



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM HORTICULTURA
TROPICAL**

ELIENE ARAÚJO FERNADES

**ADUBAÇÃO POTÁSSICA COMO ATENUANTE DO
ESTRESSE SALINO NO CULTIVO DE PINHEIRA**

POMBAL-PB

2020

ELIENE ARAÚJO FERNANDES

**ADUBAÇÃO POTÁSSICA COMO ATENUANTE DO
ESTRESSE SALINO NO CULTIVO DE PINHEIRA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de
Campina Grande, como parte das exigências do
programa de Pós-Graduação em Horticultura
Tropical, para obtenção do título de mestre.

Orientadores: Prof^ª. D.Sc. Lauriane Almeida dos Anjos Soares

Prof. D.Sc. Geovani Soares de Lima

POMBAL-PB

2020

F363a Fernandes, Eliene Araújo.

Adubação potássica como atenuante do estresse salino no cultivo de pinheira / Eliene Araújo Fernandes. – Pombal, 2021.

81 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Horticultura Tropical) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, 2020.

“Orientação: Profa. Dra. Lauriane Almeida dos Anjos Soares; Prof. Dr. Geovani Soares de Lima”.

Referências.

1. Pinheira. 2. Salinidade. 3. Nutrição mineral. 4. *Annona squamosa* L. I. Soares, Lauriane Almeida dos Anjos. II. Lima, Geovani Soares de. III. Título.

CDU 634.41(043)

ELIENE ARAÚJO FERNANDES

**ADUBAÇÃO POTÁSSICA COMO ATENUANTE DO
ESTRESSE SALINO NO CULTIVO DE PINHEIRA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de
Campina Grande, como parte das exigências do
programa de Pós-Graduação em Horticultura
Tropical, para obtenção do título de mestre.

Aprovada em: 30 de Julho de 2020.

Lauriane Almeida dos Anjos Soares

Prof^a. DSc. Lauriane Almeida dos Anjos Soares
(UFCG-CCTA-UAGRA)
Orientadora

Geovani Soares de Lima

Prof. DSc. Geovani Soares de Lima
(UFCG-CCTA-UAGRA)
2º Orientador

Reginaldo Gomes Nobre

Prof. D.Sc. Reginaldo Gomes Nobre
DCT/UFERSA
Examinador

Leandro de Pádua Souza

D.Sc. Leandro de Pádua Souza
CTRN/UFCG
Examinador

*A Deus, pelo Seu infinito amor,
aos meus pais, Joana e Francisco;
e aos meus irmãos Eliane e Fernando pelo apoio e carinho.*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo da vida e Sua presença constante na minha vida e nas realizações dos meus sonhos;

À Universidade Federal de Campina Grande e ao Programa de Pós-Graduação em Horticultura Tropical, pela oportunidade e ensinamentos;

A minha orientadora, Prof. Dra. Lauriane Almeida dos Anjos Soares, pela orientação, estímulo, paciência e confiança durante a realização dessa e outras pesquisas;

A meu orientador, Prof. Dr. Geovani Soares de Lima, pelas suas sábias orientações, estímulo e confiança durante a realização do mestrado;

A Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos;

A Universidade Federal de Campina Grande (UFCG/CCTA), em especial a Fazenda Experimental Rolando Rivas Castellon pelo fornecimento da estrutura para desenvolvimento da pesquisa;

Ao Prof. Dr. Reginaldo Gomes Nobre e o Dr. Leandro de Pádua Souza por se disporem à avaliação do trabalho e sugestões para sua melhoria;

Aos meus pais, em especial a minha mãe Joana Araújo por sempre me incentivar nos momentos mais difíceis, obrigada por ser meu alicerce. Amo vocês!

Aos meus irmãos Eliane Araújo e Fernando da Silva pelo apoio nos momentos défcies, e conselhos durante toda minha vida;

A minha amiga/irmã Mayara Denise e minha cunhada Luma Sousa que sempre se fizeram presentes com seus valiosos conselhos e ajuda durante todo esse processo, obrigada pela amizade e companheirismo;

Aos professores e Servidores do Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar do Programa de Pós-Graduação em Horticultura Tropical, pelo apoio, simplicidade, amizade e ensinamentos repassados;

Aos amigos e colegas da pós-graduação e da equipe de pesquisa Alzira Neta, Iara Roque, Rômulo Carantino e Luderlândio de Andrade pela amizade, companheirismo e atuação fundamental para a conclusão deste trabalho;

A todos aqueles que estiveram presentes e colaboraram direta ou indiretamente para o cumprimento desta etapa da minha vida. Um grande abraço!

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I. Pigmentos fotossintéticos, eficiência fotoquímica e crescimento da pinheira sob estresse salino e doses de potássio.

FIGURA 1. Teores de clorofila *a* – Cl *a* (A), total – Cl *T* (B) e carotenoides - Car (C) de plantas de pinheira cultivadas com águas salinas – CEa e teores de clorofila *b* – Cl *b* (D) em função da interação entre os fatores níveis de CEa e doses de potássio, aos 210 dias após o transplântio.....49

FIGURA 2. Fluorescência inicial – Fo (A), variável – Fv (B), máxima – Fm (C) e eficiência quântica do fotossistema II - Fv/Fm (D) de plantas de pinheira cultivadas com águas salinas – CEa, aos 210 dias após o transplântio..... 52

FIGURA 3. Taxa de crescimento absoluto – TCADC (A) e relativo – TCRDC (B) do diâmetro de caule das plantas de pinheira em função da interação entre os níveis de salinidade da água - CEa e doses de potássio, no período de 151-245 dias após o transplântio..... 54

CAPÍTULO II. Dano celular, trocas gasosas e crescimento da pinheira irrigada com águas salinas e adubação potássica.

FIGURA 1. Dano celular (A) e conteúdo relativo de água – CRA (B) das plantas de pinheira em função das doses de potássio e déficit de saturação hídrica – DSH (C) em função da interação entre os fatores níveis de CEa e doses de potássio, aos 210 dias após o transplântio.....69

FIGURA 2. Condutância estomática – *g_s* (A) e transpiração – *E* (B) das plantas de pinheira em função interação entre os fatores níveis de salinidade da água – CEa e doses de potássio, aos 210 dias após o transplântio.....71

FIGURA 3. Concentração interna de CO₂ – *C_i* (A) das plantas de pinheira em função dos níveis de salinidade da água – CEa e taxa de assimilação de CO₂ – *A* (B) e eficiência instantânea de carboxilação - *E_iC_i* (C) em função da interação entre os fatores níveis de CEa e doses de potássio, aos 210 dias após o transplântio.....72

FIGURA 4. Diâmetro de caule (A), aos 179 e 210 dias após o transplântio (DAT) em função dos níveis de salinidade da água - CEa e diâmetro de caule (B) das plantas de pinheira aos 245 DAT, em função da interação entre os fatores níveis de CEa e doses de potássio.....75

FIGURA 5. Número de folhas (A), aos 179,210 e 245 DAT em função dos níveis de salinidade da água - CEa e taxa de taxa de crescimento relativo em diâmetro de caule - TCR_{DC} (B) das plantas de pinheira no período de 179 a 245 DAT, em função da interação entre os fatores níveis de CEa e doses de potássio.....76

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I. Pigmentos fotossintéticos, eficiência fotoquímica e crescimento da pinheira sob estresse salino e doses de potássio.

TABELA 1. Características químicas e físicas do solo utilizado no experimento, antes da aplicação dos tratamentos.....41

TABELA 2. Resumo da análise de variância para os teores de clorofila *a* (Cl *a*), *b* (Cl *b*), carotenoides (Car) e total (Cl *T*) de plantas de pinheira cultivadas com águas salinas e doses de potássio, aos 210 dias após o transplântio.....47

TABELA 3. Resumo da análise de variância para fluorescência inicial (F_o), variável (F_v), máxima (F_m) e eficiência quântica do fotossistema II (F_v/F_m), aos 210 dias após o transplântio (DAT) e taxa de crescimento absoluto (TCA_{DC}) e relativo do diâmetro de caule (TCR_{DC}) no período de 151-245 DAT das plantas de pinheira cultivadas com águas salinas e doses de potássio.....51

CAPÍTULO II. Dano celular, trocas gasosas e crescimento da pinheira irrigada com águas salinas e adubação potássica.

TABELA 1. Características químicas e físicas do solo utilizado no experimento, antes da aplicação dos tratamentos.....64

TABELA 2. Resumo da análise de variância para o percentual de dano celular (%D), o conteúdo relativo de água (CRA), o déficit de saturação hídrica (DSH), a condutância estomática (*g_s*), a transpiração (*E*), a concentração interna de CO₂ (*C_i*), a taxa de assimilação de CO₂ (*A*) e a eficiência instantânea da carboxilação (*E_iC_i*) da pinheira cultivada com águas salinas e doses de potássio, aos 210 dias após o transplântio (DAT).....67

TABELA 3. Resumo do teste de análise de variância para o diâmetro de caule (DC) e número de folhas (NF) aos 179, 210 e 245 dias após o transplântio (DAT) e a taxa de crescimento relativo em diâmetro de caule (TCR_{DC}) no período de 179 a 245 DAT da pinheira cultivada com águas salinas e doses de potássio.....74

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	6
LISTA DE TABELAS	7
RESUMO GERAL	10
GENERAL ABSTRACT	11
1.INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVOS	14
2.1 Geral.....	14
2.2 Específicos.....	14
3.REVISÃO BIBLIOGRAFICA	15
3.1 Aspectos gerais sobre a cultura da pinheira.....	15
3.2 Qualidade da água de irrigação.....	17
3.3 Efeitos dos sais sobre as plantas e solo	18
3.4 Salinidade em pinheira	20
3.5 Adubação potássica como atenuadora do estresse salino	21
4. MATERIAL E MÉTODOS	21
4.1 Localização da área experimental	23
4.2 Delineamento experimental e tratamentos.....	23
4.3. Unidade experimental.....	23
4.4. Manejo da irrigação.....	25
4.5. Adubação.....	25
4.6. Tratos culturais e fitossanitários.....	26
4.7. Variáveis analisadas	26
4.7.1 Variáveis de crescimento.....	26
4.8 Parâmetros fisiológicos.....	27
5. ANÁLISE ESTATÍSTICA	29
6. REFERENCIAS	31
CAPITULO I: pigmentos fotossintéticos, eficiência fotoquímica e crescimento da pinheira sob estresse salino e doses de potássio	40
INTRODUÇÃO	42
MATERIAL E MÉTODOS	43
RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
CONCLUSÕES	55
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56
CAPITULO II: Dano celular, trocas gasosas e crescimento da pinheira irrigada com águas salinas e adubação potássica	61
INTRODUÇÃO	63
MATERIAL E MÉTODOS	64

RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	68
CONCLUSÕES.....	78
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79

RESUMO GERAL

FERNANDES, Eliene Araújo. **Adubação potássica como atenuante do estresse salino no cultivo de pinheira**. 2020. 83f. Dissertação (Mestrado em Horticultura Tropical) - Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, PB.¹

A pinheira destaca-se entre as Anonáceas devido ao sabor marcante e seu valor nutricional, o que justifica a necessidade de expansão das áreas cultivadas, principalmente na região Nordeste, onde os problemas de salinidade da água são frequentes. Uma das alternativas para minimizar os efeitos deletérios do estresse salino às plantas é a adoção de práticas de manejo de adubação mineral com potássio, promovendo um aumento na tolerância da cultura aos sais. Deste modo, objetivou-se com esse trabalho avaliar o crescimento, o estado hídrico e a fisiologia da pinheira quando submetida à irrigação com águas salinas e adubação potássica. O experimento foi desenvolvido em condições de campo, em lisímetros de drenagem; o delineamento foi em blocos casualizados, arranjados em esquema fatorial 2 x 5, cujos os tratamentos resultaram da combinação entre dois níveis de condutividade elétrica da água de irrigação - CEa (1,3 e 4,0 dS m⁻¹) e cinco doses de potássio (K1 - 50%, K2 - 75%, K3 - 100%, K4 - 125% e K5 - 150%), com quatro repetições. As plantas de pinheira foram avaliadas quanto ao crescimento e a sua fisiologia. A salinidade da água de 4,0 dS m⁻¹ reduziu a síntese de clorofila *a*, total e carotenoides nas plantas de pinheira, aos 210 dias após o transplantio. Adubação com doses de 50 a 150% da recomendação de K₂O inibiu a síntese de clorofila *b* nas plantas de pinheira irrigadas com água de 4,0 dS m⁻¹. A redução na eficiência quântica do fotossistema II nas plantas de pinheira cultivadas sob salinidade da água de 4,0 dS m⁻¹ está relacionada aos danos fotoinibitórios no fotossistema II. A adubação potássica não amenizou o estresse causado pela salinidade da água de 4,0 dS m⁻¹ no crescimento das plantas de pinheira, no período de 151-245 dias após o transplantio. A salinidade da água de 4,0 dS m⁻¹ afeta de forma negativa o crescimento em diâmetro de caule e o número de folhas da pinheira, aos 179 e 210 dias após o transplantio. Doses de potássio de até 150 mg K₂O kg⁻¹ de solo resultou em maior percentual de dano celular e conteúdo relativo de água nos tecidos foliares da pinheira, aos 210 dias após o transplantio. Já o déficit de saturação hídrica diminuiu com o aumento nas doses de K₂O nas plantas irrigadas com água de 1,3 dS m⁻¹. As plantas submetidas à salinidade da água de 1,3 dS m⁻¹ e doses estimadas de K₂O variando de 88 a 108% resultou em incremento na condutância estomática, transpiração, taxa de assimilação de CO₂ e eficiência instantânea de carboxilação das plantas de pinheira, aos 210 dias após o transplantio. O maior crescimento relativo em diâmetro de caule da pinheira no período de 179-245 dias após o transplantio foi obtido nas plantas irrigadas com água de 4,0 dS m⁻¹ e adubação com 99% da recomendação de K₂O.

Palavras-chaves: *Annona squamosa* L., salinidade, nutrição mineral.

¹Orientadora: Prof^ª. DSc. Lauriane Almeida dos Anjos Soares, CCTA/UFCG.

¹Orientador: Prof^º. DSc. Geovani Soares de Lima, CCTA/UFCG.

GENERAL ABSTRACT

FERNANDES, Eliene Araújo. **Potassium fertilization as an attenuant to saline stress in the cultivation of pine.** 2020. 83f. Dissertation (Master in Tropical Horticulture) - Federal University of Campina Grande, Pombal, PB¹.

The pine tree stands out among the Anonáceas due to the striking flavor and its nutritional value, which justifies the need for expansion of cultivated areas, especially in the Northeast region, where water salinity problems are frequent. One of the alternatives to minimize the deleterious effects of salt stress on plants is the adoption of potassium mineral fertilizer management practices, promoting an increase in crop tolerance to salts. Thus, the aim of this work was to evaluate the growth, water status and physiology of the pine tree when subjected to irrigation with saline water and potassium fertilization. The experiment was carried out under field conditions, in drainage lysimeters; the design was in randomized blocks, arranged in a 2 x 5 factorial scheme, whose treatments resulted from the combination of two levels of electrical conductivity of the irrigation water - CEa (1.3 and 4.0 dS m⁻¹) and five doses of potassium (K1 - 50%, K2 - 75%, K3 - 100%, K4 - 125% and K5 - 150%), with four repetitions. Pine plants were evaluated for growth and physiology. The water salinity of 4.0 dS m⁻¹ reduced the synthesis of chlorophyll *a*, total and carotenoids in pine plants, 210 days after transplanting. Fertilization with doses of 50 to 150% of the K₂O recommendation inhibited chlorophyll *b* synthesis in pine plants irrigated with 4.0 dS m⁻¹ water. The reduction in the quantum efficiency of photosystem II in pine plants grown under 4.0 dS m⁻¹ salinity is related to photoinhibitory damage in photosystem II. Potassium fertilization did not alleviate the stress caused by water salinity of 4.0 dS m⁻¹ in the growth of pine plants, in the period of 151-245 days after transplanting. The water salinity of 4.0 dS m⁻¹ negatively affects the growth in stem diameter and the number of leaves of the pine tree, at 179 and 210 days after transplanting. Potassium doses of up to 150 mg K₂O kg⁻¹ of soil resulted in a higher percentage of cell damage and relative water content in the leaf tissues of the pine tree, 210 days after transplanting. The deficit in water saturation decreases with the increase in K₂O doses in plants irrigated with water of 1.3 dS m⁻¹. Plants subjected to water salinity of 1.3 dS m⁻¹ and estimated doses of K₂O ranging from 88 to 108% resulted in an increase in stomatal conductance, transpiration, CO₂ assimilation rate and instant carboxylation efficiency of pine plants, 210 days after transplanting. The greatest relative growth in pine stem diameter in the period of 179-245 days after transplanting was obtained in plants irrigated with water of 4.0 dS m⁻¹ and fertilization with 99% of the K₂O recommendation.

Keywords: *Annona squamosa* L., salinity, mineral nutrition.

¹Orientadora: Prof^ª. DSc. Lauriane Almeida dos Anjos Soares, CCTA / UFCG.

¹Orientador: Prof^º. DSc. Geovani Soares de Lima, CCTA/UFCG.

1. INTRODUÇÃO

A pinheira (*Annona squamosa* L.) é uma fruteira tropical popularmente conhecida como ata ou fruta-do-conde, pertence à família Annonaceae e vem se destacando devido ao sabor marcante e seu valor nutricional (LEMOS, 2014). No Brasil, a região Nordeste apresenta-se como a principal produtora de pinha, com mais de 94% de a área cultivada no país, apresentando uma produtividade média de 5,0 toneladas por hectares ao ano sob condições irrigadas (SÃO JOSÉ et al., 2014).

Entretanto, nessa região é caracterizado por períodos prolongados de seca e irregularidade anuais das chuvas, ocasionando déficit hídrico as plantas, pois as taxas de evaporação excedem as chuvas na maior parte do ano, situação que favorece a ocorrência de fontes de água com elevada concentração de sais, principalmente sódio, resultando em restrições para o uso na agricultura (NEVES et al., 2009; MEHDI-TOUNSI et al., 2017). Os efeitos da salinidade sobre plantas são atribuídos à redução do potencial osmótico, à ação iônica específica de íons e ao desequilíbrio nutricional e hormonal (MUNNS; TESTER, 2008; SÁ et al., 2015).

Nas plantas cultivadas, os efeitos da salinidade afetam diferentes processos fisiológicos e metabólicos tais como distúrbios na permeabilidade das membranas celulares; alterações na condutância estomática; eficiência quântica do fotossistema II; taxa de assimilação de CO₂ e desbalanço nutricional, independentemente da natureza dos sais (SILVA et al., 2014; LIMA et al., 2015). O excesso de sais absorvidos pelas plantas eleva ao aumento da pressão osmótica no citosol, sob essas condições, a homeostase celular é mantida por um mecanismo de ajustamento osmótico que consiste na exclusão de íons por meio da compartimentação na célula ou acumulação nos compartimentos intracelulares, como os vacúolos, além da síntese de compostos orgânicos (KOSOVÁ et al., 2013).

Neste sentido, as plantas desenvolveram mecanismos para resistirem as condições de estresse, evidências apontam que entre os nutrientes minerais, particularmente o potássio, desempenham um papel fundamental na resistência das plantas ao estresse salino. Essa tolerância à salinidade está diretamente associada ao conteúdo de K⁺ devido ao seu envolvimento na regulação osmótica e na competição com Na⁺ (CAKMAK, 2005; MARSCHNER, 2012). Além disso, o potássio é responsável por vários processos metabólicos, como estabilização da síntese proteica, ativação de enzimas envolvidas na

respiração e transpiração, regulação dos processos de abertura e fechamentos dos estômatos, além do transporte de carboidratos (MAATHUIS, 2014).

No entanto, há uma carência de estudos sobre o manejo de águas salinas associadas à adubação potássica na cultura da pinheira em condições semiáridas, uma vez que o fornecimento de K^+ em concentração adequada pode reduzir a relação Na^+/K^+ , promovendo o restabelecimento do equilíbrio nutricional e mitigação dos efeitos tóxicos do íon Na^+ , refletindo em maior tolerância das plantas aos efeitos dos sais (BLANCO et al., 2008).

2. OBJETIVOS

2.1 Geral

Avaliar o crescimento, o estado hídrico e a fisiologia da pinheira quando submetida à irrigação com águas salinas e adubação potássica.

2.2 Específicos

Mensurar os efeitos da irrigação com água salina associada à adubação potássica sobre o crescimento da pinheira;

Analisar as alterações fisiológicas através das trocas gasosas e pigmentos fotossintéticos em função do uso da irrigação com água salina e adubação potássica;

Determinar o percentual de eletrólitos na membrana, e o teor relativo de água da pinheira irrigada com águas salinas e a adubação potássica;

Identificar a dose de adubação potássica, assim como, a interação da mesma com a salinidade da água de irrigação que contribua com o cultivo da pinheira.

3. REVISÃO BIBLIOGRAFICA

3.1 Aspectos gerais sobre a cultura da pinheira

A pinheira *Annona squamosa* L. é uma espécie pertencente à família Annonaceae, originária possivelmente da América Central, disseminando-se para o México, América do Sul, Caribe entre os séculos XVI e XVII (PINTO et al., 2005; JAPTAP; BAPAT, 2018). No Brasil, foi introduzida no ano de 1626 pelo Conde de Miranda dando origem a um dos seus nomes fruta do conde (LIMA, 2013).

É uma árvore de porte pequeno a médio, que apresenta altura com 4 a 8 metros, bastante ramifica (MAINASARA et al., 2018). As folhas são simples alternas e lanceoladas, de coloração verde brilhante na parte superior e verde azulada na parte inferior (SILVA et al., 2020) As flores são hermafroditas, axilares, com cálice e corola carnosos, de coloração clara com odores fortes e desagradáveis. A antese é crepuscular, iniciando por volta das 17 horas e a duração das flores é de aproximadamente dois dias. As flores se apresentam em fase feminina nas primeiras 20 horas e em fase masculina nas 20 horas seguintes, caracterizando a dicogamia (KIILL; COSTA, 2003).

O fruto é do tipo sincarpo arredondado, ovóide, esférico ou cordiforme, com dimensões de 6 a 10 cm de diâmetro, que pesam entre 100 e 230 g formado por carpelos bastante destacados, cobertos externamente por uma saliência achatada em forma de tubérculos regularmente expostos. A polpa dos frutos é branca, doce e aromática, recobrendo um grande número de sementes escuras e brilhantes (NRCS, 2008; MAINASARA et al., 2018).

As regiões preferenciais para o cultivo da pinheira estão localizadas em zonas quentes ou semiáridas com temperaturas entre 23 e 34 °C com acentuado déficit hídrico na maior parte do ano (SÃO JOSÉ, 2014). Tais condições climáticas produzem estresse às plantas que respondem muito bem com uma série de adaptações que incluem fechamento estomático, proteção cerosa das folhas, abscisão foliar e sistema radicular profundo. De maneira geral, mesmo com todas essas adaptações o estresse hídrico prolongado promove uma redução na taxa de crescimento vegetativo das plantas (PELOSO et al., 2017; OLIVEIRA et al., 2020). Além de redução na percentagem de frutificação, tamanho dos frutos e redução na produtividade (LEDERMAN, 2019).

As anonáceas são consideradas de fácil adaptabilidade a diferentes condições edafoclimáticas, apresentando bons índices de produtividade sendo cultivadas em

diversas partes do mundo. Os principais países produtores dessa fruta são Tailândia, Filipinas, Brasil, Cuba e Índia (SÃO JOSÉ et al., 2014). Embora os dados de produção da pinha sejam escassos, o potencial de expansão do mercado é alto em diversas partes do mundo. Ainda que a mesma é considerada uma fruta de quintal usada principalmente para consumo doméstico em alguns países (JAPTAP; BAPAT, 2018).

No Brasil, o cultivo da pinheira vem crescendo nos últimos anos nas regiões semiáridas do nordeste brasileiro e norte de Minas Gerais em função do uso da irrigação associada às condições climáticas favoráveis para seu cultivo, proporcionando maior produtividade e qualidade dos frutos nos períodos de safra e entressafra (LEMOS, 2014). Os principais estados produtores de pinha no Brasil são a Bahia, Alagoas, Pernambuco, Ceará, Minas Gerais e São Paulo. Destacando-se a Bahia como a maior produtor nacional de pinha com uma área plantada de aproximadamente 4.200 hectares de pinha. Segundo dados da Empresa Baiana de Desenvolvimento Agrícola (EBDA), o município de Presidente Prudente possui uma área de 2.200 hectares de pomares de pinha, sendo que 1.200 hectares são de cultivos irrigados, chegando a produzir 50 mil toneladas de frutos ao ano. A Paraíba tem uma produção de 28 toneladas em uma área total colhida de 22 hectares, tendo a região de Cuité e Baraúna responsável produção regional (IBGE, 2019).

Entre as Anonáceas, a pinheira destaca-se com maior expressão, relacionada às suas propriedades medicinais e nutricionais, bem como, seu agradável sabor; tais propriedades devem-se a presença de vitaminas, antioxidantes, ácidos graxos e minerais essenciais (SENTHIL; SILAMBARASAN, 2015). Destinada, principalmente, ao mercado de consumo in natura como fruta de mesa, além da utilização na elaboração de sucos, doces, geleias, licores e na farmacopeia (VIANA, 2005; ARAÚJO et al., 2008).

