

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL

Eduardo Charles Barbosa Ayres

**PRODUÇÃO DE MUDAS DE PEQUIZEIRO EM RESPOSTA A APLICAÇÃO DE
SULFATO DE CÁLCIO E CLORETO DE SÓDIO VIA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO**

Montes Claros
2024

Eduardo Charles Barbosa Ayres

**PRODUÇÃO DE MUDAS DE PEQUIZEIRO EM RESPOSTA A APLICAÇÃO DE
SULFATO DE CÁLCIO E CLORETO DE SÓDIO VIA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Produção Vegetal.

Orientador: Paulo Sérgio Nascimento
Lopes

Coorientadores: Regynaldo Arruda
Sampaio

Evander Alves Ferreira

Montes Claros
2024

Ayres, Eduardo Charles Barbosa.

A985p
2024 Produção de mudas de pequizeiro em resposta a aplicação de sulfato de cálcio e cloreto de sódio via água de irrigação [manuscrito]/ Eduardo Charles Barbosa Ayres. Montes Claros, 2024.
82 f.: il.

Tese (doutorado) - Área de concentração em Produção Vegetal. Universidade Federal de Minas Gerais / Instituto de Ciências Agrárias.

Orientador: Paulo Sérgio Nascimento Lopes

Banca examinadora: Luiz Arnaldo Fernandes, Leandro Silva de Oliveira, Leonardo Monteiro Ribeiro, João José Granate de Sá e Melo Marques.

Inclui referências: f. 21-24; 60-65; 77-82.

1. Água de irrigação -- Qualidade -- Teses. 2. Águas subterrâneas -- Teses. 3. Plantas dos cerrados -- Teses. 4. Pequi -- Nutrição -- Teses. 5. Sódio -- Efeito fisiológico -- Teses. 6. Solos -- Teor de sódio -- Teses. I. Lopes, Paulo Sérgio Nascimento. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Ciências Agrárias. III. Título.

CDU: 582.81


ATA DE DEFESA DE TESE

Aos 27 dias do mês de fevereiro de 2024 às 8:00 horas, sob a Presidência do Professor Paulo Sérgio Nascimento Lopes, D. Sc. (Orientador - UFMG/ICA) e com a participação dos Professores Luiz Arnaldo Fernandes, D. Sc. (UFMG/ICA), Leandro Silva de Oliveira, D. Sc. (UFMG/ICA), Leonardo Monteiro Ribeiro, D. Sc. (Unimontes), e João José Granate de Sá e Melo Marques, D. Sc. (UFLA), reuniu-se, por videoconferência, a Banca de tese de **Eduardo Charles Barbosa Ayres**, aluno do Curso de Doutorado em Produção Vegetal. O resultado da defesa de tese intitulada: **“Produção de mudas de pequizeiro em resposta a aplicação de sulfato de cálcio e cloreto de sódio via água de irrigação”**, sendo o aluno considerado aprovado. E, para constar, eu, Professor Paulo Sérgio Nascimento Lopes, Presidente da Banca, lavrei a presente ata que depois de lida e aprovada, será assinada por mim e pelos demais membros da Banca examinadora.


OBS.: O aluno somente receberá o título após cumprir as exigências do **ARTIGO 65** do regulamento do Curso de Doutorado em Produção Vegetal, conforme apresentado a seguir:

Art. 65 Para dar andamento ao processo de efetivação do grau obtido, o candidato deverá, após a aprovação de sua Dissertação ou Tese e da realização das modificações propostas pela banca examinadora, se houver, encaminhar à secretaria do Colegiado do Programa, com a anuência do orientador, 1 (um) exemplar impresso e 1 (um) exemplar eletrônico da dissertação ou tese, no prazo de 60 (sessenta) dias.


Montes Claros, 27 de fevereiro de 2024.

Documento assinado digitalmente
 LUIZ ARNALDO FERNANDES
 Data: 29/02/2024 08:41:49-0300
 Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


Luiz Arnaldo Fernandes
 Membro

Documento assinado digitalmente
 LEANDRO SILVA DE OLIVEIRA
 Data: 27/02/2024 13:20:01-0300
 Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


Leandro Silva de Oliveira
 Membro

Documento assinado digitalmente
 LEONARDO MONTEIRO RIBEIRO
 Data: 29/02/2024 08:15:20-0300
 Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Leonardo Monteiro Ribeiro
 Membro

Documento assinado digitalmente
 JOAO JOSE GRANATE SA E MELO MARQUES
 Data: 27/02/2024 11:25:56-0300
 Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

João José Granate de Sá e Melo Marques
 Membro

Documento assinado digitalmente
 PAULO SERGIO NASCIMENTO LOPES
 Data: 27/02/2024 11:11:17-0300
 Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Paulo Sérgio Nascimento Lopes
 Orientador

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por iluminar meu caminho nessa jornada, prover me de confiança e força para o cumprimento das minhas tarefas diárias.

Aos meus familiares, sobretudo minha mãe Edna do Vale Barbosa Ayres (*in memória*) e meu pai Francisco Miranda Ayres (*in memória*) que sempre prezaram pelo cuidado familiar e educação escolar dos filhos. Ao meu irmão Franklin pelo companheirismo e incentivo. E carinhosamente agradeço a minha esposa Vanessa e meus filhos Joaquim do Vale Fonseca Ayres e Francisco do Vale Fonseca Ayres (vai nascer) pela afetividade, descontração, alegria e companheirismo.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal da UFMG/ICA pelo conhecimento proporcionado e agradável convivência.

