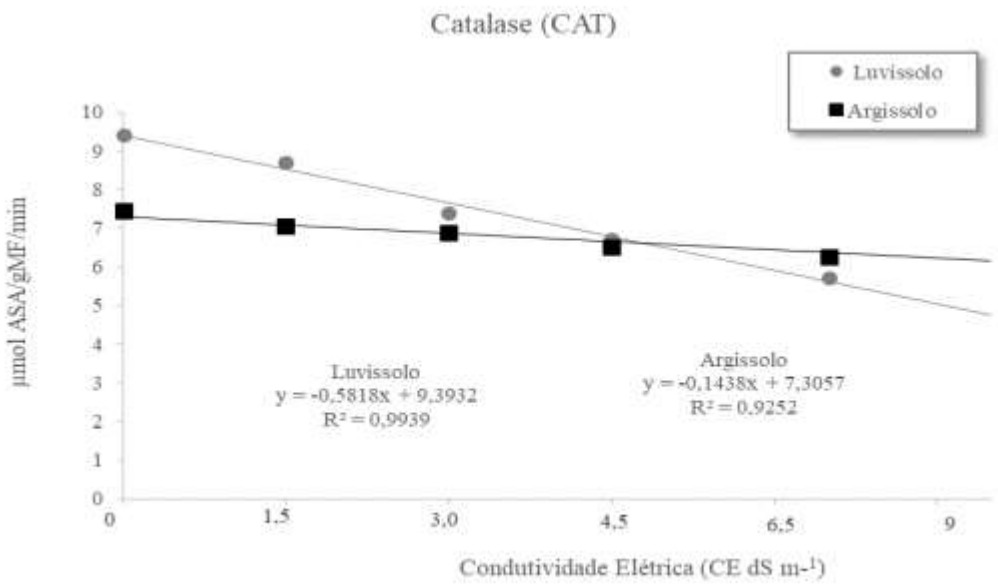
4.2.7 Catalase (CAT)

Em relação à atividade de enzima CAT, ocorreu um decréscimo com o incremento da salinidade para as plantas cultivadas Luvissolo crômico e, manteve-se constante em Argissolo

amarelo (Figura 11). A enzima Catalase atua na remoção do excesso de H_2O_2 oriundo do estresse osmótico sendo esse um dos mecanismos de proteção da organela evitando o extravasamento de H_2O_2, para outros compartimentos da célula (SILVEIRA et al., 2010).

O H_2O_2 formado pela SOD, pode ter contribuído para o declínio de ambas atividades da CAT nos dois solos estudados, pois a mesma não possui afinidades com o H_2O_2, esse decréscimo também pode estar relacionado com a intensidade do estresse salino, o que colabora com os resultados encontrados por Lima et al. (2021) para a duas cultivares de Feijão-de-corda.

Figura 11 - Atividade da enzima Catalase (CAT) aos 80 dias após a semeadura em plantas de Feijão-caupi submetidas a diferentes níveis salinos em solos com mineralogias distintas