Nas anonáceas, o potássio é de fundamental importância desde a fase inicial do crescimento de plântulas até a produção. No período de formação de frutos de pinha a exigência desse nutriente aumenta significativamente, principalmente na síntese de carboidratos e outros compostos. Além disso, sua deficiência, associada ou não a desequilíbrio nutricional com N e Ca, pode prejudicar a produção de frutos de qualidade para o consumo in natura ou para processamento (SÃO JOSÉ et al., 2014).

Segundo Cavalcante et al. (2012) as pinheiras em fase produção deslocam os nutrientes para suas flores e frutos, verificando-se em pinheiras com 36 meses de idade, maiores teores de N, P, K e B em comparação com as mesmas plantas com 48 meses de

idade, em fase de produção, esse efeito ocorre em função da maior exigência desses nutrientes para a formação e o desenvolvimento dos frutos.

3.2 Qualidade da água de irrigação

A água é um fator essencial para o estabelecimento da produção agrícola. No entanto, a região Nordeste é caracterizada por apresentar baixa disponibilidade de água para irrigação, que em sua maioria são de baixa qualidade, apresentando altas concentrações de sais dissolvidos em sua composição (CAVALCANTE et al., 2005; LIMA et al., 2017). Esses fatores, associados à variabilidade temporal das precipitações junto as características geológicas dominantes da região, influenciam diretamente para que ocorra um pequeno volume de escoamento dessas águas, resultando em uma densa rede de rios intermitentes e poucos rios perenes (CIRILO et al., 2010).

Para Kovda (1973) e Ferreira et al., (2010), os principais sais solúveis presentes nos solos e águas de regiões semiáridas são o cloreto de sódio (NaCl), o cloreto de cálcio (CaCl₂), o sulfato de magnésio (MgSO₄), o sulfato de sódio (Na₂SO₄), o cloreto de magnésio (MgCl₂) e o carbonato de sódio (Na₂CO₃), bicarbonato (HCO₃⁻), borato (BO₃³⁻) e nitrato (NO₃⁻).

Na região nordeste, as águas utilizadas para fins de irrigação é proveniente de grandes barragens durante maior parte do ano, cuja salinidade é de baixa a média (CE < 0,7 dS m⁻¹), apresentando em sua composição concentrações de bicarbonatos superiores às do cálcio, que se equiparam a do sódio (MEDEIROS; GHEYI; NASCIMENTO, 2012). Entretanto, as águas naturais da região semiárida apresentam composição que varia com a concentração total de sais, geologia local e tipo de fonte de água. Holanda et al. (2016) afirmaram que no semiárido, os reservatórios de água de maior capacidade de armazenamento, geralmente, contêm água de boa qualidade para irrigação apresentando pequena variação ao longo do ano na sua composição. Estudos da qualidade de águas do cristalino dos Estados da Paraíba, Rio Grande do Norte e Ceará, concluíram que em geral as águas são cloretadas sódicas com poucas restrições de uso para irrigação (SILVA JUNIOR; GHEYI; MEDEIROS, 1999).

Segundo Ayers e Westcot (1999) a qualidade da água para fins agrícolas são classificadas de acordo com os seguintes critérios: quanto ao risco de salinidade, quando ocorre um acúmulo de sais na zona radicular em determinada concentração, ocasionando queda no rendimento e na produção das culturas; quanto ao risco de sodicidade ou a

problemas de infiltração que ocorre quando teores relativamente altos de sódio ou baixos de cálcio e magnésio no solo e na água, através da ação dispersante do sódio nos colóides do solo, reduzindo a condutividade hidráulica; e quanto à toxicidade por íons específicos, como sódio, cloreto e boro, os quais se acumulam nas plantas em altas concentrações, reduzindo o rendimento das culturas sensíveis a esses íons. Essas são variáveis fundamentais na determinação da qualidade da água para usos agrícolas (BARROSO et al., 2011).

A condutividade elétrica da água é o parâmetro mais empregado para avaliar a salinidade da água, a qual corresponde à medida da capacidade dos íons presentes na água em conduzir eletricidade e cresce proporcionalmente ao aumento da concentração dos sais (RIBEIRO et al., 2005; MENEGHELLI et al., 2016). Entretanto, outros aspectos importantes devem ser considerados a sodicidade, caracterizada pela relação de adsorção de sódio - RAS e pelo grau de toxicidade, determinado por meio da avaliação da concentração de íons que causem toxidez nas plantas, com destaque para o sódio, o cloro e o boro (HOLANDA et al., 2016).

A adequabilidade da água para fins de irrigação deve considerar, principalmente, fatores relacionados ao teor e tipos de sais, as características do solo, tolerância da cultura, condições climáticas, manejo da irrigação e condições de drenagem (RHOADES; KANDIAH; MASHALI, 2000). Entretanto, a utilização de águas salinas na irrigação pode afetar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, comprometer negativamente nas plantas a partir de seu crescimento, desenvolvimento e produtividade assim sendo, a agricultura irrigada é dependente da qualidade da água (SILVA et al., 2011).

3.3 Efeitos dos sais sobre as plantas e solo

A salinidade das terras agricultáveis é um problema crescente principalmente nas regiões semiáridas do Nordeste brasileiro, onde o volume de chuvas é insuficiente para lixiviação desses sais do solo, tornando-se o principal fator para redução da produtividade. A presença de sais no solo e na água de irrigação representa um dos principais estresses abióticos para a redução da produção e o crescimento das culturas (CAVALCANTE et al., 2010).

A irrigação com água salina, na maioria das vezes, resulta em efeitos adversos nas relações solo-água-plantas, ocasionando restrição severa nas atividades fisiológicas e no

potencial produtivo das plantas cultivadas. Em condições de altos níveis de sais solúveis na solução do solo, o crescimento, a expansão da superfície foliar e o metabolismo do carbono primário de muitas culturas são afetados negativamente devido ao efeito osmótico, déficit hídrico, toxicidade de íons e desequilíbrio nutricional (DIAS et al., 2016).

Elevadas concentrações de sais solúveis na solução do solo fazem com que aumentem as forças de retenção de água no solo através do efeito osmótico, ocasionando dificuldades na absorção de água pelas plantas, o aumento da pressão osmótica causada pelo excesso desses sais, poderá atingir um nível em que a planta não terá força de sucção para superar a pressão osmótica, não retirando água mesmo em solo úmido (DIAS; BLANCO, 2010). Como consequência dos excessos de sais absorvidos pelas plantas, seu crescimento torna-se mais lento, promovendo desbalanço nutricional ou toxidez devido ao acúmulo de íons de cloreto, sódio e boro (MUNNS, 2005; DIAS; BLANCO, 2010).

Desse modo, para que haja absorção de água satisfatoriamente, as plantas desenvolveram um mecanismo de ajustamento em que ocorre um aumento na concentração de solutos no interior da célula, reduzindo o potencial osmótico em resposta ao estresse abiótico, ajudando na retenção de água pelas plantas e na manutenção da pressão de turgor, desempenham um papel fundamental na tolerância ao estresse (HESSINI et al., 2009; KATUWAL; XIAO; JESPERSEN, 2020).

O acúmulo de Na^+ nas folhas pode desestabilizar membranas e proteínas e afeta negativamente os processos celulares e fisiológicos fundamentais como a divisão e expansão, o metabolismo primário e secundário e homeostase de nutrientes minerais (MUNNS; TESTER, 2008). De acordo com FOSTER; MIKLAVCIC (2015), plantas sob estresse salino podem apresentar distúrbios na homeostase iônica não somente devido ao aumento da concentração de Na^+ mas também pela diminuição da concentração de K^+ no citosol, causando a consequente redução da relação K^+ / Na^+ . Os efeitos causados pela toxicidade promovem desequilíbrio iônico e danos ao citoplasma, refletido em injúrias, principalmente, nas bordas e no ápice das folhas, a partir de onde a planta perde principalmente água por transpiração, (DIAS; BLANCO, 2010).

O desequilíbrio nutricional, por sua vez, é causado pela redução na absorção e transporte de elementos essenciais ao desenvolvimento das plantas, por meio do aumento nas concentrações dos íons de Na^+ e Cl^- no interior da planta. Por exemplo, a diminuição das concentrações nos níveis de K^+ e Ca^{2+} (SHANNON et al., 1998). Além disso, o

elevado pH encontrado em solos salinos provoca a redução na disponibilidade de muitos micronutrientes como cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) (FARIAS et al., 2009). Os efeitos sobre a nutrição mineral decorrem principalmente da toxicidade dos íons em razão da absorção excessiva do Na^+ e Cl^- ocasionando como redução da condutância estomática, diminuição da taxa fotossintética, alteração na condutividade hidráulica das raízes, na transpiração e causa abscisão foliar, afetando negativamente a taxa de crescimento das espécies vegetais (MUNNS, 2002; DIAS; BLANCO, 2010).

3.4 Salinidade em pinheira

Em estudos avaliando as respostas ecofisiológicas em plantas de pinheiras (*Annona squamosa* L.) submetidas a diferentes níveis salinos (0,5; 1,01; 2,25; 3,49 e 4,0 dS m^{-1}), Figueiredo et al. (2019) concluíram que o aumento da condutividade elétrica da água de irrigação causou efeitos negativos significativos sobre fluorescência da clorofila. Além disso, pode-se afirmar que a Ecofisiologia das plantas de pinheira varia ao longo do dia e que a salinidade da água de irrigação a partir de 2,25 dSm^{-1} afeta o conteúdo de clorofila e fluorescência.

Durante a fase de produção de porta- enxerto de gravioleira irrigadas com águas salinas (1,2; 1,8; 2,4 e 3,0 dS m^{-1}) Veloso et al. (2019) verificaram que a salinidade da água de irrigação dificulta a eficiência quântica do fotossistema II nas plantas de graviola, quando irrigadas com água de 2,3 dSm^{-1} aos 120 dias após a semeadura. As taxas de crescimento relativos e absolutos dos porta-enxertos diminuíram linearmente com o aumento da salinidade no período de 80 a 140 dias após a semeadura. Plantas cultivadas em ambientes salinos o crescimento é inibido pelo déficit hídrico causado por grandes quantidades de sais na zona radicular, o que leva a uma redução do turgor, resultando na diminuição da expansão celular, reduzindo sua taxa de crescimento.

Sá et al. (2015) avaliando o balanço de sais e crescimento inicial de mudas pinheira irrigadas com águas salinas (0,3; 1,2; 2,4; 3,6; 4,8 dS m^{-1}) concluíram que a irrigação com água salina aumentou a salinidade dos substratos. Além disso, as altas concentrações de sais na água de irrigação inibem a emergência, o crescimento e o ganho de biomassa das plântulas de pinheira. A salinidade da água de irrigação de até 1,2 dSm^{-1} não compromete a formação de mudas de pinheira.

Em outra pesquisa, Oliveira et al. (2017) analisando o crescimento inicial de mudas de pinheira sob teores de matéria orgânica, irrigadas com águas salina (0,3; 1,1; 1,9; 2,7 e 3,5 dSm⁻¹) observaram que o crescimento inicial da pinheira foi comprometido devido ao acúmulo de sais no solo. Para Silva et al. (2017) estudando as trocas gasosas em mudas de pinheira sob com águas salina (0,3; 1,1; 1,9; 2,7 e 3,5 dSm⁻¹), observaram que a transpiração (*E*), condutância estomática (*g_s*), taxa de assimilação de CO₂ (*A*) e a eficiência instantânea do uso da água (*E_iCI*) apresentaram um decréscimo significativo com o aumento das concentrações de sais no solo, diminuindo assim a disponibilidade de água para as plantas.

3.5 Adubação potássica como atenuadora do estresse salino

Entre muitos nutrientes minerais, o potássio (K) é o segundo macronutriente mais exigido pela maioria das culturas, desempenhando um papel fundamental em vários processos fisiológicos vitais para o crescimento, rendimento, qualidade de frutos e resistência ao estresse de todas as culturas (ZÖRB et al., 2014). No entanto, as grandes áreas agricultáveis apresentam deficiência de K, especialmente em solos arenosos, alagados, salinos e ácidos, isso ocorre particularmente em sistemas de produção intensiva, nos quais o potássio apresenta-se como um nutriente limitante para a produção agrícola (ZÖRB et al., 2014; LIMA et al., 2018).

Em sua essencialidade o potássio atua na ativação de muitas enzimas envolvidas na respiração e fotossíntese, abertura e fechamento dos estômatos, transporte de carboidratos, transpiração, resistência a diversos estresses abióticos, tais como, geada, seca e salinidade (MARSCHNER, 2012). Além disso, está envolvido na ativação da síntese de amido, fosfato, sacarose e outras enzimas e no transporte de carboidratos. Sob estresse salino, K ajuda a manter a homeostase iônica e melhora a defesa antioxidante das plantas, protegendo-a do estresse oxidativo (HASANUZZAMAN et al., 2018).

Lima et al. (2020) avaliando as trocas gasosas, os pigmentos cloroplastídicos e o crescimento do maracujazeiro ‘BRS Rubi do Cerrado’ em função da irrigação com águas salinas e adubação potássica, em fase de formação de mudas concluiu que a salinidade da água a partir de 0,3 dS m⁻¹ reduziu a abertura estomática, a transpiração, a assimilação de CO₂ inibindo o crescimento das plantas de maracujazeiro ‘BRS Rubi do Cerrado’, aos 40 dias após o semeio. Não havendo restrição de CO₂ na cavidade subestomática das plantas de maracujazeiro quando cultivadas sob salinidade da água a

partir de $0,3 \text{ dS m}^{-1}$. A dose de potássio de 150 mg kg^{-1} de solo, correspondente a 100%, intensificou o efeito do estresse salino sobre a taxa de assimilação e a eficiência instantânea de carboxilação no maracujazeiro 'BRS Rubi do Cerrado'. Além disso, houve interação entre os níveis salinos da água e as doses de potássio para os teores de clorofila a e b do maracujazeiro 'BRS Rubi do Cerrado'.

Lima et al. (2019) avaliando o crescimento e a produção de aceroleira enxertada sob irrigação salina e adubação potássica, concluíram que a salinidade da água de irrigação de $3,8 \text{ dS m}^{-1}$ inibiu acentuadamente o crescimento em diâmetro caulinar e o peso médio de frutos da aceroleira. Enquanto que a adubação potássica mitigou os efeitos deletérios do estresse salino sobre o crescimento relativo do diâmetro caulinar do porta-enxerto, número total de frutos e a massa fresca total de frutos de aceroleira, com os maiores valores nas plantas irrigadas com água de menor salinidade associada à maior dose de K_2O .

Resultados nesse sentido também foi encontrado por Dias et al. (2019) que, avaliando as trocas gasosas, rendimento quântico e os pigmentos fotossintéticos da aceroleira enxertada submetida ao estresse salino e adubação potássica concluíram que as trocas gasosas, fluorescência da clorofila a e os pigmentos fotossintéticos da aceroleira foram afetados negativamente pela irrigação com água de condutividade elétrica de $3,8 \text{ dS m}^{-1}$. Enquanto doses de potássio crescentes promoveram incremento na taxa de transpiração, fluorescência máxima da clorofila a e no teor de clorofila b da aceroleira cultivada sob estresse salino, porém não atenuaram os efeitos negativos da irrigação com água de $3,8 \text{ dS m}^{-1}$ sobre a eficiência quântica potencial da aceroleira.

Para Prazeres et al. (2015), a existência de interações entre salinidade e potássio é um indicativo de que a dose ótima desse nutriente para mitigação do estresse salino depende da salinidade na zona radicular das plantas e da fonte utilizada na adubação. Em estudos realizados por Gurgel et al. (2010a) na cultura do meloeiro cv. Goldex aos 63 dias após a semeadura adubadas com doses crescentes de K_2O (328 e 438 kg/ha^{-1}), utilizando como fonte o cloreto de potássio, observaram que as doses mitigaram os efeitos prejudiciais da salinidade da água de irrigação de $2,41 \text{ dS m}^{-1}$ no cultivo da espécie, promovendo acúmulo de K nas plantas e favorecer acúmulo de fitomassa nas plantas e nos frutos, além de contribuir para diminuição da perda de peso dos frutos da cultivar durante o armazenamento, quando as plantas são irrigadas com água de $0,52 \text{ dS m}^{-1}$ (GURGEL et al., 2010b).

Contudo, torna-se necessário do estudo da interação entre a salinidades da água de irrigação e doses de K, na tentativa de mitigar os efeitos negativos do estresse salino sobre o crescimento, e a fisiologia da pinheira de modo a contribuir para o estabelecimento da cultura em regiões semiáridas.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Localização da área experimental

O experimento foi desenvolvido no período de maio de 2019 a janeiro de 2020 em condições de campo na Fazenda Experimental Rolando Enrique Rivas Castellón, do Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar – CCTA, da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, localizado no município de São Domingos, Paraíba, nas coordenadas geográficas 6°48'48.8" S 37°56'16.5" W a uma altitude de 194 m.

4.2 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, arranjados em esquema fatorial 2 x 5, cujos os tratamentos resultaram da combinação entre dois níveis de condutividade elétrica da água de irrigação - CEa (1,3 e 4,0 dS m⁻¹) e cinco doses de potássio (K1 - 50%, K2 - 75%, K3 - 100%, K4 - 125% e K5 - 150%), com quatro repetições perfazendo o total de quarenta unidades experimentais. A dose de 100% da adubação potássica (20,0 g de K₂O planta ano⁻¹) nitrogenada (50,0 g de N planta ano⁻¹) e fosfatada (20,0 g de P₂O₅ planta ano⁻¹) foi baseada em recomendação proposta por Silva e Silva (1997) para anonáceas.

4.3. Unidade experimental

As mudas de pinheira foram obtidas via seminífera, sendo semeadas duas sementes por sacola de polietileno com capacidade para 1,5 dm³, preenchidas com substrato, constituído da mistura de 50% de solo, 25% de areia e 25% de composto orgânico (esterco bovino) na proporção de 2:1:1 com o volume de 1,7 Kg. Após as emergências das plântulas, foi realizado o desbaste, deixando-se apenas uma planta por recipiente, quando estas estavam com 10 cm de altura. As mudas foram transplantadas para

o campo aos 190 dias após a semeadura e durante esse tempo foram irrigadas com água de menor condutividade elétrica (1,3 dSm⁻¹).

Tabela 1. Atributos físico-hídricos e químicos do solo utilizado no experimento, antes da aplicação dos tratamentos.

		Características químicas							
pH (H ₂ O)	M.O	P	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H ⁺ + Al ³⁺	PST	CEes
(1:2,5)	dag kg ⁻¹	(mg kg ⁻¹)	(cmolc kg ⁻¹)					%	(dS m ⁻¹)
6,95	0,96	13,75	0,39	0,83	3,74	2,30	0,00	11,43	0,32
		Características físicas							
Fração granulométrica (g kg ⁻¹)			Classe	Umidade (kPa)		AD	Porosidade	Ds	Dp
Areia	Silte	Argila	textural	33,42	1519,5		total	----- (g cm ⁻³)----	
719,20	241,60	39,20	FA	12,24	4,58	7,66	47,76	1,40	2,68

M.O – Matéria orgânica: Digestão Úmida Walkley-Black; Ca²⁺ e Mg²⁺ extraídos com KCl 1 M pH 7,0; Na⁺ e K⁺ extraídos utilizando-se NH₄OAc 1 M pH 7,0; Al³⁺ e (H⁺ + Al³⁺) extraídos utilizando-se CaOAc 0,5 M pH 7,0; CEes – condutividade elétrica do extrato de saturação do solo; FA– Franco arenoso; AD – Água disponível; DA- Densidade do solo; DP- Densidade de partículas.

As plantas de pinheiras foram desenvolvidas em lisímetros com capacidade de 310 L (54 cm de altura, 105 cm de diâmetro superior e 104 cm de diâmetro inferior), preenchidos com uma camada de 30 kg de areia, seguido de 310 kg de solo. O material de solo utilizado no preenchimento dos lisímetros foi um Vertissolo de textura franco-arenosa (profundidade 0-30 cm), devidamente destorroado e proveniente da Fazenda Experimental Rolando Enrique Rivas Castellón do município de São Domingos-PB. Os atributos químicos e físicos do solo foram determinados conforme metodologia proposta por (TEIXEIRA et al., 2017) descritos na Tabela 1. Cada lisímetro apresentava um dreno de 25 mm, e sobre cada dreno foi colocado um tecido geotêxtil (Bidim OP 30) para evitar a obstrução do material de solo. A água de drenagem foi coletada com auxílio de um recipiente plástico com capacidade de 3 L, disposto abaixo dos lisímetros, o valor drenado era utilizado para a estimativa do consumo hídrico da cultura.

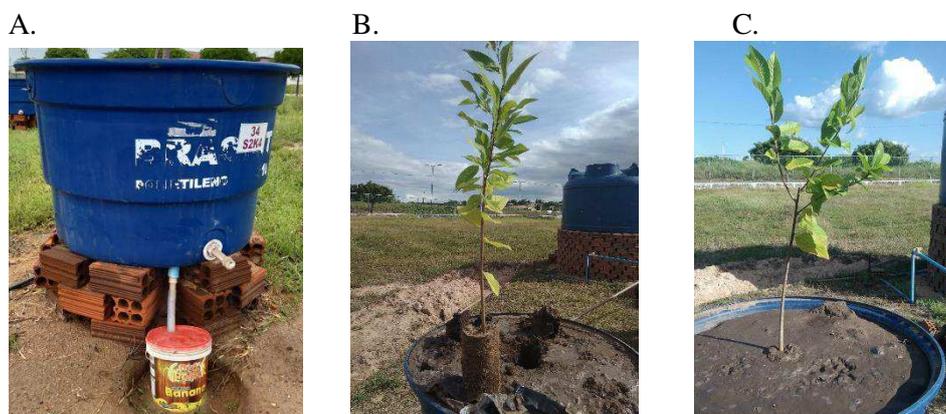


Figura 1. Caracterização do Lisímetro (A) e transplântio das mudas de pinheira (B e C).

4.4. Manejo da irrigação

A água de menor condutividade elétrica (CEa) de 1,3 dS m⁻¹ foi obtida a partir de um poço artesiano localizado na fazenda experimental, e a de 4,0 dS m⁻¹ foi preparada pela adição de NaCl à água do menor nível salino, com base na relação entre CEa e a concentração de sais (mmolc L⁻¹ = 10*CEa dS m⁻¹) extraída de (RICHARDS, 1954). As irrigações com os distintos níveis de condutividade elétrica da água foram realizadas diariamente, pelo método de irrigação localizada através do sistema de gotejamento, aplicando-se em cada lisímetro, o volume de água correspondente à demanda hídrica da planta submetida ao tratamento. O volume aplicado em cada evento de irrigação foi estimado por meio do balanço hídrico, tomando-se como base os termos da equação 1, em que: CH é o consumo hídrico (ml), considerando o volume de água aplicado às plantas (Va) no dia anterior (ml); Vd é o volume drenado (ml), quantificado na manhã do dia seguinte e FL é a fração desejada de lixiviação, estimada em 20% a cada 15 dias, a fim de propiciar a redução de parte dos sais acumulados na zona radicular.

$$CH = \frac{(Va - Vd)}{1 - FL} \quad \text{Eq. 1}$$

4.5. Adubação

Na fase de formação das mudas de pinheira a adubação de fundação com nitrogênio e fósforo foram realizadas conforme recomendação de adubação para ensaios em vasos, contida em Novais et al. (1991), colocando-se as quantidades de 100 e 300 mg kg⁻¹ de solo de nitrogênio e fósforo, respectivamente, nas formas de ureia e fosfato monoamônico (MAP); aplicados via água de irrigação, aos 20 dias após a semeadura (DAS). O fator adubação potássica foi aplicações via fertirrigação, em intervalos a cada dez dias a partir dos 20 DAS, utilizando cloreto de potássio, a quantidade de adubo nos demais tratamentos foi calculada conforme a dose K3 – 100%.

Para o experimento a campo, todas as adubações foram realizadas em cobertura via fertirrigação, de acordo com os tratamentos estabelecidos, baseadas na recomendação de adubação para anonáceas proposta por Silva e Silva (1997), utilizando o fosfato monoamônico (10% de N e 46% de P₂O₅) como fonte de fósforo, ureia (45% de N) como fonte de nitrogênio e cloreto de potássio (60% K₂O) como fonte potássica. As adubações tiveram início aos 10 dias após o transplantio das mudas e divididas em 24 parcelas iguais,

aplicadas em intervalos de 15 dias durante todo o primeiro ano de produção. As doses de potássio foram fornecidas a partir da dose de 100% correspondente a 20 g de K₂O e assim calculada para as doses de 50%, 75%, 100%, 125% e 150%, respectivamente, sendo fornecidos também 50 g de N e 40 g P₂O₅ por planta, utilizando como fonte a ureia e MAP, respectivamente; a cada 15 dias, diluídos no menor nível salino (1,3 dS m⁻¹). Em intervalos de quinze dias foi aplicada uma solução de micronutrientes contendo 1,5 g L⁻¹ de Ubyfol [(N (15%); P₂O₅ (15%); K₂O (15%); Ca (1%); Mg (1,4%); S (2,7%); Zn (0,5%); B (0,05%); Fe (0,5%); Mn (0,05%); Cu (0,5%); Mo (0,02%)].

4.6. Tratos culturais e fitossanitários

Ao longo do experimento, foram realizadas podas de formação, visando à padronização e adequação da cultura, iniciando-se com a eliminação da gema apical, com o auxílio de uma tesoura de poda, quando a haste principal atingiu a altura de 50 cm do nível do solo, em seguida foram selecionadas três brotações de acordo com a melhor distribuição na vertical e na horizontal, quando as pernadas atingiram 50 cm de comprimento foram reduzidas a 30 cm. E, após brotações, foram selecionados três ramos para cada pernada, encurtando-os em 30 cm sempre que atingirem 50 cm de comprimento, conforme recomendação de Pereira et al. (2011). No cultivo em campo foi estabelecido o espaçamento de 2,0 m entre fileiras e 2,0 m entre plantas.

O controle de pragas e doenças foi realizado por intervenções preventivas, com inseticidas e fungicidas recomendados para frutíferas, conforme a necessidade. A aplicação foi realizada utilizando-se de pulverizador manual de compressão prévia, com capacidade volumétrica de 5 L. Semanalmente era realizado a escarificação do solo em cada lisímetro a fim de descompactar as camadas superficiais do solo evitando o acúmulo de sais na superfície, melhorando a capacidade de retenção de água no solo. E, conforme a necessidade, durante a condução do experimento foram realizadas capinas manuais.

4.7. Variáveis analisadas

4.7.1 Variáveis de crescimento

No experimento a campo aos 179, 210 e 245 DAT, foram determinados:

- a) Número de folhas

Na contagem, foram consideradas as folhas maduras com comprimento superior a 3 cm e com coloração característica da cultivar.

b) Diâmetro do caule

Determinado a 1,5 cm do solo, com uso de paquímetro digital, com leituras em ‘mm’.

c) As taxas de crescimento absoluto (TCA_{DC}) e relativo (TCR_{DC}) para o diâmetro do caule- determinado entre os intervalos de 151-287 e 179-245 DAT de acordo com Benincasa (2003), conforme Eq. 2 e 3.

$$TCA = \frac{(DC_2 - DC_1)}{(t_2 - t_1)} \quad (2)$$

Em que: TCA = taxa de crescimento absoluto em diâmetro do caule ($mm\ d^{-1}$),

DC_1 = Diâmetro de caule (mm) no tempo t_1 ,

DC_2 = Diâmetro de caule (mm) no tempo t_2 ,

$$TCR = \frac{(\ln DC_2 - \ln DC_1)}{(t_2 - t_1)} \quad (3)$$

Em que: TCR = Taxa de crescimento relativo do diâmetro de caule ($mm\ mm^{-1}\ d^{-1}$),

DC_1 = Diâmetro de caule (mm) no tempo t_1 ,

DC_2 = Diâmetro de planta (mm) no tempo t_2 ,

\ln = logaritmo natural.

4.8 Parâmetros fisiológicos

a) Trocas gasosas

As avaliações das trocas gasosas foram realizadas aos 180 e 210 DAT a partir da mensuração da condutância estomática (gs) ($mol\ m^{-2}\ s^{-1}$), transpiração (E) ($mmol\ de\ H_2O\ m^{-2}\ s^{-1}$), taxa assimilação de CO_2 (A) ($\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$) e concentração interna de CO_2 (Ci) ($\mu mol\ mol^{-1}$). De posse desses dados foram estimadas a eficiência instantânea no uso da água (EiUA) (A/E) [$(\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1})\ (mmol\ H_2O\ m^{-2}\ s^{-1})^{-1}$] e a eficiência instantânea da carboxilação (EiC) (A/Ci) [$(\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1})\ (\mu mol\ mol^{-1})^{-1}$] (KONRAD et al., 2005; MAGALHÃES FILHO et al., 2008). Tais avaliações foram realizadas com um determinador de trocas gasosas em plantas, contendo um analisador de gás infravermelho

- IRGA (Infra Red Gás Analyser, modelo LCpro – SD, da ADC Bioscientific, UK). As leituras foram realizadas as 7:00 horas na terceira folha totalmente expandida contada a partir da gema apical, conduzidas sob condições naturais de temperatura do ar, concentração de CO₂ e utilizando uma fonte artificial de radiação de 1200 μmol m⁻² s⁻¹.

b) Fluorescência da clorofila *a*

Nas mesmas plantas foram avaliadas aos 180 e 210 DAT a fluorescência da clorofila *a*, mediante determinação da fluorescência inicial (F_o), fluorescência máxima (F_m), fluorescência variável (F_v) e a eficiência quântica do fotossistema II (F_v/F_m) em folhas pré-adaptadas ao escuro mediante uso de pinças foliares durante 30 minutos, entre as 7:00 e 8:00 horas da manhã, utilizando-se o fluorômetro modulado Plant Efficiency Analyser –PEA II®.

c) Determinação do estado hídrico foliar

A avaliação do estado hídrico da pinheira foi feita aos 180 e 210 DAT utilizando três folhas, totalmente expandidas, do terço médio de cada planta para determinação do conteúdo relativo de água (CRA) no limbo e o déficit de saturação hídrica nas folhas (DSH). Para isso, imediatamente após a coleta das folhas, determinou-se a massa fresca (MF); em seguida, as amostras foram colocadas em sacos plásticos, imersas em água destilada e acondicionadas por 24 horas. Depois, foi retirado o excesso de água com papel toalha, obtendo-se a massa túrgida (MT); posteriormente, as amostras foram levadas à estufa com circulação de ar (temperatura ≈ 65 °C ± 3 °C, até atingir massa constante) para obtenção da massa seca (MS). A obtenção do CRA e do déficit de saturação hídrica (DSH) foi feita conforme Smart; Bingham, (1971) e Lima et al. (2015), pelas equações 4 e 5.

$$CRA = \frac{Mf - Ms}{Mt - Ms} \times 100 \quad (4)$$

$$DSH = \frac{Mt - Mf}{Mt - Ms} \times 100 \quad (5)$$

Em que:

CRA = teor relativo de água (%);

DSH = déficit de saturação hídrica (%);

MF= massa fresca de folha (g);

MT= massa túrgida (g);

MS = massa seca (g).

d) Concentração de pigmentos fotossintetizantes

Imediatamente após as determinações do estado hídrico, foram coletadas amostras foliares na parte central do limbo para quantificação dos teores de clorofila *a*, clorofila *b*, clorofila total e carotenóides, conforme método analítico recomendado por Lichthenthaler (1987) e (ARNON, 1949), por meio de amostras de 5 discos do limbo da 3ª folha madura a partir do ápice. A partir dos extratos, foi determinada as concentrações em solução de acetona 80%, utilizando um espectrofotômetro de absorção nos comprimentos de absorbância de 470, 646 e 663 nm, conforme as equações:

$$\text{Clorofila } a \text{ (Cl } a) = 12,25 \text{ ABS}_{663} - 2,81 \text{ ABS}_{646}; \quad (6)$$

$$\text{Clorofila } b \text{ (Cl } b) = 21,50 \text{ A}_{646} - 5,10 \text{ ABS}_{663}; \quad (7)$$

$$\text{Carotenóides totais (Car)} = (1000 \text{ ABS}_{470} - 1,82 \text{ Cl}a - 85,02 \text{ Cl}b)/198 \quad (8)$$

Os valores obtidos para os teores de clorofila *a*, *b* e carotenoides nas folhas foram expressos em mg g⁻¹.

e) Extravasamento de eletrólitos

Para verificar a integridade da membrana celular sob condições do estresse salino, foi determinado o extravasamento de eletrólitos (EE) aos 180 e 210 DAT. Retirando, por unidade experimental, dez discos foliares de área 2,8 cm² cada, com auxílio de um perfurador de ferro, os quais serão lavados e acondicionados em beckers contendo 50 mL de água destilada fechados com papel alumínio e mantidos em temperatura de 25 °C por 90 minutos. Após este período, procedeu-se à determinação da condutividade elétrica inicial (Ci) usando-se um condutivímetro de bancada. Em seguida, os beckers foram submetidos à temperatura de 90 °C, durante 90 minutos em estufa de ventilação forçada quando se procedeu novamente à mensuração da condutividade elétrica final (Cf). O extravasamento de eletrólitos foi expresso como a porcentagem de condutividade inicial em relação à condutividade elétrica após o tratamento por 90 minutos a 90 °C. O

percentual de extravasamento de eletrólitos foi obtido de acordo com Scotti-Campos et al. (2013), conforme a equação 9.

$$\%EE = (C_i/C_f) \times 100 \quad (9)$$

Em que:

$\%EE$ = percentual de extravasamento de eletrólitos (%);

C_i = condutividade elétrica inicial ($dS\ m^{-1}$);

C_f = condutividade elétrica final ($dS\ m^{-1}$).

5. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F e quando significativos foram realizados teste de comparação de médias (Tukey em nível de 0,05 de probabilidade) para os níveis salinos da água e análise de regressão para o fator doses de potássio utilizando-se do *software* estatístico SISVAR versão 5.1 (FERREIRA, 2014).

6. REFERENCIAS

- ADAB- **Agência de Defesa Agropecuária do Estado da Bahia**. 2019. Disponível em: <<http://www.adab.ba.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=63#>> Acesso em: 30 junho 2020.
- ALMEIDA, O. A. DE. **Qualidade da água de irrigação**. 1.ed. Cruz das Almas: Embrapa mandioca e fruticultura, p. 234, 2010.
- ARAÚJO, J. F.; LEONEL, S.; PEREIRA NETO, J. Adubação organomineral e biofertilização líquida na produção de frutos de pinheira (*Annona squamosa* L.) no submédio São Francisco, Brasil. **Bioscience Journal**, v.24, n.4, p.48-57, 2008.
- ASHRAF M.; HARRIS, P.J.C. Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. **Plant Science**, v.166, n.1, p.3-16, 2004.
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **Qualidade da água na agricultura**. 2.ed. Campina Grande: UFPB, p.153, 1999.
- BARROSO, A. DE. A. F.; GOMES, G. E.; LIMA, A. E. DE O.; PALÁCIO, H. A. DE. Q.; LIMA, C. A. DE. Avaliação da qualidade da água para irrigação na região Centro Sul no Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.15, n.6, p.588–593, 2011.
- BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas, noções básicas**. 2 ed. Jaboticabal: FUNEP, 2003.41p.
- BLANCO, F. F.; FOLEGATTI, M. V.; HENRIQUES NETO, D. Doses de N e K no tomateiro sob estresse salino: I. Concentração de nutrientes no solo e na planta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, n.1, p.26–33, 2008.
- CAKMAK, I. The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stresses in plants. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v.168, p.521-530, 2005.
- CAVALCANTE, L. F.; VIEIRA, M. S.; SANTOS, A. F.; OLIVEIRA, W. M.; NASCIMENTO, J. A. M. Água salina e esterco bovino líquido na formação de mudas de goiabeira cultivar Paluma, **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 32, n. 1, p.251-261, 2010.
- CAVALCANTE, L.F.; PEREIRA, W. E.; CURVÊLO, C. R. S.; NASCIMENTO, J. A. M.; CAVALCANTE, I. H. L. Estado nutricional de pinheira sob adubação orgânica do solo. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 3, p. 579-588, 2012.

- CAVALCANTI, M. L. F.; FERNANDES, P. D.; GHEYI, H. R.; BARROS JÚNIOR, G.; SOARES, F. A. L.; SIQUEIRA, E. C. Tolerância da mamoneira BRS 149 à salinidade: germinação e características de crescimento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, p. 57-61, 2005.
- CIRILO, J. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; CAMPOS, J. N. B. A questão da água no semiárido brasileiro. In: BICUDO, C. E. M.; TUNDISI, J. G.; SCHEUENSTUHL, M. C. B. (org.). **Águas do Brasil análises estratégicas**. 1.ed. São Paulo: Instituto de Botânica, v. 1, p. 81-91, 2010.
- DIAS, A. S.; LIMA, G. S.; PINHEIRO, F. W. A.; GHEYI, H. R.; SOARES, L. A. A. Gas exchanges, quantum yield and photosynthetic pigments of west indian cherry under salt stress and potassium fertilization. **Revista Caatinga**, v. 32, n. 2, p. 429 – 439, 2019.
- DIAS, N. S.; 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 publicados**. 1. ed. Fortaleza: Inctsal, 2010, v. 1. 472 p.
- DIAS, N. S.; OLIVEIRA, A. M.; SOUZA NETO, O. N.; BLANCO, F. F.; REBOUÇAS, J. R. L. Concentração salina e fases de exposição à salinidade do meloeiro cultivado em substrato de fibra de coco. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, n. 3, p. 915-921, 2011.
- DIAS, N. S.; BLANCO, F. F.; SOUZA, E. R.; FERREIRA, J. F. S.; SOUSA NETO, O. N.; QUEIROZ, Í. S. R. Efeitos dos sais na planta e tolerância das culturas à salinidade. In: Gheyi, H. R.; Dias, N. da S.; Lacerda, C. F. de; Gomes Filho, E. 2.ed. **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza. INCTSal. p.151-162. 2016.
- DONAGEMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B. de; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. M. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, RJ: Embrapa Solos. 2011. 230 p.
- FARIAS, S. G. G. D.; SANTOS, D. R. D. U.; FREIRE, A. L. D. O. U. Estresse salino no crescimento inicial e nutrição mineral de *Gliricídia* (*Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunt ex Steud) em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, n.5, p.1499-1505, 2009.
- FERREIRA, D. F. SISVAR: A computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2014.

- FERREIRA, P.A.; SILVA, JB.L.; RUIZ, H.A. Aspectos físicos e químicos de solos em regiões áridas e semiáridas In: Gheyi, H. R.; Dias, N. da S.; Lacerda, C. F. de; Gomes Filho, E. 2.ed. **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza. INCTSal. p.17-34. 2016.
- FIGUEIREDO, F. R. A.; GONÇALVES, A. C. M.; RIBEIRO, J. E. S.; SILVA, T. I.; NÓBREGA, J. S.; DIAS, T. J.; ALBURQUERQUE, M. B. Gas exchanges in sugar apple (*Annona squamosa* L.) subjected to salinity stress and nitrogen fertilization. **Australian Journal of Crop Science**, v. 13, n.12, p. 1959-1966, 2019.
- FOSTER, K. J.; MIKLAVCIC, S. J. Toward a biophysical understanding of the salt stress response of individual plant cells. **Journal of Theoretical Biology**, v. 385, p. 130-142, 2015.
- GURGEL, M. T.; OLIVEIRA, F. H. T.; GHEYI, H. R.; FERNANDES, P. D.; UYEDA, C. A. Qualidade pós-colheita de variedades de melões produzidos sob estresse salino e doses de potássio. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.5, n.3, p.398-405, 2010b.
- GURGEL, M. T.; UYEDA, C. A.; GHEYI, H. R.; OLIVEIRA, F. H. T.; FERNANDES, P. D.; SILVA, F. V. Crescimento de meloeiro sob estresse salino e doses de potássio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.1, p.3-10, 2010a.
- HESSINI, A, K.; MARTÍNEZ, J. P.; GANDOUR, M.; ALBOUCHI, A.; ABDELAZIZ SOLTANI, A.; CHEDLY ABDELLYA, C. Effect of water stress on growth, osmotic adjustment, cell wall elasticity and water-use efficiency in *Spartina alterniflora*. **Environmental and Experimental Botany**. v. 67, n.2, p. 312-319, 2009.
- HOLANDA, J. S.; AMORIM, J. R. A. DE.; FERREIRA NETO, M.; HOLANDA, A. C DE.; SÁ, F.V. S. Qualidade da água para irrigação. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: INCTSal. p. 43-59, 2016.
- IBGE. **Produção, Valor da produção e Área colhida da lavoura permanente nos estabelecimentos agropecuários: Fruta do Conde**. Brasil, 2019. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br>. Acesso em: 19 abril de 2020.
- JAPTAP, U.B.; BAPAT, V. A. Crustar da apple- *Annona squamosa* L. **Exotic Fruits Reference Guide**, p. 163-167, 2018.
- KOVDA, D.A. **Irrigation, drainage and salinity: An international sourcebook**. Paris: FAO/ UNESCO, 1973. p.177- 205.

- KATUWAL, K. B.; XIAO, B.; JESPERSEN, D. Physiological Responses and Tolerance Mechanisms of Seashore Paspalum and Centipedegrass Exposed to Osmotic and Iso-osmotic Salt stresses. **Journal of Plant Physiology**, v.248, n.1, p.153154 .2020.
- KIILL, L.H.P.; COSTA, J.G. da. Biologia floral e sistema de reprodução de *Annona squamosa* L. (Annonaceae) na região de Petrolina-PE. **Ciência Rural**, v. 33, n. 5, p. 851-856, 2003.
- KONRAD, M. L. F. SILVA, J. A. B.; FURLANI, P. R.; MACHADO, E. C. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em seis cultivares de cafeeiro sob estresse de alumínio. **Bragantia**, v. 64, n. 3, p. 339-347, 2005.
- LAUCHILI, A.; EPSTEIN, E. Mechanisms of salt tolerance in plants. **Califórnia Agriculture**, v.38, n.10, p.18- 21,1990.
- LEMOS, E. E. P. The production of annona fruits in Brazil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 36, n.1, p. 77-85. 2014.
- LICHTENTHALER, H.K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. In: PACKER, L.; DOUCE, R. (Eds.). **Methods in enzymology**. Bad Honnef : Academic, v.148, p.350-382, 1987.
- LIMA, B. L. DE C.; SILVA, E. F.; SANTOS, H. R. B.; SOUZA. E. R. Potassium fertilization and irrigation with treated wastewater on gas exchange of colored cotton. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 22, n. 11, p.741-746, 2018.
- LIMA, G. S. DE.; FERNANDES, C. G. J.; SOARES, L. A. DOS A.; GHEYI, H. R.; FERNANDES, P. D. Gas exchange, chloroplast pigments and growth of passion fruit cultivated with saline water and potassium fertilization. **Revista Caatinga**, v. 33, n. 1, p. 184 -194,2020.
- LIMA, G. S.; DIAS, A. S.; SOUZA, L. P.; SÁ, F. V. S.; GHEYI, H. R.; SOARES, L. A. A. Effects of saline water and potassium fertilization on photosynthetic pigments, growth and production of West Indian Cherry. **Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science**, v. 13, n. 3, p.1-10, 2018.
- LIMA, G. S.; NOBRE, R. G.; GHEYI, H. R.; SOARES, L. A. A.; SILVA, E. M. Irrigation water salinity and nitrogen doses affect the cultivation of castor bean (*Ricinus communis* L.) at different phenological stages. **Australian Journal of Crop Science**, v. 9, n. 9, p. 870-878, 2015.

- LIMA, G. S.; PINHEIRO, F. W. A.; DIAS, A. S.; GHEYI, H. R.; SOARES, L. A dos A.; SILVA, S. S. Growth and production components of West Indian cherry cultivated with saline waters and potassium fertilization. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.23, n.4, p.250-256, 2019.
- LIMA, P. V. S. **Caracterização e utilização da pinha como estabilizante e/ou espessante em leites fermentados**.2013, 35f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em química industrial) Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e tecnologia, 2013.
- LIMA, Y. B. SÁ, F. V. S.; NETO, M. F.; PAIVA, E. P.; GHEYI, H. R. Accumulation of salts in the soil and growth of cowpea under salinity and phosphorus fertilization. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 5, p.765-773, 2017.
- MAAS, E. V. Crop salt tolerance. **In: TANJI, K. K. Agricultural salinity assessment and management**. New York: ASCE, v.71, cap. 13, p. 262-304. 1990.
- MAATHUIS, F. J. M. Physiological functions of mineral macronutrients. **Current Opinion in Plant Biology**. v.12, n.3 250–258, 2009.
- MAGALHÃES FILHO, J. R.; AMARAL, L. R.; MACHADO, D. F. S. P.; MEDINA, C. L.; MACHADO, E. C. Deficiência hídrica, trocas gasosas e crescimento de raízes em laranjeira ‘valência’ sobre dois tipos de porta-enxerto. **Bragantia**, v. 67, n. 1, p. 75-82, 2008.
- MAINASARA, M. M., ABU BAKAR, M. F., MOHAMED, M., LINATOC, A. C., & SABRAN, F. Sugar Apple— *Annona squamosa* Linn. **Exotic Fruits**, p. 397–402. 2018.
- MARSCHNER, P. Mineral nutrition of higher plants. 3 ed. San Diego: USA, **Elsevier**, 2012. 651p.
- MEDEIROS, J. F. **Qualidade da água de irrigação e evolução da salinidade nas propriedades assistidas pelo “GAT” nos Estados do RN, PB e CE**. Campina Grande, 1992. 173p. Dissertação - (Mestrado em Irrigação e Drenagem), Universidade Federal da Paraíba.
- MEDEIROS, J. F.; GHEYI, H. R.; NASCIMENTO, L.B. Salinidade de solo e da água e seus efeitos na produção agrícola. In: GHEYI, H. R.; PAZ, V. P. S; MEDEIROS, S. S. GALVÃO, C. O. **Recursos Hídricos em Regiões Semiáridas: Estudos e Aplicações**. Campina Grande – PB: INSA, Cruz das Almas - BA: UFRB. p. 201-4, 2012.

- MENEGHELLI, C. M.; MONACO, P. A. V. L.; CORREA, J. M.; BIRCHLER, R.; LOSS, J. B. Qualidade da água do rio santa maria do doce - ES para fins de irrigação. **Enciclopédia biosfera**, Centro Científico Conhecer, v.13 n.24; 880 p. 2016.
- MOSCA, J.L., CAVALCANTE C.E.B., DANTAS, T.M. **Características botânicas das principais anonáceas e aspectos fisiológicos de maturação**. Embrapa Agroindústria Tropical. Documentos, 106. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 28 p.2006.
- MUNNS, R. Comparative physiology of salt and water stress. **Plant, Cell And Environment**, v. 25, n. 2, p.239-250, 2002.
- MUNNS, R. Genes and salt tolerance: bringing them together. **New Phytologist**. v.167, n.3, p. 645-663, 2005.
- MUNNS, R.; TESTER, M. Mecanismos of salinity tolerance. **Annual Review of Plant Biology**, v. 59, n.2, p. 651-681, 2008.
- NATURAL RESOURCES CONSERVATION SERVICE (NRCS). Plants profile *Annona squamosa* L. **The plants database**. United states departamento of agriculture, United states, p 4-17. 2008.
- NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L.; BARROS, N.F. Ensaio em ambiente controlado. In: OLIVEIRA, A.J.; GARRIDO, W.E.; ARAÚJO, J.D.; LOURENÇO, S., eds. **Métodos de pesquisa em fertilidade do solo**. Brasília, Embrapa-SEA, 1991. p.189-254.
- OLIVEIRA, C. J. A.; RIBEIRO, M. D. S.; RAFAEL, G. G.; SILVA, E. A.; MOREIRA, R. C. L.; SILVA, S. S da. Crescimento inicial de pinheira (*Annona Squamosa* L.) com teores de matéria orgânica sob estresse salino. In: IV INOVAGRI INTERNATIONAL MEETING. 2017, Fortaleza. **Anais** Fortaleza: Inovagri, 2017. v. 4, p. 176 - 183.
- OLIVEIRA, J. D. S. DE.; LEMOS, E. E. P. DE.; CARVALHO FILHO, R. V. DE.; SANTOS. E. F. DOS.; SILVA, R. B.; GALLO, C. M. Alterações fisiológicas no crescimento inicial de pinheira (*Annona squamosa* L.) submetida ao stresse hídrico. **Revista de Ciências Agraria**, v. 43, n.1, p. 53-63, 2020.
- PELOSO, A.F.; TATAGIBA, S.D.; REIS, E.F.; PEZZOPANE, J.E.M.; AMARAL, J.F.T. Limitações fotossintéticas em folhas de cafeeiro arábica promovidas pelo déficit hídrico. **Coffee Science**, vol. 12, n. 3, p. 389-399, 2017.
- PEREIRA, M. C. T.; NIETSCHKE, S.; COSTA, M. R.; CRANE, J.T. H.; CORSATO, C. D. A.; MIZOBUTSI, E. H. Anonáceas: pinha, atemoia e graviola. **Informe Agropecuário**, v. 32, n. 264, p. 26-34, 2011.