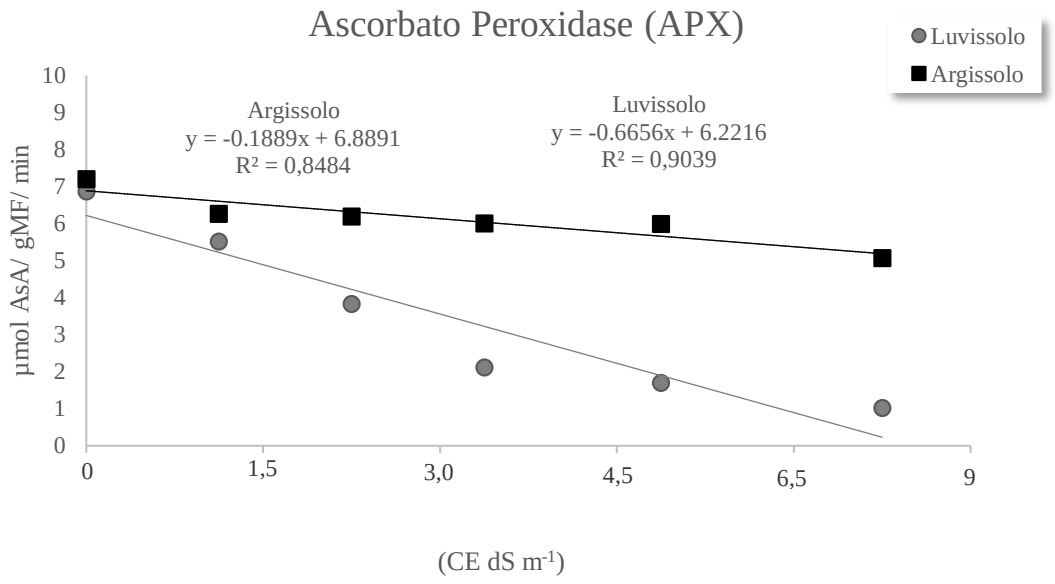


4.2.8 Ascorbato peróxidase (APX)

As médias encontradas para a atividade da enzima APX variaram entre 0,719 a 9,507 para as plantas cultivadas em Argissolo amarelo e, 0,719 a 9,10 para plantas cultivadas o Luvissolo crômico (Figura 12). Os solos seguiram a mesma tendência decrescente na medida em que as concentrações de sais da água de irrigação aumentaram. A APX é uma enzima atua diretamente na retirada do H_2O_2 do citosol e dos cloroplastos, sendo essa reduzida em ambiente salino, uma vez que ela usa o ácido ascórbico como agente reduzindo o H_2O_2, H_2O e O_2. (MARTÍ et al., 2009). Esses decréscimos na atividade de APX podem estar relacionados o aumento da SOD, de acordo com alguns autores essa enzima é responsável pela regulação da

concentração do H_2O_2, devido a sua grande afinidade por esse composto (SILVEIRA et al., 2010; ABOGADALLAH et al., 2010).

Figura 12 - Atividade da enzima Ascorbato Peroxidase (APX) aos 80 dias após a semeadura em plantas de Feijão-caupi submetidas a diferentes níveis salinos em solos com mineralogias distintas.

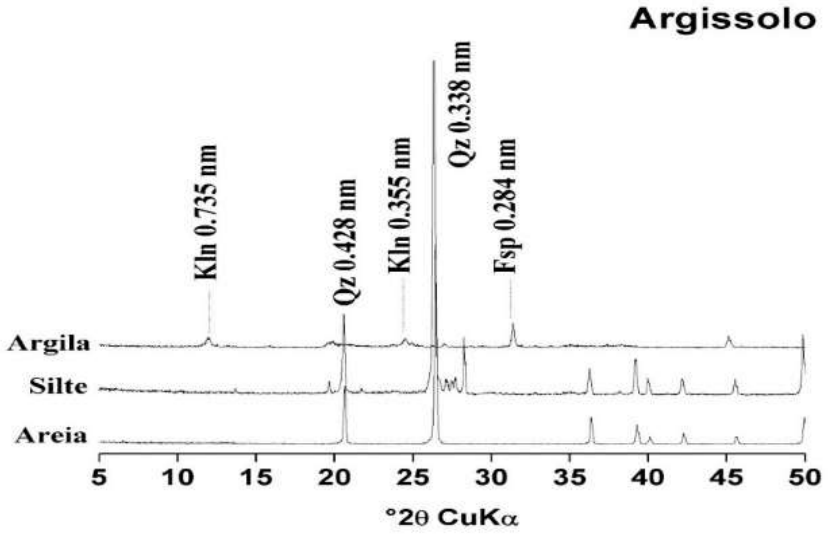


4.3 Parâmetros do solo

4.3.1 Difração de raio X (DRX)

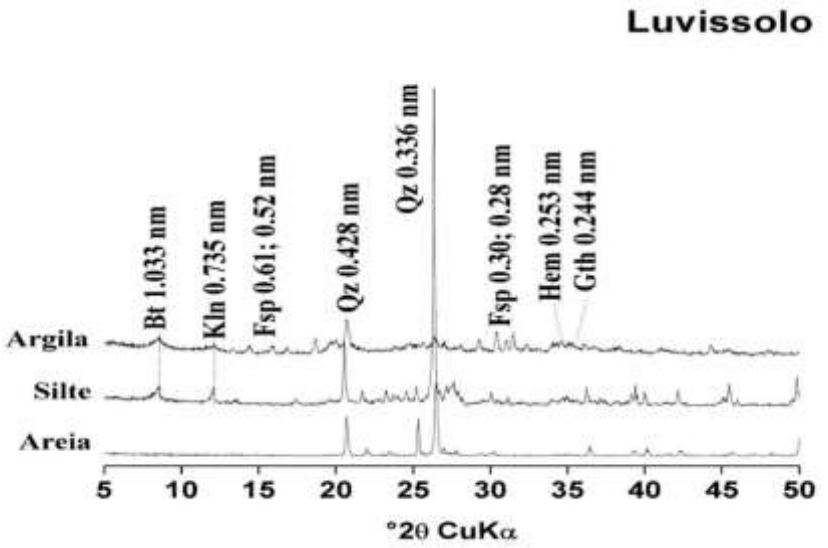
A mineralogia da fração total da argila no horizonte b, do Luvissolo crômico e do Argissolo amarelo (Figuras 13 e 14). A caracterização mineralógica do Argissolo amarelo identificou a presença de alguns minerais como o quartzo, e a caulinita (Figura 13).

Figura 13 - DRX da fração argila total analisados na forma de pó não orientado do Argissolo amarelo no horizonte b



Para o Luvissolo crômico foram identificados minerais como o quartzo, feldspatos, caulinita, hematita, goethita e a biotita (Figura 14).

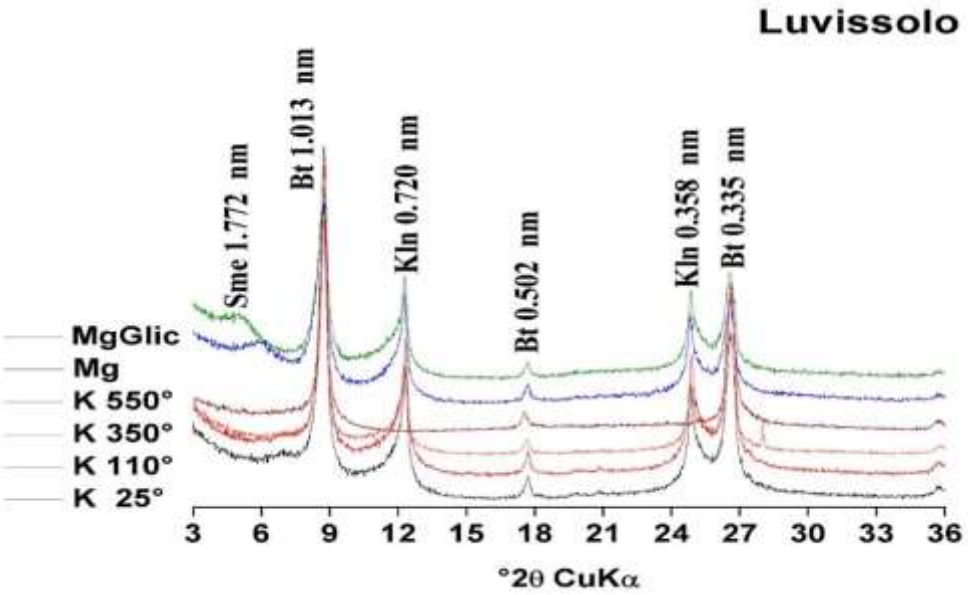
Figura 14 - DRX da fração argila total analisados na forma de pó não orientado do Luvissolo crômico no horizonte b



Os picos de difração na argila total no horizonte b do Argissolo amarelo, na caulinita podem ser observados em 0.735 nm; no quartzo o pico foi de 0,338 nm; Para o Luvissolo Crômico foram encontrados os picos de biotita em 1.033nm; caulinita 0,735 nm; feldspatos 0.61; a 0.52 nm; quartzo 0.33nm; hematita 0.253 nm e goethita 0.244 nm;

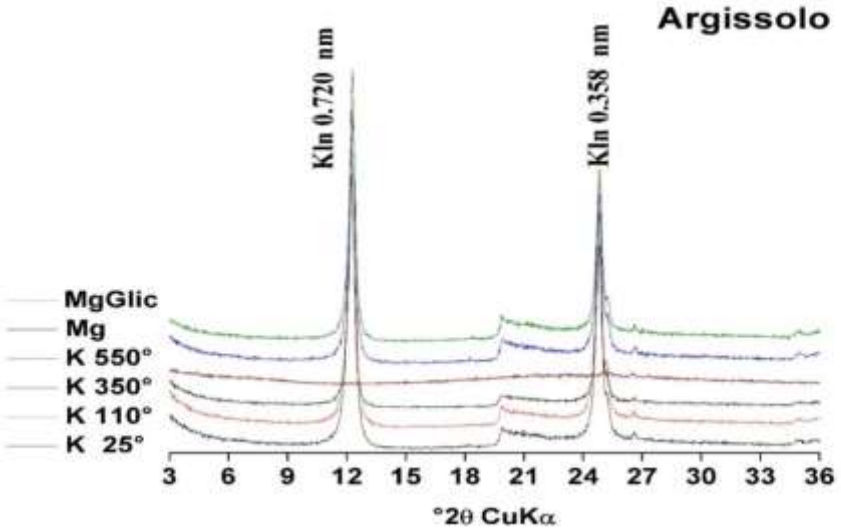
Para os picos de difração na Argila fina no Luvissolo crômico foram encontrados a esmectita 1.772 nm; biotita 1.013 nm; caulinita 0.720 nm; (Figura 15).

Figura 15 - DRX da fração argila fina analisados na forma de pó não orientado do Luvissolo crômico no horizonte b.



Para os picos de difração na Argila fina na Argissolo amarelo foram encontrados apenas os picos de caulinita 0.720 nm; a 0.358 nm; (Figura 16).

Figura 16 - DRX da fração argila fina analisados na forma de pó não orientado do Argissolo amarelo no horizonte b



Em todos os dois solos estudados foram verificados a presença de minerais 1:1 e 2:1, as caulinitas e as esmectitas.