- PINTO, A.C.D. Q., CORDEIRO, M.C.R., DE ANDRADE, S.R.M., FERREIRA, F.R., FILGUEIRAS, H., ALVES, R.E. *Annona Species*. **International Centre for Underutilized Crops**. University of Southampton. Southampton, U.K. 2005.
- PRAZERES, S. S.; LACERDA, C. F.; BARBOSA, F. E. L.; AMORIM, A. V.; ARAUJO, I. C. S.; CAVALCANTE, L. F. Crescimento e trocas gasosas de plantas de feijão-caupi sob irrigação salina e doses de potássio. **Revista Agro@mbiente**, v.9, n.2, p. 111-118, 2015.
- RHOADES, J. D.; KANDIAH, A.; MASHALI, A. M. **Uso de águas salinas para produção agrícola**. Trad. GHEYI, H. R.; SOUSA, J. R. de.; QUEIROZ, J. E. Campina Grande: UFPB, 2000.
- RIBEIRO, G. M.; MAIA, C. E.; MEDEIROS, J. F. Uso da regressão linear para estimativa da relação entre a condutividade elétrica e a composição iônica da água de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, p.15-22, 2005.
- SÁ, F. V. DA S.; BRITO, M. E. B.; FERREIRA, I. B.; ANTONIO NETO, P.; SILVA, L. A.; COSTA, F. B. Balanço de sais e crescimento inicial de mudas de pinheira (*Annona aquamosa* L.) sob substratos irrigados com água salina. **Irriga**, v.1, 20, n. 3, p.544-556, 2015.
- SÃO JOSÉ, A. R.; PIRES, M. M.; FREITAS, A. L. G. E. DE.; RIBEIRO, D. P.; PEREZ, L. A. A. Atualidades e perspectivas das Anonáceas no mundo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.36, n. especial, 2014.
- SÃO JOSÉ, A. R.; PRADO, N. B.; BOMFIM, M. P.; REBOUÇAS, T. N. H.; MENDES, H. T. A. Marcha de absorção de nutrientes em anonáceas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 36, n. 1, p.176-183, 2014.
- SCHOSSLER, T. R.; MACHADO, D. M.; ZUFFO, A. M.; ANDRADE, F. R. PIAULINO, A. C. Salinidade: efeitos na fisiologia e na nutrição mineral de Plantas. **Enciclopédia biosfera. Centro Científico Conhecer**, v.8, n.15; p. 2012.
- SCOTTI-CAMPOS, P.; PHAM-THI, A. T.; SEMEDO, J. N.; PAIS, I. P.; RAMALHO, J. C.; MATOS, M.C. Physiological responses and membrane integrity in three Vigna genotypes with contrasting drought tolerance. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, v.25, n.12, p.1002-1013, 2013.

- SENTHIL, R.; SILAMBARASAN, R. Annona: A new biodiesel for diesel engine: A comparative experimental investigation. **Journal of the Energy Institute**, v.88, n.4, p.459-469, 2015.
- SHANNON, M. C.; RHOADES, J. H.; DRAPER, J. H.; SCARDACI, S. C.; SPYRES, M. D. Assessment of salt tolerance in rice cultivars in response to salinity problems in California. **Crop Science**, v. 38, p. 394-398, 1998.
- SILVA, A.Q.; SILVA, H. **Nutrição e adubação em anonáceas**. In: SÃO JOSÉ, A.R. et al. (Ed.). Anonáceas: produção e mercado pinha, graviola, atemóia e cherimóia. Vitória da Conquista: UESB-DFZ, p.118-137,1997.
- SILVA, E. E; ALBUQUERQUE, E. E. B; ROCHA, T. C. S; SANTOS, M; SILVA, C. B; SILVA, R. C; SILVA. K. B; COSTA, J. G. Estudo fitossociológico da comunidade infestante no pomar de pinha (*Annona squamosa* L.) no Município de Rio Largo – Alagoas. **Revista Craibeiras de Agroecologia** v. 5, n. 1, p. e9435, 2020.
- SILVA, E. N.; SILVEIRA, J. A. G.; FERNANDES, C. R. R. DUTRA, A. T. B.; ARAGÃO, R, M. Acumulo de íons e crescimento de pinhão – manso sob diferentes níveis de salinidade. **Revista Ciência Agronômica**, v. 40, n. 02, p. 240-246, 2009.
- SILVA, E.A.; C. OLIVEIRA, J. A.; RIBEIRO M. D. S.; RAFAEL G. G.; MOREIRA R. C. L.; SOUSA, V. F. de O. trocas gasosas de pinheira (*Annona squamosa* L.) em diferentes teores de matéria orgânica sob estresse salino. **In: IV INOVAGRI INTERNATIONAL MEETING**. 2017, Fortaleza. Anais Fortaleza: Inovagri, 2017.
- SILVA JÚNIOR, L. G. A.; GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J. F. de. Composição química de águas do cristalino do Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 3, n. 1, p. 11-17, 1999.
- SILVA, J. L. A.; MEDEIROS, J. F.; ALVES, S.S. V.; OLIVEIRA, F. A.; SILVA JUNIOR, M. J.; NASCIMENTO, I. B. Uso de águas salinas como alternativa na irrigação e produção de forragem no semiárido nordestino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, (Suplemento), p. 66–72, 2014.
- SILVA, L. A.; BRITO, M. E. B.; SÁ, F. V. S.; MOREIRA, R. C. L.; SOARES FILHO, W. S.; FERNANDES, P. D. Mecanismos fisiológicos de percepção do estresse salino de híbridos de porta-enxertos citros em cultivo hidropônico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n. Especial, p. S1-S7, 2014.
- SMART, R. E.; BINGHAM, G. E.; **Rapid Estimates of Relative Water Content Plant Physiol.** v. 53, p. 258-260, 1974.

- TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (org.). Manual de métodos de análise de solo. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 573 p.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5.ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918 p.
- VELOSO, L. L. DE S. A.; SILVA, A. A. R.; CAPITULINO, J. D. LIMA G. S. DE.; AZEVEDO, C. A. V. DE.; GHEYI, H. R.; NOBRE, R. G.; FERNANDES, P. D. Photochemical efficiency and growth of soursop rootstocks subjected to salt stress and hydrogen peroxide. **AIMS Agriculture and Food**, v. 5, n.1, p.1–13, 2019.
- VIANA, A. P.; BRUCKNER, C. H.; MARTINEZ, H. E. P.; HUAMAN, C. A. M.; MOSQUIM, P. R. Teores de Na, K, Mg e Ca em porta-enxertos de videira em solução salina. **Scientia Agricola**, v. 58, n. 1, p.187-191, 2001.
- VIANA, E. M.; KIEHL, J. C. Doses de nitrogênio e potássio no crescimento do trigo. **Bragantia**, v. 69, n. 4, p. 975-982, 2010.
- VIANA, J.S. Implantação de um Pomar de Pinha Irrigada no Distrito Federal. **Boletim Técnico**, Brasília, DF. p. 37, 2005.
- WEATHERLEY, P. E. Studies in the water relations of the cotton plant: The field measurements of water deficits in leaves. **New Phytologist**, v. 49, n. 1, p. 81-97, 1950.
- YAHYA, A. Salinity effects on growth and uptake and distribution on sodium and some essential mineral nutrients in sesame. **Journal of Plant Nutrition**, v.21, n.2, p.1439-1451, 1998.
- ZHU, J. K. Regulation of ion homeostasis under salt stress. **Current Opinion in Plant Biology**, v.6, n.5, p. 441-445, 2003.
- ZÖRB, C.; SENBAYRAM, M.; PEITER, E. Potassium in agriculture: Status and perspectives. **Journal of Plant Physiology**, v.171, n.9, p.656-669, 2014.

CAPITULO I

PIGMENTOS FOTOSSINTÉTICOS, EFICIÊNCIA FOTOQUÍMICA E CRESCIMENTO DA PINHEIRA SOB ESTRESSE SALINO E DOSES DE POTÁSSIO

PIGMENTOS FOTOSSINTÉTICOS, EFICIÊNCIA FOTOQUÍMICA E CRESCIMENTO DA PINHEIRA SOB ESTRESSE SALINO E DOSES DE POTÁSSIO

RESUMO: O estresse salino destaca-se como um dos principais fatores limitantes na produção agrícola no semiárido do Nordeste brasileiro, devido os efeitos de natureza osmótica e iônica sobre as plantas. Neste contexto, objetivou-se com este trabalho avaliar os pigmentos fotossintéticos, a eficiência fotoquímica e o crescimento da pinheira irrigada com águas de distintos níveis salinos e doses de potássio. A pesquisa foi realizada sob condições de campo na fazenda experimental do Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar da Universidade Federal de Campina Grande, em São Domingos-PB. Foi utilizado o delineamento em blocos casualizados, arranjos em esquema fatorial 2 x 5 sendo dois níveis de condutividade elétrica da água de irrigação - CEa (1,3 e 4,0 dS m⁻¹) e cinco doses de potássio (50, 75, 100, 125 e 150% de K₂O). A dose referente a 100% correspondeu a 20 g de K₂O planta⁻¹ ano. A salinidade da água de 4,0 dS m⁻¹ reduziu a síntese de clorofila *a*, total e carotenoides nas plantas de pinheira, aos 210 dias após o transplântio. Adubação com doses de 50 a 150% da recomendação de K₂O inibiu a síntese de clorofila *b* nas plantas de pinheira irrigadas com água de 4,0 dS m⁻¹. A redução na eficiência quântica do fotossistema II nas plantas de pinheira cultivadas sob salinidade da água de 4,0 dS m⁻¹ está relacionada aos danos fotoinibitórios no fotossistema II. A adubação potássica não inibiu o estresse causado pela salinidade da água de 4,0 dS m⁻¹ reduzindo o crescimento das plantas de pinheira, no período de 151-245 dias após o transplântio.

Palavras-chave: *Annona squamosa*, salinidade, adubação, semiárido.

PHOTOSYNTHETIC PIGMENTS, PHOTOCHEMICAL EFFICIENCY AND GROWTH OF PINE UNDER SALT STRESS AND POTASSIUM DOSES

Abstract: Saline stress stands out as one of the main limiting factors in agricultural production in the semiarid region of Northeast Brazil, due to the effects of osmotic and

ionic nature on plants. In this context, the objective of this work was to evaluate photosynthetic pigments, photochemical efficiency and the growth of pine irrigated with waters of different saline levels and doses of potassium. The research was carried out under field conditions at the experimental farm of the Center for Science and Agri-Food Technology at the Federal University of Campina Grande, in São Domingos-PB. A randomized block design was used, arranged in a 2 x 5 factorial scheme, with two levels of electrical conductivity of the irrigation water - EC_w (1.3 and 4.0 dS m⁻¹) and five doses of potassium (50, 75, 100, 125 and 150% K₂O). The 100% dose corresponded to 20 g of K₂O plant⁻¹ year. The water salinity of 4.0 dS m⁻¹ reduced the synthesis of chlorophyll a, total and carotenoids in pine plants, 210 days after transplanting. Fertilization doses of 50 to 150% of the K₂O recommendation inhibited chlorophyll b synthesis in pine plants irrigated with water of 4.0 dS m⁻¹. The reduction in the quantum efficiency of photosystem II in pine plants grown under 4.0 dS m⁻¹ water salinity is related to photoinhibitory damage in photosystem II. The reduction in the quantum efficiency of photosystem II in pine plants grown under 4.0 dS m⁻¹ water salinity is related to photoinhibitory damage in photosystem II. Potassium fertilization did not inhibit the stress caused by water salinity of 4.0 dS m⁻¹, reducing the growth of pine plants, in the period of 151-245 days after transplanting.

Key words: *Annona squamosa*, salinity, fertilization, semiarid.

INTRODUÇÃO

Pertencente à família Annonaceae, a pinheira (*Annona squamosa*) é uma fruta nativa das Antilhas e da América do Sul que se destaca por seus efeitos benéficos à saúde humana, além de ser muito apreciada *in natura*, a pinha também é utilizada na indústria de alimentos para fabricação de sucos e sorvetes, devido à sua polpa branca cremosa (TU et al., 2016). Possui grande importância socioeconômica no Brasil, destacando-se a região Nordeste, com maior produção nacional, principalmente nos estados de Alagoas, Bahia, Ceará e Pernambuco (MEDEIROS et al, 2014).

Entretanto, nesta região, são comuns altas temperaturas, baixos índices pluviométricos, distribuição irregular de chuvas e intensa evaporação na maioria dos meses do ano, o que torna indispensável à prática da irrigação para garantir segurança na produção agrícola (LIMA et al., 2019). No entanto, a maioria das águas usadas na

irrigação contém um teor relativamente alto de sais, especialmente sódio e cloreto, sendo um dos principais obstáculos para o sistema de produção agrícola, pois o excesso de sais inibe o crescimento e a produção das plantas devido a efeitos osmóticos, tóxicos e danos à absorção de nutrientes essenciais, como o potássio, causando um desequilíbrio na relação K^+/Na^+ , responsável pelo ajuste osmótico nas plantas (VIEIRA et al., 2016; ZORB et al., 2019).

Nos últimos anos, muitas pesquisas vêm sendo desenvolvidas com o intuito de se obter alternativas de reduzir os efeitos deletérios de estresse abióticos sobre as plantas e, uma dessas estratégias é a utilização da adubação potássica (KAUSAR et al., 2014). Sabe-se que o potássio desempenha um papel importante na fisiologia do estresse salino, pois atua na ativação enzimática, fotossíntese, síntese proteica, osmorregulação, transferência de energia e movimento estomático, podendo atenuar os efeitos de estresses abióticos, como salinidade e seca (ASHRAF et al., 2013; WANG et al., 2013).

Neste sentido, a melhoria do estado nutricional com a adubação potássica em plantas submetidas ao estresse salino pode ser usada como ferramenta para minimizar os danos celulares oxidativos, com decréscimos na formação de espécies reativas de oxigênio durante a fotossíntese e inibição da NADPH oxidase (SERRANO e RODRIGUEZ-NAVARRO, 2001). Diversos estudos sugerem que o suprimento adequado de potássio pode atenuar os efeitos negativos da salinidade em diferentes culturas, como o morango (KHAYYAT et al., 2009); meloeiro (GURGEL et al., 2010) e aceroleira (LIMA et al., 2019).

Entretanto, poucas informações estão disponíveis sobre os efeitos interativos entre a salinidade e a fertilização potássica nas respostas fisiológicas das plantas, sendo importantes para melhoria das práticas de produção das frutíferas, especialmente na pinheira em solos em condições onde apenas estejam disponíveis águas com maiores teores de sais (SONG et al., 2019). Neste contexto, objetivou-se com este trabalho avaliar os pigmentos fotossintéticos, a eficiência fotoquímica e o crescimento da pinheira irrigada com águas de distintos níveis salinos e doses de potássio.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada em vasos adaptados como lisímetros de drenagem em condições de campo, na Fazenda Experimental Rolando Enrique Rivas Castellon

pertencente ao Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar da Universidade Federal de Campina Grande (CCTA/UFCG), localizado no município de São Domingos, Paraíba, nas coordenadas geográficas 6°48'48.8" Latitude S 37°56'16.5" de Longitude W a uma altitude de 194 m.

O experimento foi instalado com delineamento em blocos casualizados, arranjos em esquema fatorial 2 x 5 sendo dois níveis de condutividade elétrica da água de irrigação - CEa (1,3 e 4,0 dS m⁻¹) e cinco doses de potássio (50, 75, 100, 125 e 150% de K₂O), quatro repetições perfazendo o total de quarenta unidades experimentais. A dose referente a 100% correspondeu a 20 g de K₂O planta⁻¹ por ano, conforme a recomendação para anonáceas para o primeiro ano de produção proposta por (SILVA; SILVA, 1997).

As mudas de pinheira foram obtidas por via seminífera, sendo semeadas duas sementes por sacola de polietileno com capacidade para 1,5 dm³, preenchidas com substrato, constituído da mistura de 75% de solo, 25% de areia e 25% de composto orgânico (esterco bovino) na proporção de 2:1:1 com o volume de 1,7 Kg. Após as emergências das plântulas, foi realizado o desbaste, deixando-se apenas uma planta por recipiente, quando estas estavam com 10 cm de altura. Ressalta-se que, desde o semeio, a irrigação foi realizada com a respectiva água salina.

Aos 190 dias após a semeadura, as mudas foram transplantadas para vasos adaptados como lisímetros de drenagem com capacidade de 310 L (54 cm de altura, 105 cm de diâmetro superior e 104 cm de diâmetro inferior), preenchidos com uma camada de 0,5 kg de areia, seguido de 310 kg de um solo de textura franco arenosa (profundidade 0-30 cm), devidamente destorroado e proveniente da Fazenda Experimental Rolando Enrique Rivas Castellón do município de São Domingos - PB, cujas características químicas e físicas (Tabela 1) foram obtidas conforme as metodologias propostas pela (TEIXEIRA et al., 2017).

Tabela 1. Características químicas e físicas do solo utilizado no experimento, antes da aplicação dos tratamentos.

Características químicas										
pH (H ₂ O)	M.O	P(cmolc kg ⁻¹).....						PST	CEes
(1:2,5)	dag kg ⁻¹	(mg kg ⁻¹)	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H ⁺ + Al ³⁺	%	(dS m ⁻¹)	
6,95	0,96	13,75	0,39	0,83	3,74	2,30	0,00	11,43	0,32	
Características físicas										
Fração granulométrica (g kg ⁻¹)			Classe	Umidade (kPa)		AD	Porosidade	Ds	Dp	
Areia	Silte	Argila	textural	33,42	1519,5	total	-----	(g cm ⁻³)----	
719,20	241,60	39,20	FA	12,24	4,58	7,66	47,76	1,40	2,68	

M.O – Matéria orgânica: Digestão Úmida Walkley-Black; Ca²⁺ e Mg²⁺ extraídos com KCl 1 M pH 7,0; Na⁺ e K⁺ extraídos utilizando-se NH₄OAc 1 M pH 7,0; Al³⁺ e (H⁺ + Al³⁺) extraídos utilizando-se CaOAc 0,5 M pH 7,0; CEes –

condutividade elétrica do extrato de saturação do solo; FA– Franco arenoso; AD – Água disponível; DA- Densidade do solo; DP- Densidade de partículas.

Cada lisímetro foi perfurado na base para permitir a drenagem e acoplada a um dreno transparente de 25 mm de diâmetro. A extremidade do dreno que ficou dentro do lisímetro foi envolvida com uma manta geotêxtil não tecida (Bidim OP 30) para evitar a obstrução do material de solo. Abaixo de cada dreno colocou-se um recipiente plástico com capacidade de 3 L para a coleta de água drenada visando estimativa do consumo de água pela planta. A água de menor condutividade elétrica (CEa) de $1,3 \text{ dS m}^{-1}$ foi obtida a partir de um poço artesiano localizado na fazenda experimental, já o maior nível salino ($4,0 \text{ dS m}^{-1}$) foi preparado pela adição de NaCl à água do menor nível salino, com base na relação entre CEa e a concentração de sais ($\text{mmolc L}^{-1} = 10 * \text{CEa dS m}^{-1}$) extraída de (RICHARDS, 1954).

As irrigações com os distintos níveis de condutividade elétrica da água foram realizadas diariamente, aplicando-se, em cada lisímetro, o volume de água correspondente à demanda hídrica da planta. O volume aplicado em cada evento de irrigação foi estimado por meio do balanço hídrico, considerando o volume de água aplicado às plantas no dia anterior e o volume drenado, quantificado na manhã do dia seguinte; e uma fração de lixiviação de 20% a cada 20 dias, a fim de propiciar a redução de parte dos sais acumulados na zona radicular.

As adubações com NPK foram realizadas em cobertura via fertirrigação, baseadas na recomendação de adubação para anonáceas proposta por Silva e Silva (1997), utilizando-se ureia, fosfato monoamônico e cloreto de potássio, como fontes de nitrogênio, fósforo e potássio, respectivamente. As adubações tiveram início aos 10 dias após o transplântio (DAT), sendo divididas em 24 parcelas iguais, aplicadas em intervalos de 15 dias durante todo o primeiro ano de produção. As doses de potássio foram fornecidas nas seguintes quantidades: 20, 30, 40, 50 e 60 g de K_2O por planta para as doses de 50%, 75%, 100%, 125% e 150%, respectivamente, sendo fornecidos também 50 g de N e 40 g P_2O_5 por planta, utilizando como fonte a ureia e MAP, respectivamente; a cada 15 dias, diluídos no menor nível salino ($1,3 \text{ dS m}^{-1}$). Em intervalos de quinze dias foi aplicada uma solução de micronutrientes contendo $1,5 \text{ g L}^{-1}$ de ubyfol [(N (15%); P_2O_5 (15%); K_2O (15%); Ca (1%); Mg (1,4%); S (2,7%); Zn (0,5%); B (0,05%); Fe (0,5%); Mn (0,05%); Cu (0,5%); Mo (0,02%)].

Ao longo do experimento, foram realizadas podas de formação, visando à padronização e adequação da cultura, eliminando-se a gema apical, com o auxílio de uma

tesoura de poda, quando a haste principal atingiu a altura de 50 cm do nível do solo, em seguida foram selecionadas três brotações selecionadas de acordo com a melhor distribuição na vertical e na horizontal, quando as pernas atingiram 50 cm de comprimento foram encurtadas a 30 cm, onde foram selecionados três ramos para cada perna, encurtando-os em seguida para 30 cm sempre que atingiam 50 cm de comprimento, conforme recomendação de (PEREIRA et al., 2011). No cultivo em campo foi estabelecido o espaçamento de 2,0 m entre fileiras e 2,0 m entre plantas.

Aos 210 DAS, avaliaram-se os pigmentos fotossintéticos: clorofila *a* (*Cl a*), *b* (*Cl b*), total (*Cl T*) e carotenoides (*Car*). Nesta mesma data, foi determinada a eficiência fotoquímica: fluorescência inicial (*F_o*), variável (*F_v*), máxima (*F_m*) e eficiência quântica do fotossistema II (*F_v/F_m*). O crescimento foi determinado no período de 151-245 DAT, pela taxa de crescimento absoluto (*TCA_{DC}*) e relativo do diâmetro de caule (*TCR_{DC}*).

Os teores de clorofila *a*, *b*, e carotenoides, foram determinados por meio de amostras de 5 discos do limbo da terceira folha madura a partir do ápice, conforme indica a metodologia proposta por (ARNON, 1949). A partir dos extratos, foram mensuradas as concentrações destes compostos nas soluções por meio de um espectrofotômetro no comprimento de onda de absorvância (ABS) (470, 646, e 663 nm), por meio das Eq. 1, 2 e 3:

$$Cl a = 12,21 ABS_{663} - 2,81 ABS_{646} \quad (1)$$

$$Cl b = 20,13 A_{646} - 5,03 ABS_{663} \quad (2)$$

$$Car = (1000 ABS_{470} - 1,82 Cl a - 85,02 Cl b)/198 \quad (3)$$

Em que: *Cl a* = Clorofila *a*; *Cl b* = Clorofila *b*; e *Car* = Carotenoides totais. Os valores obtidos para os teores de clorofila *a*, *b* e carotenoides nas folhas foram expressos em mg g⁻¹ de matéria fresca (mg g⁻¹ MF).

Para quantificação da fluorescência da clorofila *a* foram consideradas as folhas completamente expandidas, utilizando-se um fluorômetro portátil Plant Efficiency Analyser – PEA II®. As folhas selecionadas para a análise foram pré-adaptadas ao escuro, com clips apropriados, e após um período de 30 minutos foram feitas as leituras.

As taxas de crescimento de absoluto (TCA_{DC}) e relativo (TCR_{DC}) para o diâmetro do caule foram mensuradas no período de 151-245 DAT, de acordo com (BENINCASA, 2003), conforme Eq. 4 e 5.

$$TCA = \frac{(DC_2 - DC_1)}{(t_2 - t_1)} \quad (4)$$

Em que: TCA = taxa de crescimento absoluto em diâmetro do caule ($mm\ d^{-1}$),

DC_1 = Diâmetro de caule (mm) no tempo t_1 ,

DC_2 = Diâmetro de caule (mm) no tempo t_2 ,

$$TCR = \frac{(\ln DC_2 - \ln DC_1)}{(t_2 - t_1)} \quad (5)$$

Em que: TCR = Taxa de crescimento relativo do diâmetro de caule ($mm\ mm^{-1}\ d^{-1}$),

DC_1 = Diâmetro de caule (mm) no tempo t_1 ,

DC_2 = Diâmetro de planta (mm) no tempo t_2 ,

ln = logaritmo natural.

Os dados obtidos foram avaliados mediante análise de variância pelo teste 'F'. Nos casos de significância, fez-se teste de médias por Tukey ($p < 0,05$) para níveis salinos e regressões linear e quadrática ($p < 0,05$) para as doses de potássio utilizando-se o software Sisvar (FERREIRA, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Verifica-se através do resumo da análise de variância (Tabela 2) efeito significativo dos níveis salinos da água sobre os teores de clorofila *a*, *b*, total e carotenoides das plantas de pinheira. As doses de potássio não influenciaram de forma significativa nenhuma das variáveis analisadas. A interação entre os fatores (NS x DK) afetou significativamente apenas nos teores de clorofila *b* em plantas de pinheira.