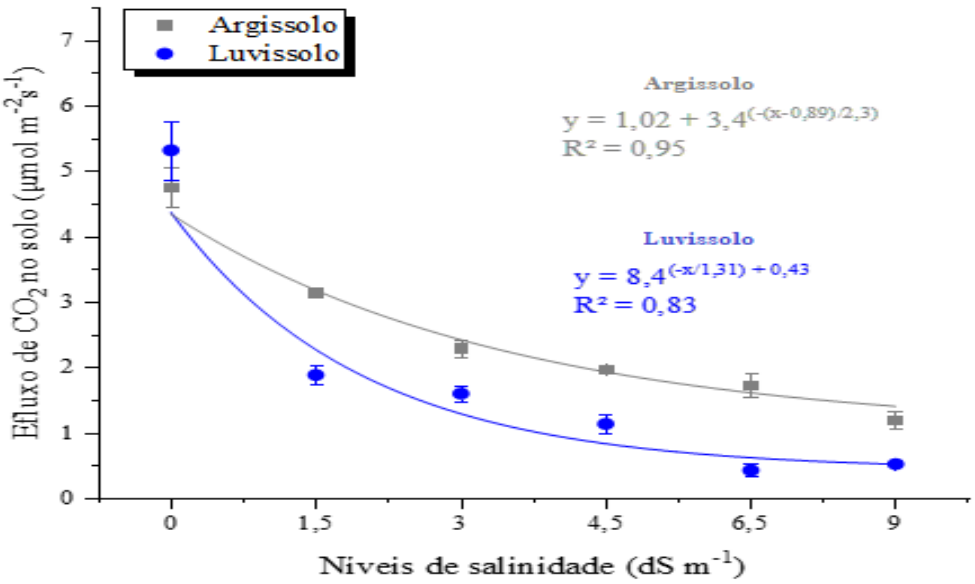
4.3.2 Condutividade do solo

Conforme os resultados, houve efeito significativo ($p<0,05$) isolado da salinidade (CE) da água, e efluxo de CO2 nos solos estudados.

4.3.3 Efluxo de CO_2

Os valores médios encontrados para o Efluxo de CO_2, foram de 2.51 $\mu molCO_2\ m^{-2}s^{-1}$ para o Argissolo amarelo e 1,81 $\mu molCO_2\ m^{-2}\ s^{-1}$ para o Luvissolo crômico, quanto maior o nível salino menor o efluxo de CO_2 em ambos solos estudados, isso pode indicar uma atenuação dos microrganismos presentes no solo e estão relacionados com as raízes, uma vez que um ambiente salinos as raízes não se desenvolvem , afetando diretamente a respiração, o que por consequência afeta a emissão de CO_2 no solos. Oliveira et al. (2017) trabalhando com Feijão-caupi observaram redução no efluxo de CO_2 com o aumento da CE da água de irrigação (Figura17).

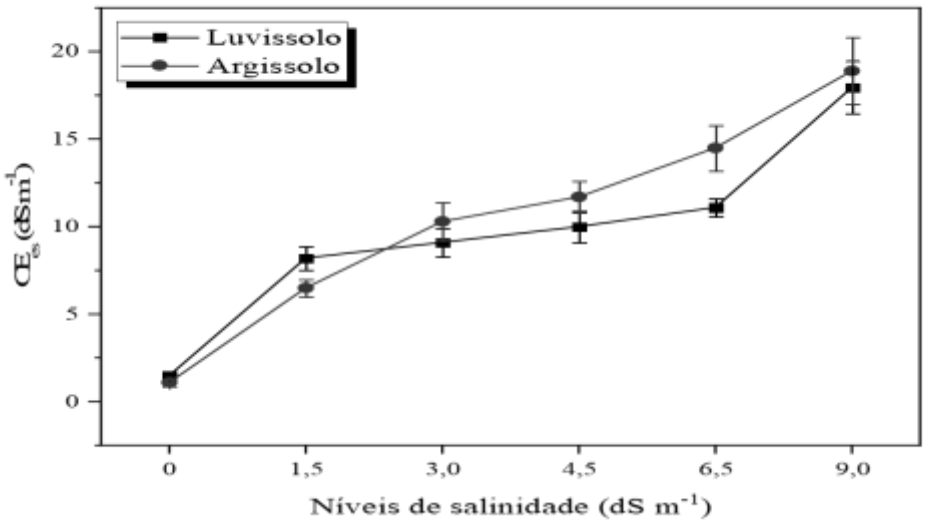
Figura 17 - Efluxo de CO_2 do solo em um Luvissolo Crômico e Argissolo Amarelo.



4.3.4 Potencial hidrogeniônico e condutividade elétrica do solo de plantas cultivadas em Argissolo amarelo e Luvissolo crômico

Como observado, não houve efeito significativo dos tratamentos salinos nas variáveis CE e pH em ambos os solos. Assim, os valores médios encontrados de CE se encontram na (Figura 18).

Figura-18 Valores de condutividade elétrica do extrato de saturação de Luvissolo e Argissolo ao final do experimento.



É importante notar que o valor médio de CE no Luvissolo foi bem maior que no Argisssolo, atribuindo tal resultado as características físicas especificas de ambos os solos. Tanto no Argissolo amarelo, quanto o Luvissolo crômico, possuem B textural bastante eminente, característica que contribui que água fique por mais tempo no horizonte e dificulte a sua infiltração. Baseados nesses valores de CE, esses solos ao fim do experimento foram classificados como salinos pela classificação de Richards (1954).

5 CONCLUSÕES

1. A mineralogia do solo interfere na precocidade dos efeitos da salinidade sobre as plantas de feijão-caupi quando irrigado com água salina;
2. Plantas cultivadas em solo com mineralogia 1:1 sofreram mais precocemente os efeitos dos sais, já no solo com mineralogia 2:1 no maior nível de concentração salino o efeito de estresse foi mais pronunciado.
3. As sinalizações das defesas antioxidantes foram evidencias pelas maior expressão da enzimas CAT, SOD e APX em alta salinidade da água.
4. Há acúmulo de sais na zona radículas no Argissolo amarelo e Luvissolo crômico durante o ciclo cultural, sendo necessário aplicação de laminas de manutenção para evitar os efeitos deletérios da água salina.
5. No Argissolo amarelo, e no Luvissolo crômico a diminuição do potencial osmótico foi linear.
6. A produtividade e a biomassa das plantas de Feijão-caupi foram afetadas em solos com mineraologia distintas irrigadas com águas salinas.
7. Os parâmetros fisiológicos do feijoeiro foram influenciados pela irrigação com águas salinas, nos solos com mineralogia 1:1 e 2:1.

6 REFERÊNCIAS

ABOGADALLAH, G. M.; SERAG, M. M.; QUICK, P. W. Fine and coarse regulation of reactive oxygen species in the salt tolerant mutants of barnyard grass and their wildtype parents under salt stress. **Physiologia Plantarum**, v. 138, p. 60-73, 2010. https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2009.01297.x

AKRAMI,M.;ARZANI,A. Physiological alterations due to feld salinity stress in melon (*Cucumis melo* L.). **Acta Physiologia e Plantarum**,v.40, n.91,p. 1-14,2018. https://doi.org/10.1007/s11738-018-2657-0

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande: UFPB, 1999. 218p.

BATES, L.S., WALDREN, R.P.; TEARE, I.D**. Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant Soil** 39, 205–207 (1973).

BROWN, G.; BRINDLEY, G.W. **X-ray Diffraction Procedures for clay mineral Identification**. In: BRINDLEY, G.W; BROWN, G. London, v. 5, p. 305-360, 1980.

CASTRO, F. C.; SANTOS, A. M. D. Salinidade do solo e risco de desertificação na região semiárida. **Mercator (Fortaleza)**, v. 19, 2020. https://doi.org/10.4215/rm2020.e19002

CAVALCANTI, F.J de A.; (Coord); **Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco: 2a. aproximação**. 3. ed. rev. Recife: Instituto Agronômico de Pernambuco, 2008. 212 p. il.

CHANCE, B.; MAEHLY, A.C.; **Assay of catalase and peroxidases**. Methods Enzymology, v.2, p.764-775, 1995.

CHURCHMAN, G.J.; SKJEMSTAD, J.O.; & OADES, J.M.; (1993**). Influence of clay minerals and organic matter on effects of sodicity on soils**. Australian Journal of Soil Research, 31(6), 779. https://doi.org/10.1016/j.clay.2021.106334

CONAB- Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**. v. 7 - Safra 2019/20 n.8 - Oitavo levantamento, maio 2020.
Costa, J. J. F.; Silva, E. B. D.; Coelho, F. F.; Tiecher, T.; Bissani, C. A.; & Filippi, D.; (2019). Atributos químicos relacionados à acidez e capacidade de troca de cátions de solos do Rio Grande do Sul com diferentes graus de intemperização. Acta Iguazu. Cascavel. Vol. 8, n. 2 (2019), p. 81-100.

COSTANTINI, E. A.; CASTALDINI, M.; DIAGO, M. P.; GIFFARD, B.; LAGOMARSINO, A.; SCHROERS, H. J.; PRIORI S.;VALBOA G.; AGNELLI A.E.; AKÇA, E., D'AVINO L.; FULCHIN E.; GAGNARLI E.; KIRAZ M.E.; KNAPIČ M.; PELENGIĆ R.; PELLEGRINI S.; PERRIA R.; PUCCIONI S.; SIMONI S.; TANGOLAR S.; TARDAGUILA J.; VIGNOZZI N.; ZOMBARDO A.; Effects of soil erosion on agro-ecosystem services and soil functions: A multidisciplinary study in nineteen organically farmed European and Turkish vineyards**. Journal of environmental management**, 223, 614-624. (2018). https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.06.065.

DOURADO, P..R.M.; DE SOUZA, E.R.; LINS, C.M.T.; DE MELO, H.F.; BENTZEN SANTOS, R.H.; MONTEIRO, D.R.; PAULINO M.K.S.S.; DE CARVALHO LEAL, L.Y.; (2019). Ajuste osmótico em plantas de feijão-caupi: interferência de métodos para estimar o potencial osmótico em turgor completo. **Fisiologia Vegetal e Bioquímica.**

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 212p, 1997.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Organization. And ITPS. **Status of the World's Soil Resources (SWSR)** – Main Report. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils, Rome, Italy. 2015.