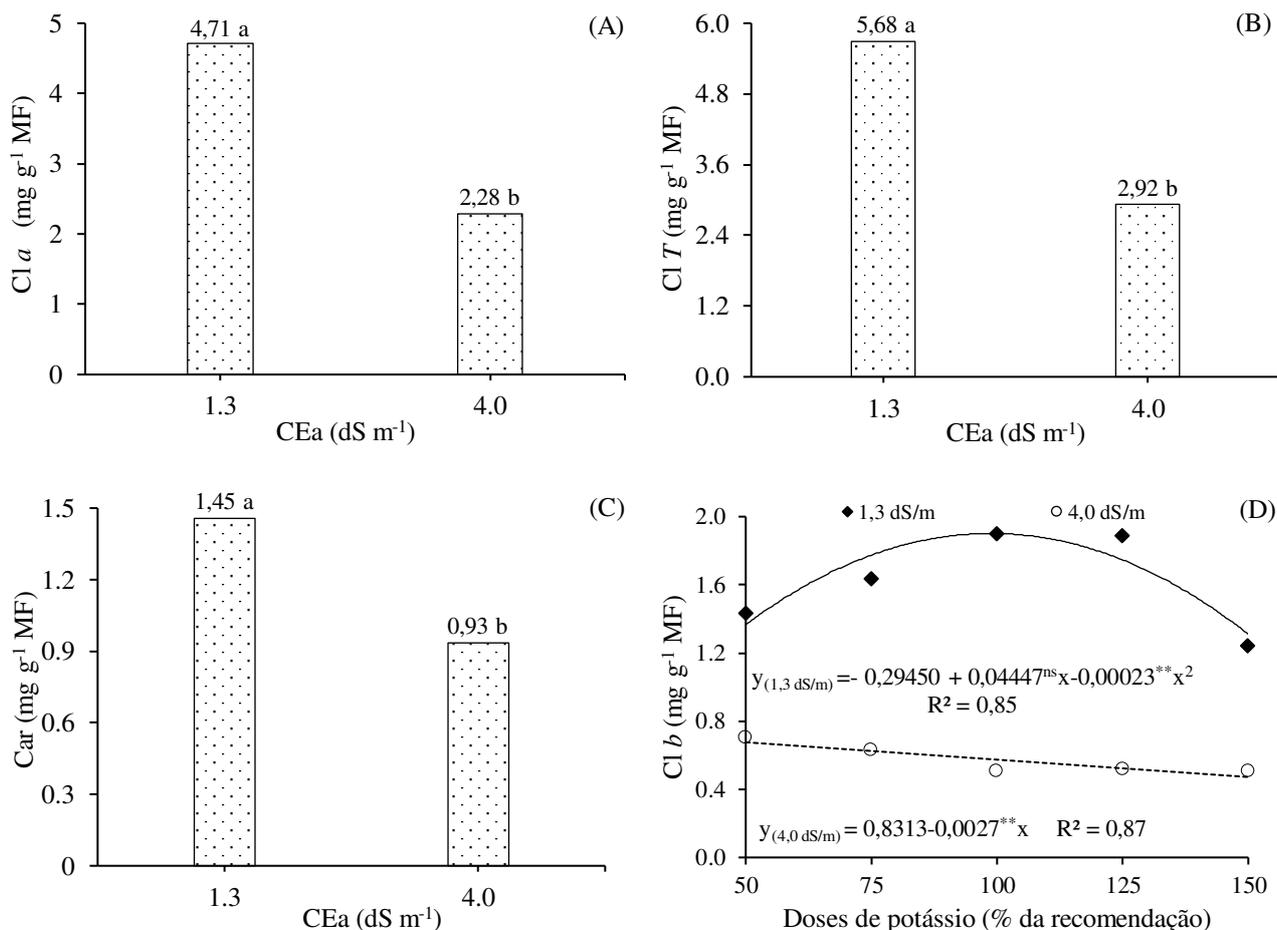
Tabela 2. Resumo da análise de variância para os teores de clorofila *a* (Cl *a*), *b* (Cl *b*), carotenoides (Car) e total (Cl *T*) de plantas de pinheira cultivadas com águas salinas e doses de potássio, aos 210 dias após o transplântio.

Fontes de variação	GL	Quadrado Médio			
		Cl <i>a</i>	Cl <i>b</i>	Car	Cl <i>T</i>
Níveis salinos (NS)	1	58,87**	10,70**	2,73*	76,34**
Doses de potássio (DK)	4	0,69 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,02 ^{ns}	1,94 ^{ns}
Regressão linear	1	0,10 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,001 ^{ns}	0,39 ^{ns}

Regressão quadrática	1	0,32 ^{ns}	0,45 ^{ns}	0,0008 ^{ns}	0,0002 ^{ns}
Interação (NS x DK)	4	2,92 ^{ns}	0,20 [*]	0,10 ^{ns}	3,89 ^{ns}
Blocos	3	0,57 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,03 ^{ns}	2,68 ^{ns}
Resíduo	27	1,66	0,06	0,13	2,55
CV (%)		36,91	23,73	30,70	37,13

^{ns}, ^{**}, ^{*} respectivamente não significativo, significativo a $p < 0,01$ e $p < 0,05$.

Os teores de clorofila *a* das plantas de pinheira foram reduzidos de forma significativa com o incremento nos níveis de salinidade da água (Figura 1A). As plantas submetidas à CEa de 1,3 dS m⁻¹ obtiveram um teor de Cl *a* superior estatisticamente ao das que foram irrigadas com água de maior nível salino (4,0 dS m⁻¹). Comparando-se, as plantas cultivadas sob CEa de 4,0 dS m⁻¹ em relação as irrigadas com salinidade da água de 1,3 dSm⁻¹, verifica-se redução de 51,59% (2,43 mg g⁻¹ MF). A redução na síntese de clorofila *a* em plantas cultivadas sob estresse salino tem sido considerada um sintoma típico de estresse oxidativo e pode ser atribuída à inibição da síntese de clorofila, juntamente com a ativação de sua degradação pela enzima clorofilase, destacando como mecanismo de fotoproteção através da redução da absorvância da luz pela diminuição do teor de clorofila (TAIBI et al., 2016). Lima et al. (2018) em pesquisa avaliando-se os teores de pigmentos fotossintéticos em plantas de aceroleira cv. BRS 366 Jaburu cultivada com águas com diferentes níveis de salinidade (CEa de 0,8 e 3,8 dS m⁻¹) também constaram que o incremento nos níveis de CEa afetou negativamente a biossíntese de clorofila *a*.



Médias seguidas por letras diferentes indicam diferença significativa entre os tratamentos pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Figura 1. Teores de clorofila *a* – Cl *a* (A), total – Cl *T* (B) e carotenoides - Car (C) de plantas de pinheira cultivadas com águas salinas – CEa e teores de clorofila *b* – Cl *b* (D) em função da interação entre os fatores níveis de CEa e doses de potássio, aos 210 dias após o transplante.

A salinidade da água inibiu a síntese de pigmentos totais das plantas de pinheira e através do teste de médias (Figura 1B) verifica-se que as plantas cultivadas sob CEa de 1,3 dS m⁻¹ tiveram os teores de Cl *T* superior estatisticamente ao das que foram submetidas ao maior nível salino (4,0 dS m⁻¹). As plantas de pinheira sob irrigação com CEa de 4,0 dS m⁻¹ diminuíram em 48,59% (2,76 mg g⁻¹ MF) em relação as que foram submetidas a salinidade da água de 1,3 dSm⁻¹. A diminuição nos teores de clorofila totais está em consonância com os declínios obtidos nos teores de clorofila *a* e *b* (Figura 1A e 1D). Nas plantas cultivadas sob salinidade da água, o excesso de sais (especialmente os íons tóxicos Na⁺ e Cl⁻), proporciona desequilíbrios entre a produção e a remoção das espécies reativas do oxigênio (EROs), ocasionando-se um desbalanço e aumento nos

níveis de EROs, desencadeando-se o estresse oxidativo, fato que acarreta uma série de alterações nos mecanismos metabólicos, associados a síntese de pigmentos fotossintéticos (SILVA et al., 2016). A diminuição nos teores de clorofila é geralmente acompanhada pela inativação de reações fotoquímicas, especialmente aquelas mediadas pelo fotossistema II (PSII) em plantas expostas ao estresse salino (ZHAO et al., 2019).

Os teores de carotenoides da pinheira diminuíram acentuadamente com o incremento nos níveis salinos da água e através do teste de médias (Figura C) constata-se que os teores de Car das plantas irrigadas com água de 4,0 dS m⁻¹ foram inferiores estatisticamente ao observado nas submetidas a CEa de 1,3 dS m⁻¹. Comparando-se as plantas irrigadas com CEa de 4,0 dSm⁻¹ em relação as que estavam sob menor nível salino da água (1,3 dSm⁻¹), verifica-se redução nos teores de Car de 0,52 mg g⁻¹ MF. Os carotenóides funcionam como coletores de energia luminosa para a fotossíntese e na dissipação do excesso de energia através do ciclo da xantofila e podem atuar como estabilizadores da membrana dos cloroplastos que particionam entre complexos de captação de luz e a fase lipídica das membranas tilacóides, reduzindo a fluidez da membrana e a suscetibilidade à peroxidação lipídica. Além disso, diminuição nos teores de carotenóides é um indicativo que houve degradação da β-caroteno e a redução na formação de zeaxantina (TAIBI et al., 2016).

Os teores de clorofila *b* das plantas de pinheira foram influenciados significativamente pela interação entre os fatores (NS x DK). As plantas de pinheira irrigadas com água de 1,3 dS m⁻¹ os dados se ajustaram ao modelo quadrático, com valor máximo estimado de 1,848 mg g⁻¹ de MF obtido quando se utilizaram doses de potássio de 97% da recomendação de K₂O (Figura D). Ao comparar as plantas adubadas com 150% de K₂O em relação as que receberam a menor dose (50% de K₂O), verifica-se redução nos teores de clorofila *b* de 0,160 mg g⁻¹ MF. Já nas plantas submetidas à salinidade da água de 4,0 dS m⁻¹, os teores de Cl *b* decresceram de forma linear, com diminuição de 8,11% por incremento de 25% na dose de K₂O. Sob salinidade da água 4,0 dS m⁻¹, as plantas adubadas com 150% de K₂O diminuíram a síntese de clorofila *b* em 38,77% (0,270 mg g⁻¹ MF) em comparação com as submetidas a menor dose de K₂O (50%). Dessa forma, fica evidenciado que os efeitos deletérios do estresse salino sobre a síntese de clorofila *b* foram intensificados com o aumento nas doses de K₂O nas plantas cultivadas com CEa de 4,0 dS m⁻¹. Corroborando com os resultados obtidos neste estudo, Lima et al. (2020) avaliando os pigmentos fotossintéticos do maracujazeiro BRS Rubi do

Cerrado em função do estresse salino (CEa de 0,3 a 3,5 dS m⁻¹) e adubação potássica (Doses de 50 e 100% de K₂O) constataram que doses de 50% de K₂O minimizou os efeitos do estresse salino sobre os teores de clorofila *b* quando as plantas foram cultivadas sob o menor nível de CEa. Contudo, a adubação com 100% de K₂O resultou em diminuição nos teores de Cl *b* das plantas submetidas ao maior nível de salinidade (3,5 dS m⁻¹).

A partir do resumo da análise de variância (Tabela 3), verifica-se efeito significativo dos níveis salinos da água sobre a fluorescência inicial (Fo), variável (Fv), máxima (Fm), eficiência quântica do fotossistema II (Fv/Fm) das plantas de pinheira, aos 210 dias após o transplântio e para taxa de crescimento relativo de diâmetro de caule no período de 151-245 DAT. As doses de potássio não influenciaram de forma significativa nenhuma das variáveis analisadas. Contudo, a interação entre os fatores (NS x DK) proporcionou efeito significativo sobre a taxa de crescimento absoluto (TCA_{DC}) e relativo do diâmetro de caule (TCR_{DC}) da pinheira.

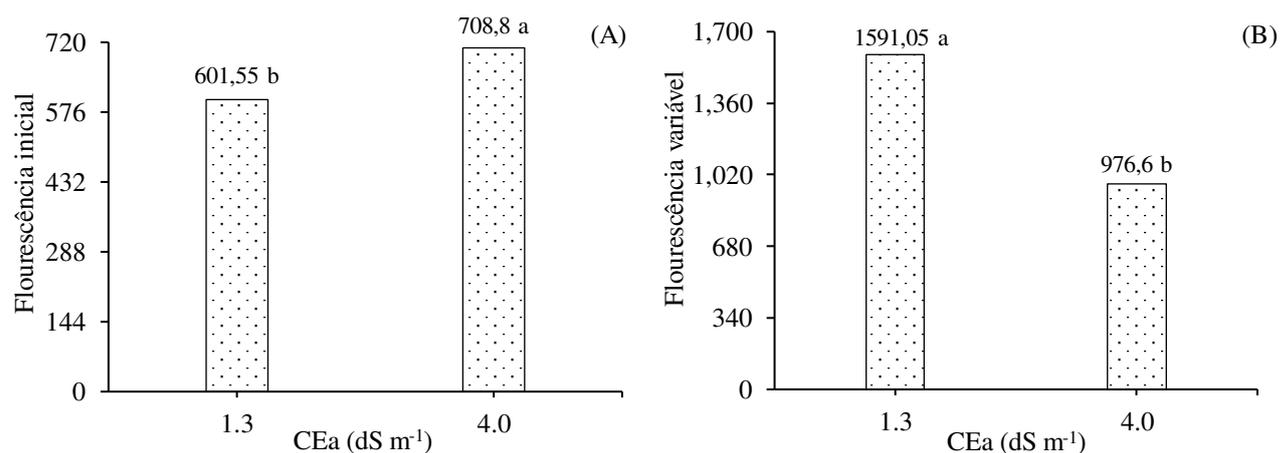
Tabela 3. Resumo da análise de variância para fluorescência inicial (Fo), variável (Fv), máxima (Fm) e eficiência quântica do fotossistema II (Fv/Fm), aos 210 dias após o transplântio (DAT) e taxa de crescimento absoluto (TCA_{DC}) e relativo do diâmetro de caule (TCR_{DC}) no período de 151-245 DAT das plantas de pinheira cultivadas com águas salinas e doses de potássio.

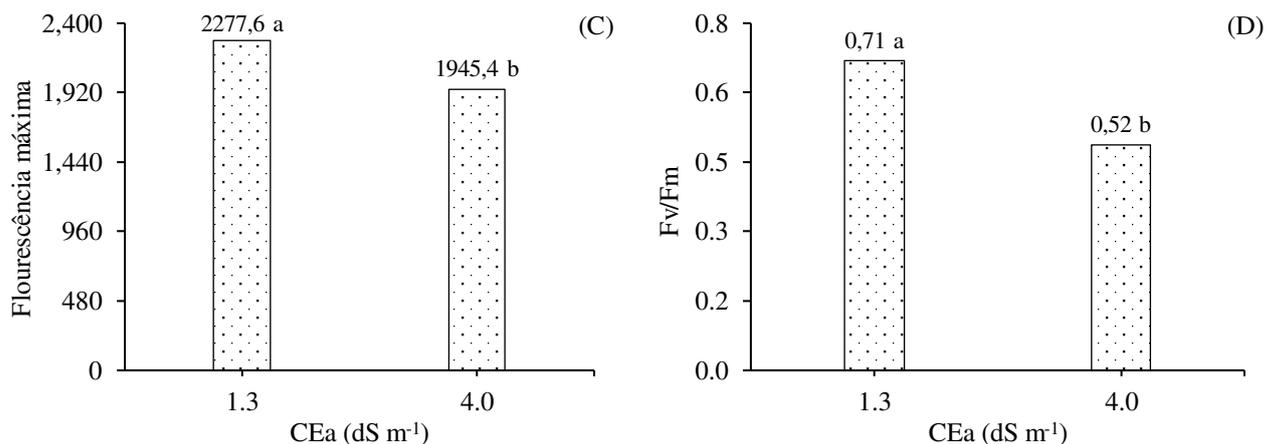
Fontes de variação	GL	Quadrado Médio					
		Fo	Fv	Fm	Fv/Fm	TCA _{DC}	TCR _{DC}
Níveis salinos (NS)	1	115025,62*	3775488,02**	1103568,40*	0,37*	0,001 ^{ns}	0,00009*
Doses de potássio (DK)	4	1813,22 ^{ns}	51040,16 ^{ns}	41279,50 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,0005 ^{ns}	0,000009 ^{ns}
Regressão linear	1	500,00 ^{ns}	3498,01 ^{ns}	64468,01 ^{ns}	0,007 ^{ns}	0,001 ^{ns}	0,00001 ^{ns}
Regressão quadrática	1	6032,89 ^{ns}	113220,72 ^{ns}	12495,43 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,0001 ^{ns}	0,000001 ^{ns}
Interação (NS x DK)	4	4766,37 ^{ns}	89234,71 ^{ns}	207483,02 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,015**	0,0001**
Blocos	3	6656,62 ^{ns}	84194,29 ^{ns}	57236,73 ^{ns}	0,007 ^{ns}	0,001 ^{ns}	0,000007 ^{ns}
Resíduo	27	5644,06	63491,97	146672,86	0,031	0,0005	0,000009

CV (%)	11,47	19,63	18,14	28,74	19,19	22,97
--------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

ns, **, * respectivamente não significativo, significativo a $p < 0,01$ e $p < 0,05$.

A fluorescência inicial das plantas de pinheira submetidas à salinidade da água de 4,0 dS m⁻¹ foi significativamente superior ao das que receberam CEa de 1,3 dS m⁻¹. Ao comparar as plantas de pinheira irrigadas com CEa de 4,0 dS m⁻¹ tiveram um incremento na Fo de 15,13% (107,25) em comparação aos que estavam sob o menor nível salino da água (1,3 dS m⁻¹). A fluorescência inicial é o momento em que a Quinona A (receptora primária de elétrons do PSII) está totalmente oxidada e o centro de reação do PSII (P680) está aberto, situação iminente à ativação das reações fotoquímicas (AZEVEDO et al., 2011). Assim, nas plantas cultivadas sob estresse salino, o incremento na Fo é um indicativo de danos ao centro de reação do fotossistema II, ou redução da capacidade de transferência da energia da excitação do sistema coletor de luz para o centro de reação (PSII) Melo et al. (2017), como inativação de centros de reação parcialmente reversíveis ou mesmo irreversíveis de PSII, quando essas plantas foram submetidas a concentrações mais elevadas de sais (LUCENA et al., 2012). Sousa et al. (2016) ao avaliar a tolerância ao estresse salino (CEa de 0,6 e 3,0 dS m⁻¹) da laranjeira 'Mimo do Céu' enxertada em três porta-enxertos utilizando como parâmetros fisiológicos, a eficiência quântica do fotossistema II, também observaram incremento na Fo com o aumento da salinidade da água.





Médias seguidas por letras diferentes indicam diferença significativa entre os tratamentos pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Figura 2. Fluorescência inicial – F_o (A), variável – F_v (B), máxima – F_m (C) e eficiência quântica do fotossistema II - F_v/F_m (D) de plantas de pinheira cultivadas com águas salinas – CEa, aos 210 dias após o transplântio.

A fluorescência variável refere-se à capacidade da planta em transferir energia dos elétrons ejetados das moléculas de pigmento para a formação de NADPH, ATP e ferredoxina reduzida (FREIRE et al., 2014). Neste estudo, as plantas de pinheira foi afetada negativamente pelo aumento da salinidade da água de irrigação e de acordo com o teste de médias (Figura 2B) observa-se que as plantas cultivadas sob salinidade da água de 1,3 dS m⁻¹, obtiveram uma F_v superior em 38,61% (614,45) em relação as que foram submetidas a CEa de 4,0 dS m⁻¹. Considerando-se que a clorofila é o principal pigmento responsável pela captação da energia luminosa utilizada no processo de fotossíntese (SACRAMENTO et al., 2014), a diminuição na fluorescência está associada ao declínio na síntese de pigmentos fotossintéticos. Dias et al. (2019) ao avaliar o rendimento quântico da aceroleira cv. BRS 366 Jaburu sob condições de estresse salino (CEa de 0,8 e 3,8 dS m⁻¹), observaram que à medida que a salinidade da água aumentou de 0,8 para 3,8 dS m⁻¹, houve redução na fluorescência variável de 39,57%.

A fluorescência máxima das plantas de pinheira também foi reduzida de forma acentuada com o estresse salino. Verifica-se através do teste de médias (Figura 2C) que a F_m das plantas cultivadas sob salinidade da água de 1,3 dS m⁻¹ diferiram estatisticamente das que foram irrigadas com CEa de 4,0 dS m⁻¹. Comparando-se a F_m das plantas submetidas a CEa de 4,0 dS m⁻¹ em relação as que estavam sob o menor nível salino da água (1,3 dS m⁻¹), nota-se redução de 14,58% (332,2). A diminuição na F_m nas plantas submetidas ao estresse salino é um indicativo que houve deficiência na

fotorredução da quinona A (Q_A) nas membranas dos tilacóides e no fluxo de elétrons entre os fotossistemas (TATAGIBA et al. 2014). Redução na fluorescência máxima em função do estresse salino também foi observada em outras culturas como aceroleira (DIAS et al., 2019), cajueiro (LIMA et al., 2019) e em laranjeira 'Mimo do Céu' (SOUSA et al., 2016).

A eficiência quântica do fotossistema II (FSII) das plantas de pinheira, determinada através da relação entre F_v/F_m diminuiu com o incremento nos níveis salinos da água. De acordo com o teste de comparação de médias (Figura 2D), observa-se que a FSII das plantas irrigadas com água de $4,0 \text{ dS m}^{-1}$ foi reduzida significativamente em relação as submetidas a CEa de $1,3 \text{ dS m}^{-1}$. As plantas cultivadas sob CEa de $4,0 \text{ dS m}^{-1}$ tiveram uma redução na FSII de 26,76% em comparação as irrigadas com salinidade da água de $1,3 \text{ dS m}^{-1}$. Dessa forma, pode-se inferir que nas plantas submetidas à CEa de 1,3 e $4,0 \text{ dS m}^{-1}$ houve ocorrência de fotoinibição nos centros de reação do PSII ou fotoquimicamente inativo, pois quando o aparelho fotossintético se encontra intacto, os valores de F_v/F_m variam entre 0,75 e 0,85 (REIS; CAMPOSTRINI, 2011). De acordo com Carvalho et al. (2011), as alterações no processo fotossintético em plantas sob estresse salino, resultam em produção excessiva de EROs e na ausência de mecanismos eficientes de proteção (enzimáticos ou não) podem ocorrer alterações metabólicas que resultam em danos oxidativos.

A taxa de crescimento absoluto das plantas de pinheira (Figura 3A) foi afetada significativamente pela interação entre os fatores (NS x DK). Ao irrigar com CEa de 1,3 e $4,0 \text{ dS m}^{-1}$ ocorreu diminuição linear na TCA_{DC} , com decréscimos de 11,62 e 13,28% por incremento de 25% nas doses de potássio, respectivamente. Ao comparar a TCA_{DC} das plantas adubadas com 150% de K_2O em relação as que receberam 50% da recomendação, verifica-se redução de 60,60 e 72,37% ($0,110$ e $0,120 \text{ mm d}^{-1}$), respectivamente, nos níveis de CEa de 1,3 e $4,0 \text{ dS m}^{-1}$. Assim como observado nos teores de clorofila *b* (Figura 1D), o incremento nas doses de K_2O intensificaram os efeitos do estresse salino sobre a TCA_{DC} , com maior magnitude nas plantas cultivadas sob o maior nível salino da água ($4,0 \text{ dS m}^{-1}$). A redução no crescimento das plantas de pinheira com o aumento das doses de potássio pode estar relacionada ao efeito salino do fertilizante, pois o KCl possui um índice salino de 116%. Além disso, o excesso de sais solúveis na zona radicular promove alterações metabólicas, principalmente pela restrição na absorção de água e nutrientes, ocasionando redução na turgescência celular, com consequente diminuição da expansão celular (LIMA et al., 2019).

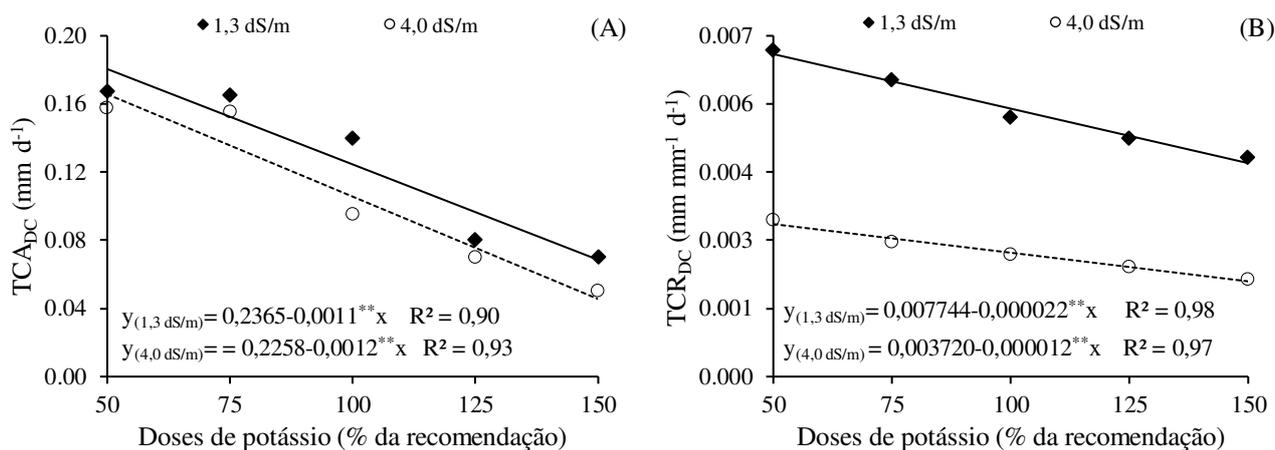


Figura 3. Taxa de crescimento absoluto – TCA_{DC} (A) e relativo – TCR_{DC} (B) do diâmetro de caule das plantas de pinheira em função da interação entre os níveis de salinidade da água - CEa e doses de potássio, no período de 151-245 dias após o transplantio.