FATEMI, F.; SEYYED, H.H.P.; GHORBANALI, N,; HOSSEIN A.; MOHAMMAD. R.A.; Exploiting differential gene expression to discover ionic and osmotic-associated transcripts in the halophyte grass Aeluropus littoralis. **Biological Procedures Online**, v. 21, p. 1-16, 2019. https://doi.org/10.1186/s12575-019-0103-3

FREIRE FILHO, F.R; RIBEIRO, V.Q; **Feijão-Caupi na Embrapa Meio-Norte : melhoramento, cultivares lançadas, genealogias e base genética.** Brasília, DF: Embrapa, 2023. 86 p.

GHAZALI, M.F.; WIKANTIKA, K.; HARTO, A.B.; KONDOH, A.; **Generating soil salinity, soil moisture, soil pH from satellite imagery and its analysis**. Info. Process. Agri. 7 (2), 294–306 (2020). https://doi.org/10.1016/j.inpa.2019.08.003.

GIANNOPOLITIS, C.N.; RIES, S.K.; **Superoxide dismutase**. I. Occurrence in higher plants. Plant Physiology, v.59, p.309-314, 1977.

GRIEVE, C.M.; GRATTAN, S.R.; **Rapid assay for determination of water-soluble quaternary ammonium compounds.** Plant Soil 70, 303–307 (1983).

GRIEVE, C.M.; S.R. GRATTAN; E.V. MAAS.; 2012. **Plant salt tolerance**. In: W.W. Wallender and K.K. Tanji (eds.) ASCE Manual and Reports on Engineering Practice No. 71 Agricultural Salinity Assessment and Management (2nd Edition). ASCE, Reston, VA. Chapter 13 pp:405-459.

HILLEL, D.; Soil in the Environment: Crucible of Terrestrial Life. **Academic Press**, 2007.320p.

J. K. MITCHELL; **Fundamentals of soil behavior.** John Wiley & Sons, Inc., 2nd Ed., New York (1992) p.437.

JACKSON, M. L.; **Soil chemical analysis: advance Course.** 29. Ed, Madison, p. 362-390, 1975.

JÁCOME, A. G.; FERNANDES, P. D.; GHEYI, H. R.; GONÇALVES, A. C.; SILVA, F. F. D.; Avaliação de genótipos de algodoeiro sob níveis de salinidade da água de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,** v. 9, p. 365-369, 2005. https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v9nsupp365-369

JUNIOR, F. D. A. G.; WILLADINO, L. G.; MOURA, C. S.; DA SILVA PEREIRA, B. L.; DOS SANTOS, M. R.; Parâmetros fisiológicos e de crescimento da cana-de-açúcar sob irrigação parcial e plena, submetida a diferentes níveis de salinidade. **Extensão Rural: práticas e pesquisas para o fortalecimento da agricultura familiar,** v.2, p. 277-289, 2021.

KIRKHAM, M. B.; Principles of soil and plant water relations. **Academic Press**, 1 ed, 2004,520p.

LARCHER, W.; **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: ed. Rima Artes e Textos, 2000. 531p

LEITE, N.G.A.; **Caracterização proteica do estresse salino em Feijão-caupi** [*Vigna unguiculata* **(**L.) Walp.] / Nathália Gabrielle de Araújo Leite-Tese Doutorado)– Universidade Federal de Pernambuco. Centro de Biociências. Ciências Biológicas, 2017. Recife:2017.

LICHTENTHALER, H. K.; BUSCHMANN, C.; KNAPP,M.; **How to correctly determine the different chlorophyll fluorescence parameters and the chlorophyll fluorescence decrease ratio RFd of leaves with the PAM fluorometer.** Photosynthetica, v. 43, n. 03, p. 379- 393, 2005.

LIMA, E. A.; SARAIVA, L. F. M.; OLIVEIRA, M. S. C.; MENDES, L. L. C.; CARNEIRO, M. T. A.; DE ANDRADE, R. D. L.; & DE PAULA, F. M.; Atividade das enzimas SOD, CAT e APX e metabolismo dos lipídeos de membranas em dois cultivares de feijão-de-corda (Vigna unguiculata L. Walp) em condições de estresse salino. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 5, p. 48471-48488, 2021.

LO'AY, A. A.; EL-EZZ, S. F. A.; Performance of "Flame seedless" grapevines grown on different rootstocks in response to soil salinity stress. **Scientia Horticulturae**, v. 275, n. 1, p. 109704, 2021. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109704

MAAS, E. V.; HOFFMAN, G. J.; Crop salt tolerance - Current assessment. **Journal of Irrigation and Drainage Division**, v.103, p.115-134. 1977.

MARTÍ, C. M.; CAMEJO, D.; GARCÍA-FERNÁNDEZ, N.; ÁLVEREZ-RELLÁN, R.; MARQUES, S.; SEVILLA, F.; JIMÉNEZ, A.; Effect of oil refinery sludges on the growth and antioxidant system of alfalfa plants. **Journal of Hazardous Materials**, v. 171, p. 879-885, 2009.

MEDEIROS, J. F. DE; **Qualidade da água de irrigação utilizada nas propriedades assistidas pelo "GAT" nos Estados do RN, PB, CE e avaliação da salinidade dos solos.** Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande: UFPB, 1992. 173p. Dissertação Mestrado.

MEDEIROS, J. F.; LISBOA, R. A.; OLIVEIRA, M. SILVA JÚNIOR, M. J.; ALVES, L. P.; Caracterização das águas subterrâneas usadas para irrigação na área produtora de melão da Chapada do Apodi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.3, p.469-472, 2003.

MELO, H.F; SOUZA, E.R; DOURADO, P.R.M; LINS, C.M.T; SANTOS, H.R.B; MONTEIRO, D.R; PAULINO, M.K.S.S; ALMEIDA, B.G; SANTOS, M.A; **Comparison of water and osmotic potentials on Vigna unguiculata stress response.** Rev Bras Cienc Solo. 2020;44:e0200070. https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20200070

MOORE, D. M.; REYNOLDS, R. C.; **X-ray diffraction and identification and analysis of clay minerais.** Oxford: Oxford University Press, 1989.

MUNNS, R.; TESTER, M.; - **Mechanisms of salinity tolerance.** Annual Review of Plant Biology, vol. 59, p. 651-681. 2008.

NAKANO, Y.; ASADA, K.; **Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts.** Plant Cell Physiology, v.22, p.867-880, 1981.

OLIVEIRA, W. J. D.; SOUZA, E. R. D.; ALMEIDA, B. G. D.; SILVA, Ê. F. D. F.; MELO, H. F. D.; & LEAL, L. Y.; (2016).. Soil water energetic status and cowpea beans irrigated with saline water. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, p. 685-691, 2016.

OLIVEIRA, W. J. D.; SOUZA, E. R. D.; CUNHA, J. C.; SILVA, E. F. F.; VELOSO, V. D. L.; Leaf gas exchange in cowpea and CO2 efflux in soil irrigated with saline water. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 1, p. 32-37, 2017.

POMPEIANO, A.; LANDI, M.; MELONI, G.; VITA, F.; GUGLIELMINETTI, L.; GUIDI, L.; Allocation pattern, ion partitioning, and chlorophyll *a* fluorescence in *Arundo donax* L. in responses to salinity stress. **Plant Biosystems**, v. 151, v. 4, p. 613-622, 2016.

RIBEIRO, M. R. et al.; **Origem e classificação dos solos afetados por sais**. In: GHEY, H. R. et al. **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**. 2a ed. Fortaleza: INCTSal, 2016. 504 p.

RICHARDS, L. A.; **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington: US Department of Agriculture, 1954.

RODRIGUES, R.A.S.; Pedogênese. Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2018. 264 p. **Ciência do solo : Morfologia e gênese**, 2018, 264 p.

RUTO, E.; GOULD, I.; Bosworth, G., Wright, I., 2018. The State, **Causes and Impact of Soil Salinization: a Global Overview**. SALFAR Work Package 3 Baseline January 2018 Report. Lincoln.

SÁ, F. V.; GHEYI, H. R.; LIMA, G. S.; PAIVA, E. P.; SILVA, L. A.; MOREIRA, R. C. L.; DIAS, A. S.; Ecophysiology of West Indian cherry irrigated with saline water under phosphorus and nitrogen doses. **Bioscience Journal**, v. 35, n. 1, p. 211-221, 2019.

SANTOS, A. S.; LOPES, K. P.; RODRIGUES, M. H. B. S.; LIMÃO, M. A. R.; BARBOSA, L. S.; Potencial da técnica do osmocondicionamento de sementes como estratégia para minimizar os efeitos da salinidade. **Meio ambiente**, v. 2, n. 2, p. 56-61 2020.

SATYAWATI, S.; **Salt stress and phytobiochemical responses of plants – a review.** Plant Soil Environmental, v. 54, p. 89-99, 2008.

SCHOLLANDER, R. F.; HAMELL. H. T.; BRADSTREET, E. D.; & HEMMINGSEN, E. A.; **Sap pressure in vascular plants**. Science, 148: 339-346, 1965.

SILVA D, N; FAVARO B, F; SOUZA, E; FERREIRA, J.F.S.; NETO, O; QUEIROZ, I. (2016). Efeitos dos sais na planta e tolerância das culturas à salinidade. **Efeitos dos sais na planta e tolerância das culturas à salinidade**. In: GHEY, H. R. et al. (Eds.). Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados. 2a ed. Fortaleza: INCTSal, 2016. p. 504.