A taxa de crescimento relativo do diâmetro do caule das plantas de pinheira também foi afetada significativamente pela interação entre os fatores (NS x DK). De acordo com as equações de regressão (Figura 3B), verifica-se comportamento linear decrescente para as plantas cultivadas sob CEa de 1,3 e 4,0 dS m⁻¹, cuja diminuição foi de 7,10 e 8,06% por incremento de 25% nas doses de K₂O, respectivamente. Ao comparar a TCR_{DC} das plantas irrigadas com CEa, de 1,3 e 4,0 dS m⁻¹, verifica-se redução de 33,11 e 38,46% entre as que foram adubadas com doses de 50 e 150% de K₂O, respectivamente. Assim como observado para TCA_{DC} (Figura 3A), o aumento nas doses de K₂O intensificaram os efeitos do estresse salino sobre as plantas de pinheira. A inibição no crescimento das plantas de pinheira devido ao aumento nas doses de K₂O, observado através da TCR_{DC} (Figura 3B) pode estar relacionada com a absorção competitiva em relação ao somatório total de cátions no interior da planta, pois, a elevada concentração de potássio induz deficiências de cálcio e magnésio, reduzindo o crescimento de toda a planta (ANDRIOLO et al., 2010).

CONCLUSÕES

A salinidade da água de 4,0 dS m⁻¹ reduz a síntese de clorofila *a*, total e carotenoides nas plantas de pinheira, aos 210 dias após o transplantio.

Doses de 50 a 150% da recomendação de K_2O inibe a síntese de clorofila *b* nas plantas de pinheira irrigadas com água com condutividade elétrica de $4,0 \text{ dS m}^{-1}$.

A redução na eficiência quântica do fotossistema II nas plantas de pinheira cultivadas sob salinidade da água de $4,0 \text{ dS m}^{-1}$ está relacionada aos danos fotoinibitórios no fotossistema II.

A adubação potássica não inibiu o estresse causado pela salinidade da água de $4,0 \text{ dS m}^{-1}$, além disso o aumento das doses de K promoveram a redução no crescimento das plantas de pinheira, no período de 151-245 dias após o transplantio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRIOLO, J. L.; JANISCH, D. I.; SCHMITT, O. J.; PICIO, M. D.; CARDOSO, F. L.; ERPEN, L. Doses de potássio e cálcio no crescimento da planta, na produção e na qualidade de frutas do morangueiro em cultivo sem solo. **Ciência Rural**, v.40, n.2, p.267-272, 2010.
- ARNON, D. I. Copper enzymes in isolated chloroplasts: polyphenoloxidases in *Beta vulgaris*. **Plant Physiology**, v.24, n.1, p.1-15, 1949.
- ASHRAF, M. Y.; RAFIQUE, N.; ASHRAF, M.; AZHAR, N.; MARCHAND, M. Effect of supplemental potassium (K^+) on growth, physiological and biochemical attributes of wheat grown under saline conditions. **Journal of Plant Nutrition**, v.36, n.3, p.443-58, 2013.
- AZEVEDO NETO, A. D. DE; PEREIRA, P. P. A.; COSTA, D. P.; SANTOS, A. C. C. DOS. Fluorescência da clorofila como uma ferramenta possível para seleção de tolerância à salinidade em girassol. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 4, p. 893-897, 2011.
- BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas, noções básicas**. 2.ed. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 41p.
- CARVALHO, F. E. L.; LOBO, A. K. M.; BONIFACIO, A.; MARTINS, M. O.; LIMA NETO, M. C.; SILVEIRA, J. A. G. Aclimação ao estresse salino em plantas de arroz induzida pelo pré-tratamento com H_2O_2 . **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.4, p.416-423, 2011.

- DIAS, A. S.; LIMA, G. S. DE; SÁ, F. V. DA S.; GHEYI, H. R.; SOARES, L. A. DOS A.; FERNANDES, P. D. Gas exchanges and photochemical efficiency of West Indian cherry cultivated with saline water and potassium fertilization. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.22, n.9, p.628-633, 2018.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: A computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v.35, n.6, p.1039-1042, 2011.
- FREIRE, J. L.O.; DIAS, T. J.; CAVALCANTE, L. F.; FERNANDES, P. D.; LIMA NETO, A. J. DE. Rendimento quântico e trocas gasosas em maracujazeiro amarelo sob salinidade hídrica, biofertilização e cobertura morta. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 45, n. 1, p. 82-91, 2014.
- GURGEL, M. T.; UYEDA, C. A.; GHEYI, H. R.; OLIVEIRA, F. H. T.; FERNANDES, P. D.; SILVA, F. V. Crescimento de meloeiro sob estresse salino e doses de potássio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.1, p.3-10, 2010.
- KAUSAR, A., ASHRAF, M. Y.; NIAZ, M. Some physiological and genetic determinants of salt tolerance in sorghum (*Sorghum bicolor* L.). **Pakistan Journal of Botany**, v.46, n.2, p.515-519, 2014.
- KHAYYAT, M.; TAFAZOLI, E.; RAJAEI, S.; VAZIFESHENAS, M.; MAHMOODABADI, M. R.; SAJJADINIA, A. Effects of NaCl and supplementary potassium on gas exchange, ionic content, and growth of salt-stressed strawberry plants. **Journal of Plant Nutrition**, v.2, n.6, p.907-918, 2009.
- LIMA, G. S. DE; DIAS, A. S.; SOUZA, L. DE P.; SÁ, F. V. DA S.; GHEYI, H. R.; SOARES, L. A. DOS A. Effects of saline water and potassium fertilization on photosynthetic pigments, growth and production of West Indian Cherry. **Revista Ambiente & Água**, v.13 n.3, e2164, 2018.
- LIMA, G. S. DE; FERNANDES, C. G. J.; SOARES, L. A. DOS A.; GHEYI, H. R.; FERNANDES, P. D. Gas exchange, chloroplast pigments and growth of passion fruit cultivated with saline water and potassium fertilization. **Revista Caatinga**, v.33, n.1, p.184-194, 2020.
- LIMA, G. S. DE; PINHEIRO, F.W. A.; DIAS, A. S.; GHEYI, H. R.; SOARES, L. A. DOS A.; SILVA, S. S. DA. Growth and production components of West Indian cherry cultivated with saline waters and potassium fertilization. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.23, n.4, p.250-256, 2019.

- LIMA, G. S. DE; SILVA NETO, V. E. DA; GHEYI, H. R.; NOBRE, R. G.; DINIZ, G. L.; SOARES, L. A. DOS A.; FERNANDES, P. D.; ALMEIDA, F. A. DE; PINHEIRO, F. W. A. Photosynthetic pigments and photochemical efficiency of precocious dwarf cashew (*Anacardium occidentale* L.) under salt stress and potassium fertilization. **AIMS Agriculture and Food**, v.4, n.4, p.1007-1019, 2019.
- LIMA, G. S.; PINHEIRO, F. W. A.; DIAS, A. S.; GHEYI, H. R.; SOARES, L. A. A.; SILVA, S. S. Growth and production components of West Indian cherry cultivated with saline waters and potassium fertilization. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.23, n.4, p.250-256, 2019.
- LIMA, G. S.; DIAS, A. S.; SOUZA, L. P.; SÁ, F. V. S.; GHEYI, H. R.; SOARES, L. A. A. Effects of saline water and potassium fertilization on photosynthetic pigments, growth and production of West Indian Cherry. **Revista Ambiente & Água**, v.13, n.3, e2164, 2018.
- LUCENA, C. C. DE; SIQUEIRA, D. L. DE; PRIETO, M. H. E.; CECON, P. R. Salt stress change chlorophyll fluorescence in mango. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.34, n.4, p.1245-1255, 2012.
- MEDEIROS, J. X.; SILVA, G. H.; SANTOS, R. V. Crescimento inicial de mudas de pinheira e goiabeira em solo salino-sódico com corretivos. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.9, n.2, p.59-65, 2014.
- MELO, H. F. DE; SOUZA, E. R. DE; CUNHA, J. C. Fluorescence of chlorophyll a and photosynthetic pigments in *Atriplex nummularia* under abiotic stresses. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.21, n.4, p.232-237, 2017.
- REIS, F. O.; CAMPOSTRINI, E. Microaspersão de água sobre a copa: um estudo relacionado às trocas gasosas e à eficiência fotoquímica em plantas de mamoeiro. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.17, n.1, p.284-295, 2011.
- RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington: U. S. Department of Agriculture, 1954. 160p. Agriculture Handbook, 60.
- SACRAMENTO, B. L.; CRUZ, T. S.; SILVA, L. L.; BARROS MOTA, N. A.; AZEVEDO NETO, A. D. Pigmentos e teores de solutos orgânicos em plantas de aguapé sob estresse salino. **Enciclopédia Biosfera**, v.10, n.18, p.3344-3354, 2014.
- Serrano, R.; Rodriguez-Navarro, A. Ion homeostasis during salt stress in plants. **Current Opinion in Cell Biology**, v.13, n.4, p.399-404, 2001.

- SILVA, A. R. A. DA; BEZERRA, F. M. L.; LACERDA, C. F. DE; SOUSA, C. H. C. DE; CHAGAS, K. L. Pigmentos fotossintéticos e potencial hídrico foliar em plantas jovens de coqueiro sob estresses hídrico e salino. **Revista Agro@ambiente On-line**, v.10, n.4, p.317-325, 2016.
- SONG, X.; ZHOU, G.; MA, B.; WU, W.; AHMAD, I.; ZHU, G.; YAN, W.; JIAO, X. Nitrogen application improved photosynthetic productivity, chlorophyll fluorescence, yield and yield components of two oat genotypes under saline conditions. **Agronomy**, v.9, n.3, p.115-122, 2019.
- SOUSA, J. R. M. DE; GHEYI, H. R.; BRITO, M. E. B.; LACERDA, C. F. DE; SILVA, F. V. DA; SOARES, F. A. L. Quantum efficiency of photosystem II and production of orange under salt stress and nitrogen fertilization. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.20, n.5, p.434-440, 2016.
- TAIBI, K.; TAIBI, F.; ABDERRAHIM, L. A.; ENNAJAH, A.; BELKHODJA, M.; MULET, J. M. Effect of salt stress on growth, chlorophyll content, lipid peroxidation and antioxidant defence systems in *Phaseolus vulgaris* L. **South African Journal of Botany**, v.105, n. , p.306-312, 2016.
- TATAGIBA, S. D.; MORAES, G. A. B. K.; NASCIMENTO, K. J. T.; PELOSO, A. DE F. Limitações fotossintéticas em folhas de plantas de tomateiro submetidas a crescentes concentrações salinas. **Engenharia na agricultura**, v.22, n.2, p.138-149, 2014.
- TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (org.). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 573 p.
- TU, W.; ZHU, J.; BI, S.; CHEN, D.; SONG , L.; WANG, L.; ZI, J.; YU, R. Isolation, characterization and bioactivities of a new polysaccharide from *Annona squamosa* and its sulfated derivative. **Carbohydrate Polymers**, v.152, n.2, p.287-296, 2016.
- VIEIRA, I. G. S.; NOBRE, R. G.; DIAS, A. S.; PINHEIRO, F. W. A. Cultivation of cherry tomato under irrigation with saline water and nitrogen fertilization. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.20, n.1, p.55-61, 2016.
- WANG, M.; ZHENG, Q.; SHEN, Q.; GUO, S. The critical role of potassium in plant stress response. **International Journal of Molecular Sciences**, v.14, n.4, p.7370–90, 2013.

ZHAO, H.; LIANG, H.; CHU, Y.; SUN, C.; WEI, N.; YANG, M.; ZHENG, C. Effects of Salt Stress on Chlorophyll Fluorescence and the Antioxidant System in *Ginkgo biloba* L. Seedlings. **HortScience**, v.54, n.12, p.2125-2133, 2019.

ZORB, C.; GEILFUS, C. M.; DIETZ, K. J. Salinity and crop yield. **Plant Biology**, v.21, n.s1, p.31–38, 2019.

CAPÍTULO II

DANO CELULAR, TROCAS GASOSAS E CRESCIMENTO DA PINHEIRA IRRIGADA COM ÁGUAS SALINAS E ADUBAÇÃO POTÁSSICA

DANO CELULAR, TROCAS GASOSAS E CRESCIMENTO DA PINHEIRA IRRIGADA COM ÁGUAS SALINAS E ADUBAÇÃO POTÁSSICA

RESUMO: A região semiárida do Nordeste brasileiro apresenta limitações hídricas em termos quantitativos e qualitativos, tendo com o estresse salino como fator limitante para o aumento da produtividade na maioria das culturas. Neste contexto, o presente estudo teve como objetivo, avaliar o dano celular, as trocas gasosas e o crescimento da pinheira sob estresse salino e adubação potássica. A pesquisa foi realizada sob condições de campo na fazenda experimental do CCTA/UFCG, em São Domingos-PB. Foi utilizado o delineamento em blocos casualizados, arranjos em esquema fatorial 2 x 5 sendo dois níveis de condutividade elétrica da água de irrigação - CEa (1,3 e 4,0 dS m⁻¹) e cinco doses de potássio (50, 75, 100, 125 e 150% de K₂O). A dose referente a 100% correspondeu a 20 g de K₂O planta⁻¹ ano. A salinidade da água de 4,0 dS m⁻¹ afetou de forma negativa o diâmetro de caule e o número de folhas da pinheira, aos 179 e 210 dias após o transplântio (DAT). O maior crescimento relativo em diâmetro de caule no período de 179-245 DAT foi obtido nas plantas irrigadas com água de 4,0 dS m⁻¹ e adubação com 99% de K₂O. Doses de potássio de até 150% de K₂O resultaram em maior percentual de dano celular e conteúdo relativo de água nos tecidos foliares da pinheira. Já o deficit de saturação hídrica diminuiu com o aumento nas doses de K₂O nas plantas irrigadas com água de 1,3 dS m⁻¹. Irrigação com água de 1,3 dS m⁻¹ e doses estimadas de K₂O variando de 88 a 108% resultaram em incremento na condutância estomática, transpiração, taxa de assimilação de CO₂ e eficiência instantânea de carboxilação das plantas de pinheira, aos 210 DAT.

Palavras-chaves: *Annona squamosa*, semiárido, estresse salino, atenuação.

CELL DAMAGE, GAS EXCHANGES AND GROWTH OF PINE IRRIGATED WITH SALINE WATER AND POTASSIUM FERTILIZATION

ABSTRACT: The semi-arid region of Northeast Brazil has water limitations in quantitative and qualitative terms, with saline stress as a limiting factor for increasing productivity in most crops. In this context, the present study aimed to assess cell damage, gas exchange and growth of pine under salt stress and potassium fertilization. The

research was carried out under field conditions at the experimental farm of CCTA/UFCG, in São Domingos-PB. A randomized block design was used, arranged in a 2 x 5 factorial scheme, with two levels of electrical conductivity of the irrigation water - ECw (1.3 and 4.0 dS m⁻¹) and five doses of potassium (50, 75, 100, 125 and 150% K₂O). The 100% dose corresponded to 20 g of K₂O plant⁻¹ year. The water salinity of 4.0 dS m⁻¹ negatively affected the stem diameter and the number of leaves of the pine tree, at 179 and 210 days after transplanting (DAT). The largest relative growth in stem diameter in the period 179-245 DAT was obtained in plants irrigated with water of 4.0 dS m⁻¹ and fertilization with 99% K₂O. Potassium doses of up to 150% K₂O resulted in a higher percentage of cell damage and relative water content in the leaf tissues of the pine. The water saturation deficit decreased with the increase in K₂O doses in plants irrigated with water of 1.3 dS m⁻¹. Irrigation with water of 1.3 dS m⁻¹ and estimated doses of K₂O ranging from 88 to 108% resulted in an increase in stomatal conductance, transpiration, CO₂ assimilation rate and instant carboxylation efficiency of pine plants, at 210 DAT.

Key words: *Annona squamosa*, semiarid, saline stress, mitigation.

INTRODUÇÃO

A salinidade é um dos principais estresses abióticos que ameaçam o rendimento das culturas e a produtividade das fruteiras em todo o mundo, estima-se que aproximadamente 831 milhões de hectares sejam afetadas, o que representa mais de 6% da superfície terrestre (MUNNS; GILLIHAM, 2015). As plantas que crescem sob condições salinas são expostas a várias condições desfavoráveis, que incluem baixo potencial hídrico no solo e desequilíbrio de nutrientes; com acumulação excessiva de sódio e/ou deficiência de Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺ nas plantas (CUIN; SHABALA, 2007; LIMA et al., 2020).

Entretanto, muitas espécies de plantas desenvolveram vários mecanismos de adaptação que permitem crescer sob condições salinas, incluindo baixa absorção de Na⁺ e minimizando a concentração de sais no citosol (ARZANI; ASHRAF, 2016). Outro mecanismo importante é a seletividade de K⁺ sobre Na⁺, a fim de manter uma alta proporção de K⁺/Na⁺ no citosol, sendo determinante para a tolerância à salinidade e foi sugerida como um dos critérios mais importantes para avaliar a tolerância à salinidade em um grande número de espécies vegetais (KIANIET al., 2015; HASANUZZAMAN et al., 2018).

Neste sentido, dentre as técnicas utilizadas para mitigação do estresse salino, destaca-se o manejo da adubação com fertilizantes potássicos, uma vez que, esse elemento favorece a formação e translocação de carboidratos e o uso eficiente da água pelas plantas, equilibra a aplicação de nitrogênio, atuando como ativador enzimático e agente de osmorregulação, controlando a abertura e o fechamento estomáticos, e seu manejo pode resultar em maior competição desse macroelemento com outros cátions, principalmente Na^+ (HEIDARI; JAMSHID, 2010; ARAÚJO et al., 2012).

Dentre as anonáceas cultivadas no semiárido brasileiro a pinheira (*Annona squamosa* L.) vem se destacando nos últimos anos, devido a uma expansão em sua área cultivada, além de um aumento significativo da quantidade de frutos ofertada, bem como a melhoria em sua qualidade (LE MOS, 2014; LEDERMAN, 2019). Além disso, as espécies de Annonaceae são consideradas de fácil adaptabilidade a diferentes condições edafoclimáticas, e algumas espécies crescem bem em climas quentes e úmidos de zonas tipicamente tropicais, mostrando bons níveis de produtividade, sendo comercialmente cultivadas em várias partes do mundo devido à lucratividade alcançada (SÃO JOSÉ et al., 2014).

Neste contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar os efeitos da irrigação com águas de distintos níveis salinos e adubação potássica sobre o dano celular, as trocas gasosas e o crescimento das plantas de pinheira.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada em vasos adaptados como lisímetros de drenagem em condições de campo, na Fazenda Experimental Rolando Enrique Rivas Castellon pertencente ao Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar da Universidade Federal de Campina Grande (CCTA/UFCG), localizado no município de São Domingos, Paraíba, nas coordenadas geográficas 6°48'48.8" Latitude S 37°56'16.5" de Longitude W a uma altitude de 194 m.

O experimento foi instalado com delineamento em blocos casualizados, arranjos em esquema fatorial 2 x 5 sendo dois níveis de condutividade elétrica da água de irrigação - CEa (1,3 e 4,0 dS m^{-1}) e cinco doses de potássio (50, 75, 100, 125 e 150% de K_2O), quatro repetições perfazendo o total de quarenta unidades experimentais. A dose referente

a 100% correspondeu a 20 g de K_2O planta⁻¹ por ano, conforme a recomendação para anonáceas para o primeiro ano de produção proposta por (SILVA; SILVA, 1997).

As mudas de pinha foram obtidas por via seminífera, sendo semeadas duas sementes por sacola de polietileno com capacidade para 1,5 dm³, preenchidas com substrato, constituído da mistura de 75% de solo, 25% de areia e 25% de composto orgânico (esterco bovino) na proporção de 2:1:1 com o volume de 1,7 Kg. Após as emergências das plântulas, foi realizado o desbaste, deixando-se apenas uma planta por recipiente, quando estas estavam com 10 cm de altura. Ressalta-se que, desde o semeio, a irrigação foi realizada com a respectiva água salina.

Aos 190 dias após a semeadura, as mudas foram transplantadas para vasos adaptados como lisímetros de drenagem com capacidade de 310 L (54 cm de altura, 105 cm de diâmetro superior e 104 cm de diâmetro inferior), preenchidos com uma camada de 0,5 kg de areia, seguido de 310 kg de um solo de textura franco arenosa (profundidade 0-30 cm), devidamente destorroado e proveniente da Fazenda Experimental Rolando Enrique Rivas Castellón do município de São Domingos - PB, cujas características químicas e físicas (Tabela 1) foram obtidas conforme as metodologias propostas pela (TEIXEIRA et al., 2017).

Tabela 1. Características químicas e físicas do solo utilizado no experimento, antes da aplicação dos tratamentos.

Características químicas									
pH (H ₂ O)	M.O	P	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H ⁺ + Al ³⁺	PST	CEes
(1:2,5)	dag kg ⁻¹	(mg kg ⁻¹)(cmolc kg ⁻¹).....					%	(dS m ⁻¹)
6,95	0,96	13,75	0,39	0,83	3,74	2,30	0,00	11,43	0,32
Características físicas									
Fração granulométrica (g kg ⁻¹)			Classe	Umidade (kPa)		AD	Porosidade	Ds	Dp
Areia	Silte	Argila	textural	33,42	1519,5		total	----- (g cm ⁻³)----	
			dag kg ⁻¹	%			
719,20	241,60	39,20	FA	12,24	4,58	7,66	47,76	1,40	2,68

M.O – Matéria orgânica: Digestão Úmida Walkley-Black; Ca²⁺ e Mg²⁺ extraídos com KCl 1 M pH 7,0; Na⁺ e K⁺ extraídos utilizando-se NH₄OAc 1 M pH 7,0; Al³⁺ e (H⁺ + Al³⁺) extraídos utilizando-se CaOAc 0,5 M pH 7,0; CEes – condutividade elétrica do extrato de saturação do solo; FA – Franco arenoso; AD – Água disponível; DA- Densidade do solo; DP- Densidade de partículas.

Cada lisímetro foi perfurado na base para permitir a drenagem e acoplada a um dreno transparente de 25 mm de diâmetro. A extremidade do dreno que ficou dentro do lisímetro foi envolvida com uma manta geotêxtil não tecida (Bidim OP 30) para evitar a obstrução do material de solo. Abaixo de cada dreno colocou-se um recipiente plástico com capacidade de 3 L para a coleta de água drenada visando estimativa do consumo de água pela planta. A água de menor condutividade elétrica (CEa) de 1,3 dS m⁻¹ foi obtida a partir de um poço artesiano localizado na fazenda experimental, já o maior nível salino

(4,0 dS m⁻¹) foi preparado pela adição de NaCl à água do menor nível salino, com base na relação entre CEa e a concentração de sais ($\text{mmolc L}^{-1} = 10 * \text{CEa dS m}^{-1}$) extraída de (RICHARDS, 1954).

As irrigações com os distintos níveis de condutividade elétrica da água foram realizadas diariamente, aplicando-se, em cada lisímetro, o volume de água correspondente à demanda hídrica da planta. O volume aplicado em cada evento de irrigação foi estimado por meio do balanço hídrico, considerando o volume de água aplicado às plantas no dia anterior e o volume drenado, quantificado na manhã do dia seguinte; e uma fração de lixiviação de 20% a cada 20 dias, a fim de propiciar a redução de parte dos sais acumulados na zona radicular.

As adubações com NPK foram realizadas em cobertura via fertirrigação, baseadas na recomendação de adubação para anonáceas proposta por Silva e Silva (1997), utilizando-se ureia, fosfato monoamônico e cloreto de potássio, como fontes de nitrogênio, fósforo e potássio, respectivamente. As adubações tiveram início aos 10 dias após o transplantio (DAT), sendo divididas em 24 parcelas iguais, aplicadas em intervalos de 15 dias durante todo o primeiro ano de produção. As doses de potássio foram fornecidas nas seguintes quantidades: 20, 30, 40, 50 e 60 g de K₂O por planta para as doses de 50%, 75%, 100%, 125% e 150%, respectivamente, sendo fornecidos também 50 g de N e 40 g P₂O₅ por planta, utilizando como fonte a ureia e MAP, respectivamente; a cada 15 dias, diluídos no menor nível salino (1,3 dS m⁻¹). Em intervalos de quinze dias foi aplicada uma solução de micronutrientes contendo 1,5 g L⁻¹ de ubyfol [(N (15%); P₂O₅ (15%); K₂O (15%); Ca (1%); Mg (1,4%); S (2,7%); Zn (0,5%); B (0,05%); Fe (0,5%); Mn (0,05%); Cu (0,5%); Mo (0,02%)].

Ao longo do experimento, foram realizadas podas de formação, visando à padronização e adequação da cultura, eliminando-se a gema apical, com o auxílio de uma tesoura de poda, quando a haste principal atingiu a altura de 50 cm do nível do solo, em seguida foram selecionadas três brotações selecionadas de acordo com a melhor distribuição na vertical e na horizontal, quando as pernas atingiram 50 cm de comprimento foram encurtadas a 30 cm, onde foram selecionados três ramos para cada perna, encurtando-os em seguida para 30 cm sempre que atingiam 50 cm de comprimento, conforme recomendação de (PEREIRA et al., 2011). No cultivo em campo foi estabelecido o espaçamento de 2,0 m entre fileiras e 2,0 m entre plantas.