SILVA JÚNIOR, E. G.; SILVA, A. F.; LIMA, J. S.; SILVA, M. F. C.; MAIA, J. M.; Vegetative development and content of calcium, potassium, and sodium in watermelon under salinity stress on organic substrates. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 5, n. 12, p. 1149-1157, 2017.

SILVEIRA, J. A. G.; VIÉGAS, R. A.; ROCHA, I. M. A.; MOREIRA, A. C. D. M.; OLIVEIRA, J. T. A.; Proline accumulation and glutamine synthetase activity are increased by salt-induced proteolysis in cashew leaves**. Journal of Plant Physiology**, v. 160, p. 115-123, 2003.

SILVEIRA, J. A.; SILVA, S. L.; SILVA, E. N.; & VIÉGAS, R. A.; **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**, v. 1, p. 161-18, 2010.

SOARES, L. A.; MEDEIROS, T. L. F.; COLMAN, V. C. G.; DE SOUSA PALMEIRA, I. V.; DA SILVA, I. J.; & MOREIRA, R. C. L.; (2021). Estratégias de irrigação com déficit hídrico nos estádios fenológicos do feijão-caupi sob adubação potássica. **Irriga**, 26(1), 111-122.

SOUSA, A. B. O.; DUARTE, S. N.; SOUSA NETO, O. N.; SOUZA, A. C. M.; SAMPAIO, P. R. F.; DIAS, C. T.; Production and quality of mini watermelon cv. Smile irrigated with saline water. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambienta**l, v. 20, n. 10, p. 897-902, 2016.

SOUSA, B. E. L.;SOUSA, G. G.; DE MENDONÇA, A.; DE M.; SANTOS, M. F.; SILVA JUNIOR, F. B.; DA, & MORAES, J. G. L.; (2021). Irrigação com água salina e uso de substratos na cultura do feijão-caupi. Nativa, 9(1), 86-91. https://doi.org/10.31413/nativa.v9i1.9820

SOUZA, E.R.; FREIRE, M.B.G.S; CUNHA, K. P. V.; NASCIMENTO, C. W.A.; RUIZ, H.A., LINS, C. T.; Biomass, anatomical changes and osmotic potential in *Atriplex nummularia* Lindl. cultivated in sodic saline soil under water stress. **Environmental and Experimental Botany**, v.82, p. 20-27, 2012. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2012.03.007

SOUZA, J. C. G.; FONSÊCA, G. R. F.; SANTOS, W. R.; NASCIMENTO, A. B.; CORDEIRO, L. R. B. A.; PURIFICAÇÃO, I. A.; DE SOUZA, E. J. O.; Crescimento e produtividade em cultivares de alface submetida à irrigação com diferentes níveis de salinidade. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 11, p., 2022. https://doi.org/10.33448/rsd-v11i11.33505

SOUZA, L. DE P.; SANTOS, C. E. DE R. E S.; SIMÕES, A. N.; AVIZ, R. O. DE; SILVA, N. S. G. DA; FREITAS, A. D. S. DE; STAMFORD, N. P.; SILVA, V. S. G. DA.; Productivity and induction of antioxidant enzymes in cowpea (*Vigna unguiculata*) irrigated with saline water and inoculated with Bradyrhizobium. Research, Society and Development, [S. l.], v. 11, n. 5, p., 2022. https://doi.org/10.33448/rsd-v11i5.28433

SOUZA, P. J. D. O. P. D.; FERREIRA, D. P.; SOUSA, D. D. P.; NUNES, H. G. G. C.; BARBOSA, A. V. C. (2020). Trocas gasosas do feijão-caupi cultivado no Nordeste Paraense em resposta à deficiência hídrica forçada durante a fase reprodutiva. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 35, 13-22. https://doi.org/10.1590/0102-7786351029

STEELE, W.M.; MEHRA, K.L.; **Structure, evolution and adaptation to farming systems and environment in Vigna**. In: SUMMERFIELD, R.J. & BUNTING, A.H., eds. Advances in Legume Science. England, Royal Botanic Gardens, 1980. p.459-68

SUDENE - Superintendência do desenvolvimento do nordeste -**Delimitação do semiárido – 2021**/Relatório final. 272p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artemed, 2013. 888p.
TIMKO, M. P.; EHLERS, J. D.; ROBERTS, P. A. 2007.**Cowpea: pulses, sugar and tuber crops.**

WANG, P.; LI, X.; TIAN, L.; GU, Z.; & YANG, R.; (2018). Low salinity promotes the growth of broccoli sprouts by regulating hormonal homeostasis and photosynthesis. **Horticulture Environment and Biotechnology,** 60(1), 19-30. https://doi.org/10.1007/s13580-018-0095-y

WESTGATE, M. E.; Water status and development of the maize endosperm and embryo during drought. **Crop Science, Madison**, v. 34, n. 1, p. 76-83, 1994. https://doi.org/10.2135/cropsci1994.0011183X003400010014x

WINDER, A. R.S.; **Lâminas de Irrigação na cultura da Rúcula no cerrado**. Tese de Doutorado, 2018.