O crescimento das plantas foi avaliado pelo número de folhas e diâmetro de caule aos 179, 210 e 245 dias após o transplântio (DAT). A partir dos dados de diâmetro de caule foi mensurada a taxa de crescimento relativo em diâmetro de caule (TCR_{DC}) no período de 179 a 245 DAT. Aos 210 DAT foi determinado o percentual de dano celular (%D), o conteúdo relativo de água (CRA), o déficit de saturação hídrica (DSH), a condutância estomática – g_s ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), a transpiração - E ($\text{mmol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$), a concentração interna de CO_2 - C_i ($\mu\text{mol mol}^{-1}$), a taxa de assimilação de CO_2 – A ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). A partir da razão entre A/C_i determinou-se a eficiência instantânea da carboxilação – EiC_i [$(\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}) (\mu\text{mol mol}^{-1})^{-1}$].

O percentual de dano na membrana celular foi obtido de acordo com (SCOTTI-CAMPOS et al., 2013), conforme Eq. 1.

$$\%D = \frac{CE_i}{CE_f} \times 100 \quad \text{Eq. 1}$$

Em que:

%D = Percentual de dano na membrana (%);

CE_i = condutividade elétrica inicial (dS m^{-1});

CE_f = condutividade elétrica final (dS m^{-1});

O conteúdo relativo de água foi feita de acordo com a metodologia de (WEATHERLEY, 1950) utilizando-se a Eq. 2:

$$CRA = \frac{MF-MS}{MT-MS} \times 100 \quad (2)$$

O DSH foi determinado de acordo com a metodologia descrita por (TAIZ; ZEIGER, 2013), conforme Eq. 3:

$$DSH = \frac{MT-MF}{MT-MS} \times 100 \quad (3)$$

Em que:

DSH = déficit de saturação hídrica (%);

MF = massa fresca de folha (g);

MT = massa túrgida (g);

MS = Massa seca (g).

A determinação das trocas gasosas foi realizada com um analisador de gás infravermelho - IRGA (Infra Red Gás Analyser, modelo LCpro – SD, da ADC Bioscientific, UK). As leituras foram realizadas entre 7:00 e 10:00 horas da manhã, na terceira folha totalmente expandida contada a partir da gema apical, conduzidas sob

condições naturais de temperatura do ar, concentração de CO₂ e utilizando uma fonte artificial de radiação de 1200 μmol m⁻² s⁻¹.

Na contagem das folhas, foram consideradas as folhas maduras com comprimento superior a 3 cm e com coloração característica da cultivar. O diâmetro de caule foi determinado a 3 cm do solo, com uso de paquímetro digital, com leituras em ‘mm’. A TCR para diâmetro do caule da pinheira foi determinada de acordo com (BENINCASA, 2003), conforme Eq. 4.

$$TCR = \frac{(\ln DC_2 - \ln DC_1)}{(t_2 - t_1)} \quad (4)$$

Em que: TCR = Taxa de crescimento relativo em diâmetro de caule (mm mm⁻¹ dia⁻¹),

DC₁ = Diâmetro de caule (mm) no tempo t₁,

DC₂ = Diâmetro de planta (mm) no tempo t₂,

ln = logaritmo natural.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F e quando significativos foram realizados teste de comparação de médias (Tukey em nível de 0,05 de probabilidade) para os níveis salinos da água e análise de regressão para o fator doses de potássio utilizando-se do *software* estatístico SISVAR versão 5.1 (FERREIRA, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Verifica-se efeito significativo dos níveis salinos sobre o déficit de saturação hídrica (DSH), a concentração interna de CO₂ (Ci), a taxa de assimilação de CO₂ (A) e a eficiência instantânea da carboxilação (EiCi) das plantas de pinheira (Tabela 2), aos 210 dias após o transplantio. As doses de potássio influenciaram significativamente o %D, CRA e o DSH. Houve interação significativa entre os fatores (NS x DK) sobre o DSH, a gs, E, A e a EiCi nas plantas de pinheira.

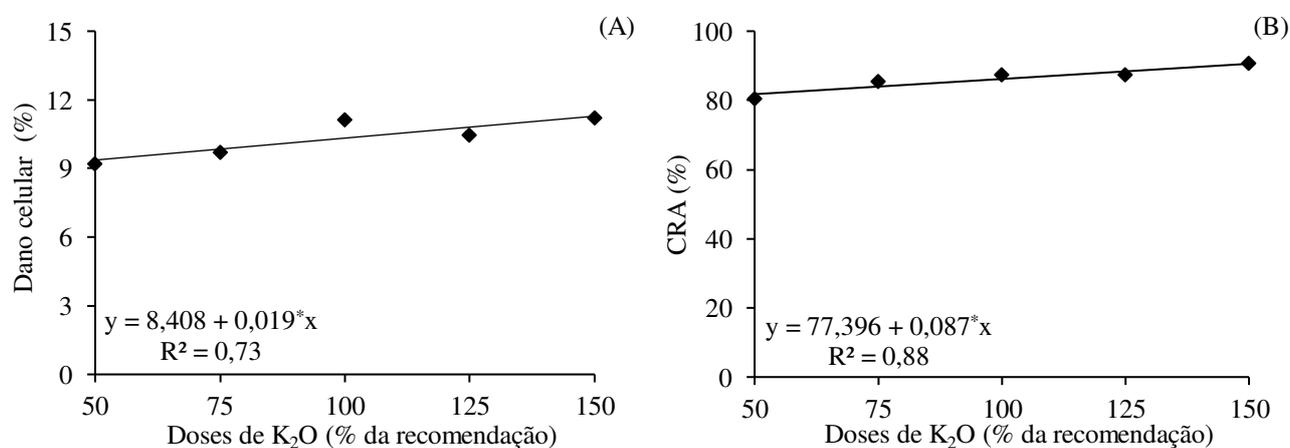
Tabela 2. Resumo da análise de variância para o percentual de dano celular (%D), o conteúdo relativo de água (CRA), o déficit de saturação hídrica (DSH), a condutância estomática (gs), a transpiração (E), a concentração interna de CO₂ (Ci), a taxa de assimilação de CO₂ (A) e a eficiência instantânea da carboxilação (EiCi) da pinheira cultivada com águas salinas e doses de potássio, aos 210 dias após o transplantio (DAT).

Fontes de variação	GL	Quadrados Médios							
		%D	CRA	DSH	gs ¹	E ¹	Ci	A	EiCi ¹

Níveis salinos (NS)	1	6,65 ^{ns}	5,12 ^{ns}	93,20 ^{**}	0,001 ^{ns}	0,24 ^{ns}	5405,62 [*]	17,86 [*]	0,012 [*]
Doses de K (DK)	4	6,24 [*]	436,73 [*]	37,90 ^{**}	0,0009 ^{ns}	0,10 ^{ns}	1453,71 ^{ns}	2,82 ^{ns}	0,0001 ^{ns}
Regressão linear	1	9,38 [*]	274,97 [*]	55,71 ^{**}	0,001 ^{ns}	0,04 ^{ns}	19,01 ^{ns}	8,77 ^{ns}	0,00006 ^{ns}
Regressão quadrática	1	3,52 ^{ns}	55,46 ^{ns}	57,02 ^{**}	0,00003 ^{ns}	0,01 ^{ns}	39,24,72 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,0002 ^{ns}
Interação (NS x DK)	4	3,29 ^{ns}	121,56 ^{ns}	41,33 ^{**}	0,002 [*]	2,73 [*]	2121,43 ^{ns}	41,29 ^{**}	0,001 [*]
Blocos	3	0,84 ^{ns}	40,50 ^{ns}	14,21 ^{ns}	0,0006 ^{ns}	0,25 ^{ns}	2733,02 ^{ns}	1,00 ^{ns}	0,0003 ^{ns}
Resíduo	27	2,11	31,77	3,13	0,0008	0,30	1142,28 ^{ns}	2,99	0,0002
CV (%)		14,08	6,54	12,78	21,69	17,65	17,14	26,43	19,53

^{ns}, ^{**}, ^{*} respectivamente não significativo, significativo a $p < 0,01$ e $p < 0,05$.

As doses de potássio promoveram incremento linear no percentual de dano celular nos tecidos foliares das plantas de pinheira (Figura 1A), cujo acréscimo foi de 5,64% por aumento de 25% nas doses de K₂O. Comparando-se as plantas adubadas com 150% da recomendação de K₂O em relação as que receberam a menor dose (50% de K₂O), verifica-se incremento na %D de 20,30%. O dano na membrana celular é ocasionado pela liberação de íons, proporcionando maior perda na integridade e desestabilização na membrana celular, sendo a quantidade de lixiviados determinada de forma que quanto maior o conteúdo extravasado da célula, maior dano é ocasionado na membrana celular (ATAÍDE, 2012). Contudo, o aumento no percentual de dano celular nos tecidos foliares das plantas cultivadas sob alta concentração de sais podem representar um mecanismo para evitar a desidratação dos tecidos, devido à redução no componente osmótico e do potencial de água nas folhas (FIOREZE et al., 2013). Lima et al. (2019) avaliando-se o dano de membranas, o status hídrico e as trocas gasosas em plantas de mamoneira cv. BRS Energia em respostas a salinidade e natureza catiônica da água de irrigação verificaram que a elevada concentração de potássio resultou em maior dano na membrana celular.



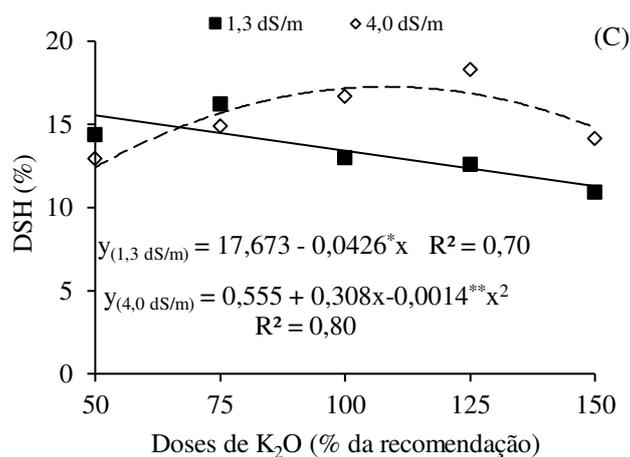


Figura 1. Dano celular (A) e conteúdo relativo de água – CRA (B) das plantas de pinheira em função das doses de potássio e déficit de saturação hídrica – DSH (C) em função da interação entre os fatores níveis de CEa e doses de potássio, aos 210 dias após o transplântio.

O conteúdo relativo de água das plantas de pinheira também aumentou de forma linear em resposta a adubação potássica e através da equação de regressão (Figura 1B), verifica-se incremento de 2,81% por aumento de 25% na dose de K₂O. As plantas submetidas à adubação com maior dose de K₂O aumentaram o CRA em 10,64% em relação as que receberam a dose de 50% da recomendação de (SILVA; SILVA, 1997). O fornecimento de potássio contribui para o ajuste osmótico em plantas sob baixa disponibilidade de água, devido o excesso de sais na água reduzir o potencial total de água no solo (SÁ et al., 2014). O ajuste osmótico é uma característica importante associada à manutenção de alto potencial de turgor celular e retenção de água em resposta ao estresse salino, sendo fundamental para a sobrevivência das plantas sob condições de estresse salino, destacando-se o papel do K na regulação do turgor dentro das células guardas durante o movimento estomático (WANG et al., 2013).

A interação entre os fatores (NS x DK) influenciou significativamente o déficit de saturação hídrica (Figura 1C). Nas plantas cultivadas sob CEa de 1,3 dS m⁻¹, o DSH reduziu de forma acentuada com o aumento nas doses de K₂O, sendo o declínio de 6,02% por incremento de 25% na dose de K₂O. Ao comparar o DSH das plantas adubadas com 150% em relação as que estavam submetidas a 50% da recomendação de K₂O, verifica-se redução de 27,40%. A redução no déficit de saturação hídrica com o incremento nas doses de K₂O pode estar relacionado às funções desempenhadas pelo K na ativação enzimática, síntese de proteínas, fotossíntese, osmorregulação, movimento estomático,

transferência de energia, transporte de floema, equilíbrio cátion-ânion e tolerância ao estresse (WANG et al., 2013).

Os dados das plantas irrigadas com CEa de $4,0 \text{ dS m}^{-1}$ se ajustaram ao modelo quadrático (Figura 1C), com valor máximo estimado de 17,495% obtido quando utilizaram doses de 110% de K_2O . Tal situação pode estar relacionada ao elevado índice salino do fertilizante e o excesso de sais na água que restringe a absorção de água e nutrientes pelas plantas. Pinheiro et al. (2019) em trabalho avaliando as relações hídricas da aceroleira cv. BRS 366 Jaburu, em função da irrigação com águas salinas (CEa de 0,8 e $3,8 \text{ dS m}^{-1}$) e adubação potássica, observaram que a maior dose de K_2O (125% da recomendação) proporcionou diminuição no DSH das plantas.

A condutância estomática das plantas de pinheira foi afetada de forma significativa pela interação entre os níveis de salinidade da água e as doses de potássio e através das equações de regressão (Figura 2A), verifica-se que os dados obtiveram o melhor ajuste com o modelo quadrático para os níveis de CEa de 1,3 e $4,0 \text{ dS m}^{-1}$. Ao irrigar com CEa de $1,3 \text{ dS m}^{-1}$ o valor máximo estimado ($0,088 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) foi obtido nas plantas adubadas com 88% da recomendação de K_2O . Já as plantas submetidas à salinidade da água de $4,0 \text{ dS m}^{-1}$ alcançaram a maior *gs* ($0,093 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) quando foram adubadas com 103% da recomendação de K_2O . A diminuição da atividade estomática é um dos principais efeitos ocasionados pelo estresse salino, atuando como um mecanismo de defesa na redução da perda de água pelas plantas para a atmosfera, bem como um indicativo na intensificação do efeito osmótico, já que o solo salino apresenta maior resistência à absorção de água e nutrientes via sistema radicular (SOUSA et al., 2016). Dias et al. (2019) em pesquisa com a aceroleira cv. BRS 366 Jaburu submetida à salinidade da água (CEa de 0,8 e $3,8 \text{ dS m}^{-1}$), também observaram que o incremento da CEa resultou em redução na condutância estomática das plantas.

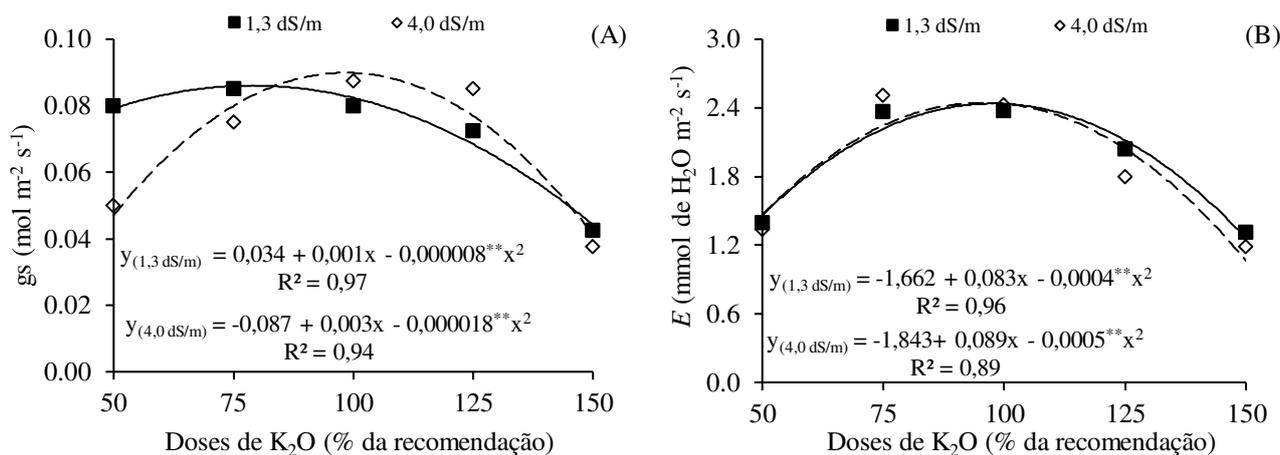


Figura 2. Condutância estomática – g_s (A) e transpiração – E (B) das plantas de pinheira em função interação entre os fatores níveis de salinidade da água – CEa e doses de potássio, aos 210 dias após o transplântio.

A transpiração foliar das plantas de pinheira também foi influenciada significativamente pela interação entre os fatores (NS x DK). As plantas sob irrigação com CEa de 1,3 dS m^{-1} obtiveram o valor máximo estimado de 5,960 mmol de H_2O m^{-2} s^{-1} quando foram adubadas com 108% da recomendação de K_2O , com decréscimos a partir desta dose, sendo verificado o valor de 5,112 mmol de H_2O m^{-2} s^{-1} sob adubação com 150% de K_2O . Comportamento semelhante foi observado nas plantas irrigadas com o maior nível de CEa (4,0 dS m^{-1}), cujo valor máximo estimado (5,804 mmol de H_2O m^{-2} s^{-1}) foi alcançado quando se utilizaram dose de 89% de K_2O . A transpiração desempenha um papel fisiológico significativo na manutenção da concentração osmótica na planta (ALAM et al., 2015). A redução da transpiração ocasiona diminuição na capacidade de absorção de água pelo sistema radicular, como resposta ao excesso de sais, e, por conseguinte redução na absorção de íons tóxicos, especialmente Na^+ e Cl^- , diminuindo a toxicidade por íons específicos (SYVERTSEN; GARCIA-SANCHEZ, 2014). Desse modo, menor taxa de transpiração contribuiu para o menor acúmulo de Na^+ e Cl^- na planta. Lima et al. (2020) em experimento conduzido com a cultura do maracujazeiro ‘BRS Rubi do Cerrado’ irrigado com águas salinas (CEa de 0,3 a 3,5 dS m^{-1}) sob condições de casa-de-vegetação, concluíram que salinidade da água a partir de 0,3 dS m^{-1} diminuiu a transpiração das plantas.

A concentração interna de CO_2 da pinheira diminuiu com o incremento nos níveis salinos da água e através do teste de médias (Figura 3A), verifica-se que as plantas cultivadas com água de condutividade elétrica de 4,0 dS m^{-1} tiveram a C_i inferior

estatisticamente ao das que estavam submetidas ao menor nível de CEa (1,3 dS m⁻¹). Ao comparar a C_i das plantas cultivadas com CEa de 4,0 dSm⁻¹ em relação as que receberam 1,3 dS m⁻¹, nota-se declínio de 11,13% (23,25 $\mu\text{mol mol}^{-1}$). A redução na concentração interna de CO₂ nas plantas cultivadas sob CEa de 4,0 dS m⁻¹ pode estar relacionada ao fechamento estomático e por conseguinte à menor difusão de CO₂ na câmara subestomática (OLIVEIRA et al., 2017), observado neste estudo através da condutância estomática (Figura 2A). Além disso, o fechamento estomático pode limitar a taxa de retenção de CO₂ e, conseqüentemente, a C_i diminui nos espaços intercelulares devido ao consumo de CO₂ pela atividade fotossintética (DALASTRA et al., 2014). Silva et al. (2019), em estudo avaliando as trocas gasosas do maracujazeiro ‘Guinezinho’ sob salinidade da água de irrigação (CEa de 0,7 a 2,8 dS m⁻¹), também observaram que o incremento da salinidade da água resultou em diminuição na concentração interna de CO₂.

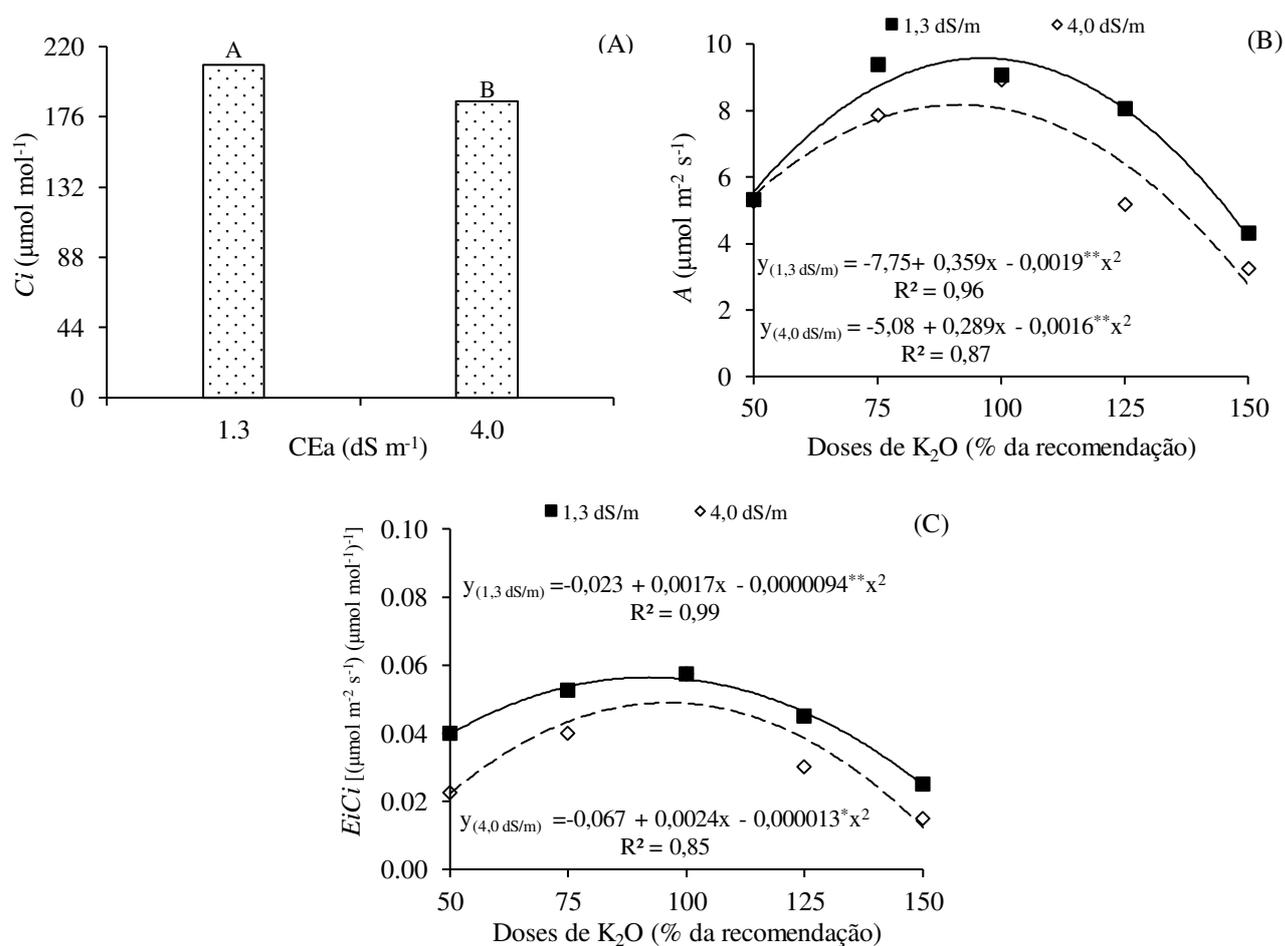


Figura 3. Concentração interna de CO₂ – C_i (A) das plantas de pinheira em função dos níveis de salinidade da água – CEa e taxa de assimilação de CO₂ – A (B) e eficiência instantânea de carboxilação - $EiCi$ (C) em função da interação entre os fatores níveis de CEa e doses de potássio, aos 210 dias após o transplântio.

A taxa de assimilação de CO₂ das plantas de pinheira foi influenciada significativamente pela interação entre os fatores (NS x DK) e, através das equações de regressão (Figura 3B) verifica-se que as plantas de pinheira irrigadas com água com CEa de 1,3 e 4,0 dS m⁻¹ os dados se ajustaram ao modelo quadrático, com valores máximos estimados de 9,208 e 7,970 μmol m⁻² s⁻¹ de A obtidos quando se utilizaram doses de 95,0 e 90,0% da recomendação de K₂O, respectivamente. A partir destas doses houve redução acentuada na A, independente do nível de CEa, obtendo-se os menores valores estimados nas plantas adubadas com 150% da recomendação de K₂O (3,350 e 2,270 μmol m⁻² s⁻¹). Apesar das funções desempenhadas pelo potássio na manutenção do equilíbrio iônico e do turgor das células, através do controle da abertura e fechamento estomático (GURGEL et al., 2010), neste estudo, a maior dose de K₂O proporcionou redução na taxa de assimilação de CO₂ nas plantas de pinheira irrigadas com água elevada salinidade (4,0 dSm⁻¹). Essa situação pode estar relacionada à fonte de potássio utilizada neste estudo (KCl), pois esse fertilizante possui elevado índice salino em sua composição (116,3) e, quando associado ao uso de águas com altas concentrações de sais, pode ter induzido uma redução na o potencial osmótico da solução do solo, dificultando a absorção de água e nutrientes pelas plantas (LIMA et al., 2020). Diminuição na taxa de assimilação de CO₂ em plantas cultivadas sob salinidade, também foi observado em aceroleira (DIAS et al., 2019) e maracujazeiro (LIMA et al., 2020).

Para a eficiência instantânea de carboxilação (Figura 3C), verifica-se que as plantas submetidas à salinidade da água de 1,3 e 4,0 dS m⁻¹ obtiveram comportamento quadrático, sendo os valores máximos estimados de 0,0450 e 0,05336 (μmol m⁻² s⁻¹)/(μmol mol⁻¹)⁻¹ obtidos nas plantas adubadas com 95 e 91% da recomendação de K₂O, respectivamente. Assim como observado para a taxa de assimilação de CO₂ (Figura 3B), observa-se que apesar da redução na *EiCi*, o maior valor foi obtido no menor nível salino da água. A diminuição na *EiCi* pode associada com as restrições metabólicas no ciclo de Calvin e destaca-se como indicativo de que fatores não estomáticos atuaram na atividade fotossintética, como baixa atividade da enzima Ribulose-1,5-bisfosfato carboxilase/oxigenase (RuBisCO), provavelmente devido à baixa disponibilidade de potencial redutor (ATP e NADPH) para a ativação e a regeneração do enzima (SÁ et al., 2017). Silva et al. (2019), em estudo realizado avaliando-se as trocas gasosas de mudas de graviola cv. Morada Nova irrigada com água salina (CEa de 0,7 a 3,5 dS m⁻¹),

verificaram redução na *EiCi* de 18,49% por aumento unitário na condutividade elétrica da água.

Houve efeito significativo dos níveis salinos sobre o diâmetro do caule (DC) e número de folhas (NF) das plantas de pinheira, aos 179, 210 e 245 dias após o transplântio (Tabela 3). As doses de potássio não influenciaram de forma significativa ($p > 0,05$) em nenhuma das variáveis analisadas, independentemente da época de avaliação. A interação entre os fatores (NS x DK) promoveu efeito significativo para DC, aos 245 DAT, e para TCR_{DC} nas plantas de pinheira, no período de 179-245 DAT.

Tabela 3. Resumo do teste de análise de variância para o diâmetro de caule (DC) e número de folhas (NF) aos 179, 210 e 245 dias após o transplântio (DAT) e a taxa de crescimento relativo em diâmetro de caule (TCR_{DC}) no período de 179 a 245 DAT da pinheira cultivada com águas salinas e doses de potássio.

Dias após o transplântio	Quadrados Médios					CV (%)
	Níveis salinos (NS)	Doses de K (DK)	Interação (NS x DK)	Blocos	Residuo	
Diâmetro de caule						
179	25,40*	1,02 ^{ns}	9,39 ^{ns}	5,01 ^{ns}	4,24 ^{ns}	8,21
210	35,85*	6,60 ^{ns}	5,49 ^{ns}	1,94 ^{ns}	5,17	8,46
245	19,95*	6,83 ^{ns}	167,53**	1,83 ^{ns}	3,54	6,19
Número de folhas						
179	13727,02*	1267,85 ^{ns}	7714,15 ^{ns}	19058,42 ^{ns}	2784,16	21,57
210	910530,62**	15378,08 ^{ns}	18408,18 ^{ns}	25011,55 ^{ns}	6733,28	26,62
245	72590,40*	14648,65 ^{ns}	12876,27 ^{ns}	8026,30 ^{ns}	8978,81	21,34
TCRdc						
179-245	0,00000001 ^{ns}	0,000005 ^{ns}	0,0001**	0,000005 ^{ns}	0,000004 ^{ns}	23,64
GL	1	4	4	3	27	-

^{ns}, **, * respectivamente não significativo, significativo a $p < 0,01$ e $p < 0,05$.

O diâmetro de caule das plantas de pinheira foi afetado de forma negativa pelo incremento dos níveis de CEa, aos 179 e 210 DAT (Figura 4A). As plantas cultivadas sob CEa de $1,3 \text{ dSm}^{-1}$ apresentaram um DC superior estatisticamente em relação as que estavam sob irrigação com o maior nível salino ($4,0 \text{ dS m}^{-1}$) em ambas as épocas de avaliação. Ao comparar o DC das plantas submetidas ao maior nível de CEa ($4,0 \text{ dS m}^{-1}$) em relação as que foram irrigadas com água de $1,3 \text{ dS m}^{-1}$, verifica-se diminuição de 1,594 e 1,893 mm, respectivamente, aos 179 e 210 DAT. A inibição do crescimento das plantas submetidas ao estresse salino é um reflexo das alterações nas trocas gasosas foliares (*gs*, *E*, *Ci* e *A*). Além disso, outro fator que contribuiu para redução no DC foi a diminuição do potencial osmótico da solução do solo causado pelo excesso de sais

solúveis na zona radicular, o que impede a absorção de água pelas raízes, fazendo com que a planta reduza a abertura estomática como mecanismo para reduzir perda de água, o que leva a uma redução no turgor celular, e como consequência a redução da expansão celular e o crescimento das plantas (SOUZA et al., (2018). Corroborando com os resultados obtidos nesse estudo, Sá et al. (2015) ao avaliar o crescimento inicial de mudas de pinheira em função da salinidade da água (CEa de 0,3 a 4,8 dS m⁻¹) observaram que a CEa a partir de 0,3 dSm⁻¹ proporcionou efeitos negativos no crescimento em diâmetro de caule da pinheira.

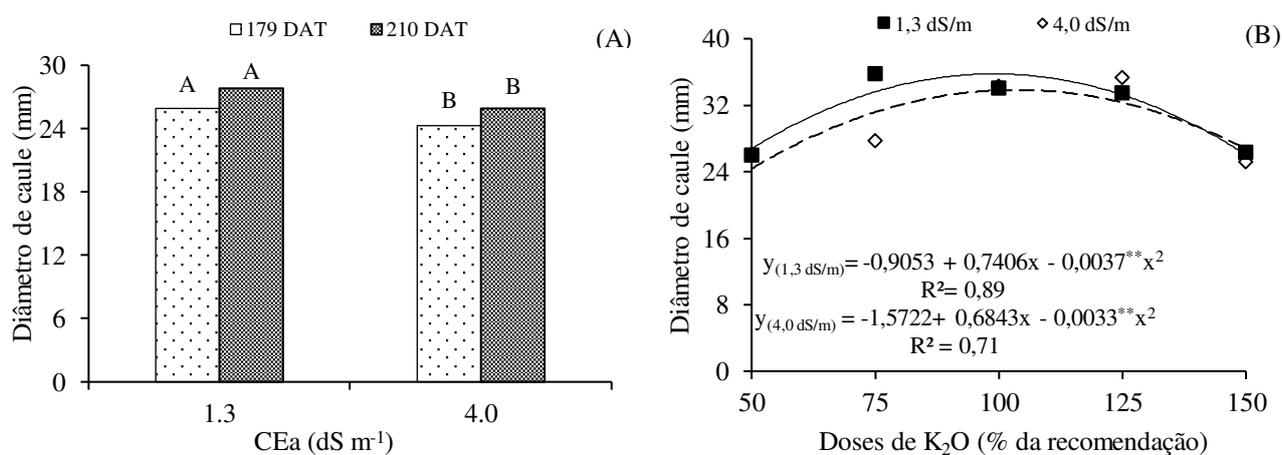


Figura 4. Diâmetro de caule (A), aos 179 e 210 dias após o transplantio (DAT) em função dos níveis de salinidade da água - CEa e diâmetro de caule (B) das plantas de pinheira aos 245 DAT, em função da interação entre os fatores níveis de CEa e doses de potássio.

O diâmetro de caule da pinheira foi afetado de forma significativa pela interação entre os fatores (NS x DK), aos 245 DAT (Figura 4B). As plantas submetidas à salinidade da água de 1,3 e 4,0 dS m⁻¹ obtiveram o maior crescimento em DC (36,154 e 33,902 mm) quando foram adubadas com doses estimadas de K₂O de 100,0 e 104,0%, respectivamente. Destaca-se que a partir destas doses de K₂O houve diminuição no crescimento, alcançando um DC de 26,934 e 26,822 mm nas plantas adubadas com 150% da recomendação. A redução no crescimento em diâmetro do caule das plantas de pinheira é consequência do menor potencial total de água no solo, devido às elevadas concentrações de sais no meio externo e também pode estar relacionada ao dispêndio energético para manutenção das atividades metabólicas. As plantas cultivadas com doses elevadas de potássio podem ter reduzido as concentrações de Ca²⁺ por inibição competitiva entre esses íons (INTHICHACK et al., 2012) e considerando-se que o Ca²⁺ atua na integridade da membrana plasmática e compõe os locais de ligação das moléculas

de pectina da parede celular, baixas concentrações deste elemento, pode afetar as taxas de resistência, extensibilidade, alongamento e divisão celular com efeitos negativos no crescimento (PROSEUS; BOYER, 2012).

Os distintos níveis de salinidade da água também interferiram de forma negativa sobre o número de folhas das plantas de pinheira, aos 179, 210 e 245 DAT (Figura 5A). As plantas irrigadas com água de condutividade elétrica de $1,3 \text{ dS m}^{-1}$ tiveram um número de folhas superior em 37,05; 219,35 e 187,60, em relação as submetidas a CEa de $4,0 \text{ dS m}^{-1}$. A redução na emissão foliar em plantas sob estresse salino destaca-se como estratégia para diminuir a transpiração e manter uma menor necessidade de absorção de água salina e, por conseguinte íons tóxicos (especialmente Na^+ e Cl^-) e manter maior potencial hídrico nas plantas diante o efeito osmótico dos sais (BONIFÁCIO et al., 2018). Contudo, a redução no número de folhas pode refletir em efeitos negativos na taxa de fotossíntese líquida, prejudicando os processos fisiológicos e bioquímicos das plantas (SOUSA et al., 2014). Redução no número de folhas em plantas cultivadas sob estresse salino também foram observados em pinheira (NUNES et al., 2012) e em outras culturas como tamarindo (ALVES et al., 2019), gravioleira (SILVA et al., 2019) e maracujazeiro (LIMA et al., 2020).

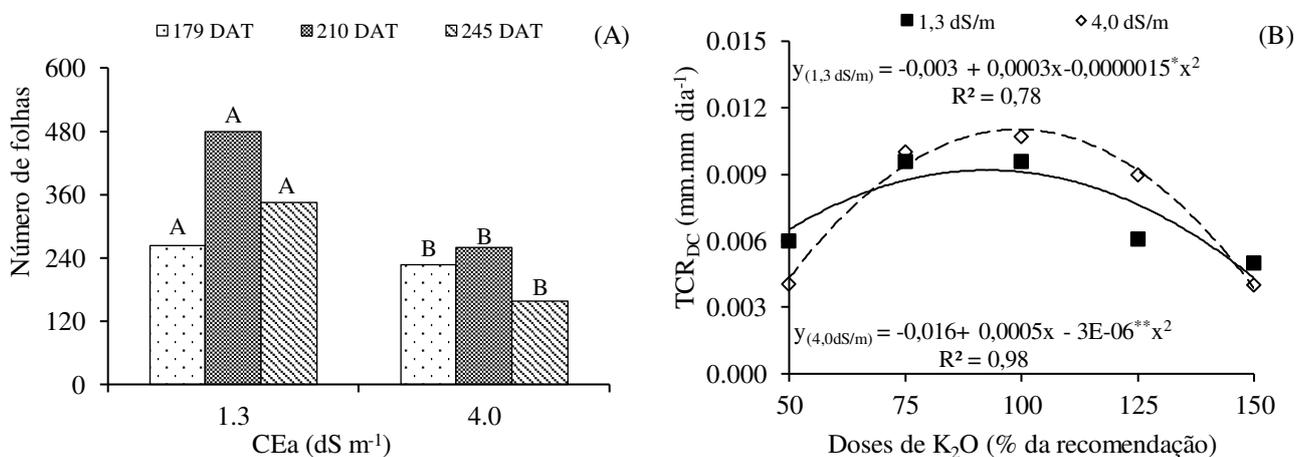


Figura 5. Número de folhas (A), aos 179,210 e 245 DAT em função dos níveis de salinidade da água - CEa e taxa de taxa de crescimento relativo em diâmetro de caule - TCR_{DC} (B) das plantas de pinheira no período de 179 a 245 DAT, em função da interação entre os fatores níveis de CEa e doses de potássio.

A taxa de crescimento relativo em diâmetro de caule - TCR_{DC} das plantas de pinheira (Figura 5B) no período de 179-245 DAT foi afetada significativamente pela interação entre os fatores (NS x DK). Ao irrigar com água de CEa $1,3$ e $4,0 \text{ dS m}^{-1}$

percebe-se que os dados se ajustaram ao modelo quadrático, obtendo-se valores máximos estimados em 0,0120 e 0,0108 mm mm dia⁻¹ quando adubadas com de 101,0 e 99,0% da recomendação de K₂O. Ao comparar as plantas de pinheira irrigadas com menor CEa 1,3 dS m⁻¹ com as submetidas ao maior nível salino da água (4,0 dS m⁻¹) observa-se maior redução na TCR_{DC} das plantas cultivadas com maior salinidade da água. Esse aumento no crescimento das plantas sobre estresse pode estar relacionado com as funções do K⁺ no metabolismo vegetal, atuando na translocação de fotoassimilados para o crescimento. Além disso, o K⁺ exerce papel crucial na regulação do turgor dentro das células guardas durante o movimento estomático, contribuindo para manutenção de um elevado potencial hídrico na planta (WANG et al., 2013). Corroborando com esse estudo, Gurgel et al. (2010) avaliando-se os efeitos do uso de águas de baixa (CEa 0,52 dS m⁻¹) e alta (CEa 2,41 dS m⁻¹) e adubação potássica (218, 273, 328, 383 e 438 kg ha⁻¹), sobre o crescimento do meloeiro cv Goldex, constataram que os valores máximos no crescimento relativo foram obtidos quando se irrigaram o meloeiro com água de elevada CEa (2,41 dS m⁻¹).

CONCLUSÕES

A salinidade da água de 4,0 dS m⁻¹ afeta de forma negativa o crescimento em diâmetro de caule e o número de folhas da pinheira, aos 179 e 210 dias após o transplântio.

Doses de potássio de até 150 mg K₂O kg⁻¹ de solo resulta em maior percentual de dano celular e conteúdo relativo de água nos tecidos foliares da pinheira, aos 210 dias após o transplântio. Já o deficit de saturação hídrica diminui com o aumento nas doses de K₂O nas plantas irrigadas com água de 1,3 dS m⁻¹.

As plantas submetidas à salinidade da água de 1,3 dS m⁻¹ e doses estimadas de K₂O variando de 88 a 108% resultam em incremento na condutância estomática, transpiração, taxa de assimilação de CO₂ e eficiência instantânea de carboxilação das plantas de pinheira, aos 210 dias após o transplântio.

O maior crescimento relativo em diâmetro de caule da pinheira no período de 179-245 dias após o transplântio é obtido nas plantas irrigadas com água de 4,0 dS m⁻¹ e adubação com 99% da recomendação de K₂O.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALAM, A.; JURAIMI, A. S.; RAFII, M. Y.; HAMID, A. A. Effect of salinity on biomass yield and physiological and stem-root anatomical characteristics of purslane (*Portulaca oleracea* L.) accessions. **BioMed Research International**, v.2015, n.1, p-1-15, 2015.
- ALVES, L. S.; VÉRAS, M. L. M.; MELO FILHO, S. DE.; IRINEU, T. H S.; DIAS, T. J. Salinidade na água de irrigação e aplicação de biofertilizante bovino no crescimento e qualidade de mudas de tamarindo. **Irriga**, v.24, n.2, p.254-273, 2019.
- ARAÚJO, H. S.; QUADROS, B. R. de; CARDOSO, A. I. I.; CORRÊA, C. V. Doses de potássio em cobertura na cultura da abóbora. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, n.4, p. 469-475, 2012.
- ARZANI, A.; ASHRAF, M. Smart engineering of genetic resources for enhanced salinity tolerance in crop plants. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 35, n.3, p. 146–189, 2016.
- ATAÍDE, G. M.; FLORES, A. V.; BORGES, E. E. L. Alterações fisiológicas e bioquímicas em sementes de *Pterogyne nitens* Tull. durante o envelhecimento artificial. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.42, n.1, p.71-76, 2012.
- BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas, noções básicas**. 2 ed. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 41p.
- BONIFÁCIO, B. F.; NOBRE, R. G; SOUSA, A. dos S.; GOMES, E. M.; SILVA, E. M. da; SOUSA, L. de P. Efeitos da adubação potássica e irrigação com águas salinas no crescimento de porta-enxerto de goiabeira. **Revista de Ciências Agrárias**, v.41, n.4, p.971-980, 2018.
- CUIN, T. A.; SHABALA, S. Compatible solutes reduce ROS-induced potassium efflux in *Arabidopsis* roots. **Plant, Cell & Environment**, v.30, n.7, p.875–885, 2007.
- DALASTRA, G. M.; ECHER, M. de M.; GUIMARÃES, V. F.; HACHMANN, T. L.; INAGAKI, A. M. Trocas gasosas e produtividade de três cultivares de meloeiro conduzidas com um e dois frutos por planta. **Bragantia**, v.73, n.4, p.365-371, 2014.
- DIAS, A. S.; LIMA, G. S. de; PINHEIRO, F. W. A.; GHEYI, H. R.; SOARES, L. A. dos A. Gas exchanges, quantum yield and photosynthetic pigments of west indian cherry

- under salt stress and potassium fertilization. **Revista Caatinga**, v.32, n.2, p.429-439, 2019.
- FERREIRA, D. F. SISVAR: A computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.
- FIGUEIREDO, S. L.; RODRIGUES, J. D.; CARNEIRO, J. P. C.; SILVA, A. A.; LIMA, M. B. Fisiologia e produção da soja tratada com cinetina e cálcio sob déficit hídrico e sombreamento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.48, n.11, p.1432-1439, 2013.
- GURGEL, M. T.; GHEYI, H. R.; OLIVEIRA, F. H. T. Acúmulo de matéria seca e nutrientes em meloeiro produzido sob estresse salino e doses de potássio. **Revista Ciência Agronômica**, v.41, n.1, p.18-28, 2010.
- HASANUZZAMAN, M.; BHUYAN, M. H. M. B.; NAHAR, K.; HOSSAIN, S.; MAHMUD, J. A.; HOSSEN, S.; MASUD, A. A. C.; MOUMITA; FUJITA, M. Potassium: A vital regulator of plant responses and tolerance to abiotic stresses. **Agronomy**, v.8, n.3, p.1-29, 2018.
- HEIDARI, M.; JAMSHID, P. Interaction between salinity and potassium on grain yield, carbohydrate content and nutrient uptake in pearl millet. **ARPN Journal of Agricultural and Biological Science**, v. 5, n. 6, p. 39-46, 2010.
- INTHICHACK, P.; NISHIMURA, Y.; FUKUMOTO, Y. Effect of potassium sources and rates on plant growth, mineral absorption and the incidence of tip burn in cabbage, celery, and lettuce. **Horticulture, Environment and Biotechnology**, v.53, n. 2, p.135-142, 2012.
- JUNIOR, J. A. Water relations and gas exchange in castor bean irrigated with saline water of distinct cationic nature. **African Journal of Agricultural Research**, v.10, n.13, p.1581-1594, 2015.
- LEDERMAN, I. E. Técnicas de cultivo da pinheira (fruta-do-conde, ata) *Annona squamosa* L. **Toda fruta-artigo técnico** n. 8, 2019. Disponível em: <https://www.todafruta.com.br/wp-content/uploads/2019/04/ARTIGO-8-PINHA3.pdf>. Acesso em: 13/04/20.
- LEMOS, E. E. P. de. The production of *Annona* fruits in Brazil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 36, n.1, p. 77-85. 2014.
- LIMA, G. S. de; FERNANDES, C. G. J.; SOARES, L. A. dos A.; GHEYI, H. R.; FERNANDES, P. D. Gas exchange, chloroplast pigments and growth of passion fruit

- cultivated with saline water and potassium fertilization. **Revista Caatinga**, v.33, n.1, p.184-194, 2020.
- LIMA, G. S. de; GHEYI, H. R.; NOBRE, R. G.; SOARES, L. A. dos A.; SANTOS, J. B. dos. Cell damage, water status and gas exchanges in castor bean as affected by cationic composition of water. **Revista Caatinga**, v.32, n.2, p.482-492, 2019.
- LIMA, G. S.; GHEYI, H. R.; NOBRE, R. G.; SOARES, L. A. A.; XAVIER, D. A.; SANTOS
- MUNNS, R.; GILLIHAM, M. Salinity tolerance of crops: What is the cost? **New Phytologist**, v.208, n.3, p.668-673, 2015
- 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.
- PINHEIRO, F. W. A.; LIMA, G. S. de; GHEYI, H. R.; DIAS, A. S.; MOREIRA, R. C. L.; NOBRE, R. G.; SOARES, L. A. dos A. Saline water and potassium fertilization in cultivation of grafted west indian cherry 'BRS 366 Jaburu'. **Bioscience Journal**, v.35, n.1, p.187-198, 2019.
- PROSEUS, T. E.; BOYER, J. S. Pectate chemistry links cell expansion to wall deposition in *Chara corallina*. **Plant Signaling & Behavior**, v. 7, n. 11, p. 1490 -1492, 2012.
- RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington: U. S. Department of Agriculture, 1954. 160p. (USDA, Agriculture Handbook, 60).
- SÁ, A. F. L. de; VALERI, S. V.; CRUZ, M. C. P. da; BARBOSA, J. C.; REZENDE, G. M.; TEIXEIRA, M. P. Effects of potassium application and soil moisture on the growth of *Corymbia citriodora* plants. **Cerne**, v.20, n.4, p.645-651, 2014.
- SÁ, F. V. da S.; GHEYI, H. R.; LIMA, G. S. de; PAIVA, E. P. de; FERNANDES, P. D.; MOREIRA, R. C. L.; SILVA, L. de A.; FERREIRA NETO, M. Water relations and gas exchanges of West Indian cherry under salt stress and nitrogen and phosphorus doses. **Journal of Agricultural Science**, v.9, n.10, p.168-177, 2017.
- SÃO JOSÉ, A. R.; PIRES, M. M.; FREITAS, ALGE.; RIBEIRO, D. P.; PEREZ, L. A. A. Atualidades e perspectivas das anonáceas no mundo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.36, n.1, p.86-93, 2014.
- SCOTTI-CAMPOS, P; PHAM-THI, ANH-THU; SEMEDO, J. N.; PAIS, I. P.; RAMALHO, J. C.; MATOS, M. C. Physiological responses and membrane integrity in

- three *Vigna* genotypes with contrasting drought tolerance. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, v.25, n.12, p.1002-1013, 2013.
- SILVA, A. A. R. da; LIMA, G. S. de; AZEVEDO, C. A. V. de; VELOSO, L. L. de S. A.; GHEYI, H. R.; SOARES, L. A. dos A. Salt stress and exogenous application of hydrogen peroxide on photosynthetic parameters of soursop. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.23, n.4, p.257-263, 2019.
- SILVA, A. A. R. da; LIMA, G. S. de; AZEVEDO, C. A. V. de; GHEYI, H. R.; SOUZA, L. de P.; VELOSO, L. L. de S. A. Gas exchanges and growth of passion fruit seedlings under salt stress and hydrogen peroxide. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.49, e55671, 2019.
- SILVA, A.Q.; SILVA, H. **Nutrição e adubação em anonáceas**. In: SÃO JOSÉ, A.R. et al. (Ed.). Anonáceas: produção e mercado pinha, graviola, atemóia e cherimólia. Vitória da Conquista: UESB-DFZ, p.118-137,1997.
- SOUSA, G. G. de; VIANA, T. V. de A.; LACERDA, C. F. de; AZEVEDO, B. M. de; SILVA, G. L. da; COSTA, F. R. B. Estresse salino em plantas de feijão-caupi em solo com fertilizantes orgânicos. **Revista Agro@mbiente On-line**, v.8, n.3, p.359-367, 2014.
- SOUSA, J. R. M. de; GHEYI, H. R.; BRITO, M. E. B.; XAVIER, D. A.; FURTADO, G. de F. Impact of saline conditions and nitrogen fertilization on citrus production and gas exchanges. **Revista Caatinga**, v.29, n.2, p.415-424, 2016.
- SOUZA, L. P; LIMA, G. S. de; GHEYI, H. R; NOBRE, R. G; SOARES, L. A. dos A. Emergence, growth, and production of colored cotton subjected to salt stress and organic fertilization. **Revista Caatinga**, v. 31, n. 3, p. 719 -729, 2018.
- SYVERTSEN, J. P.; GARCIA-SANCHEZ, F. Multiple abiotic stresses occurring with salinity stress in citrus. **Environmental and Experimental Botany**, v.103, n.1, p.128-137, 2014.
- WANG, M.; ZHENG, Q.; GUO, S. The critical role of potassium in plant stress response. **International journal of molecular sciences**, v.14, n.4, p.7370-7390, 2013.
- WEATHERLEY, P. E. Studies in the water relations of the cotton plant. I- The field measurements of water deficits in leaves. **New Phytologist**, v.49, n.1, p.81-97, 1950.