Ao professor Paulo Sérgio Nascimento Lopes pela orientação prestada e aprendizagem durante o convívio acadêmico.

Ao professor Evander Alves Ferreira pela coorientação, ensinamentos e suporte nas avaliações de campo.

Aos professores Luiz Arnaldo Fernandes, Rodinei Facco Pegoraro, Leandro Silva de Oliveira, Leonardo Monteiro Ribeiro e João José Granate de Sá e Melo Marques pela participação nas bancas, sensatez e contribuições para melhoria do trabalho.

Em especial ao professor Regynaldo Arruda Sampaio, a quem tive a honra do convívio enquanto coorientador, transmissor da segurança, leveza e confiança do trabalho acadêmico, foi mentor e decisivo no meu percurso de doutoramento. Eternamente grato!

Ao IFNMG que possibilitou o afastamento para qualificação profissional docente e a realização desse sonho pessoal, em especial aos colegas do Campus Almenara.

Aos colegas do Grupo de Estudos em Frutíferas Exóticas e Nativas (GEFEN) e funcionários do viveiro de produção de mudas pelo convívio, amizade e apoio na condução dos experimentos.

Aos professores Eduardo Magalhães Ribeiro, Flávia Maria Galizoni e Hélder dos Anjos Augusto pela amizade, apoio e incentivo para o contínuo aprendizado.

Às minhas professoras de Pilates, Brisa Lisboa e Cecília Brant, pela atenção e cuidado que me possibilitaram condições físicas de movimento e locomoção para continuidade da minha jornada.

Aos colegas da pós-graduação, em especial Valéria, Marco Aurélio, Adriene, Verônica, Carol, Nermy, Manoel chimbica e Luan pelo apoio direto nas atividades de pesquisa.

Às equipes dos laboratórios de Solos, Análise de Resíduos para Aproveitamento Agrícola e de Biologia e Manejo de Plantas Daninhas pelas análises químicas realizadas e cessão de aparelhos que foram essenciais para a investigação.

À FAPEMIG, CNPq e CAPES pelo apoio financeiro às atividades de pesquisa.

A todos que, de alguma forma, colaboraram para a conclusão desta importante etapa da minha vida.

Muito obrigado!

PRODUÇÃO DE MUDAS DE PEQUIZEIRO EM RESPOSTA A APLICAÇÃO DE SULFATO DE CÁLCIO E CLORETO DE SÓDIO VIA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO

RESUMO

O pequizeiro (*Caryocar brasiliense* Camb.) é uma frutífera nativa do bioma Cerrado, de relevância socioeconômica e ambiental. É crescente a demanda de mudas da espécie para projetos de recuperação ambiental ou implantação de pomares comerciais. Entretanto, a qualidade da água de irrigação para produção de mudas é um aspecto fundamental, pois a presença de alguns sais em determinadas quantidades pode comprometer o desenvolvimento das plantas. Neste sentido, o presente estudo teve por objetivo avaliar o efeito da água de irrigação com diferentes concentrações de sulfato de cálcio ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) e cloreto de sódio (NaCl) no desenvolvimento de mudas de pequizeiro. Foram conduzidos dois experimentos em casa de vegetação, montados no delineamento em blocos casualizados com quatro repetições em cada. No primeiro, os tratamentos foram concentrações de sulfato de cálcio (0; 144; 288; 433 mg L^{-1}) e, no segundo, de cloreto de sódio (0; 110; 386; 800; 1.213 mg L^{-1}). Em ambos, adotou-se o tratamento adicional com água subterrânea (C_2S_1) oriunda de poço artesiano, utilizada na irrigação no viveiro de produção de mudas frutíferas e nativas da UFMG/ICA. Foram realizadas avaliações dos atributos de fertilidade do solo, biometria das plantas e de nutrientes no tecido vegetal. A adição crescente de sulfato de cálcio aumentou o crescimento da parte aérea da planta, mas reduziu a massa seca da raiz, do hipocótilo e do índice de qualidade de mudas de Dickson. Além disso, também, aumentou o teor e conteúdo de fósforo, cálcio e enxofre no tecido foliar e no hipocótilo. Doses crescentes de cloreto de sódio promoveram redução da matéria seca dos órgãos vegetativos, altura e diâmetro do caule, baixo índice de qualidade de Dickson e sintomas de clorose e necrose, principalmente a partir da concentração 386 mg L^{-1} de NaCl . As concentrações de NaCl , também comprometeram os atributos químicos do solo, tornando o substrato salino e salino-sódico. O tratamento adicional, em ambos experimentos, ocasionou crescimento de plantas semelhante aos tratamentos com dose zero de sais, apesar de proporcionar menor relação da massa seca da raiz e parte aérea. Os resultados da pesquisa indicam que as mudas de *C. brasiliense* são sensíveis aos sais na água de irrigação, principalmente, ao cloreto de sódio.

Palavras-chave: qualidade da água para irrigação; água subterrânea; bioma cerrado; nutrição do pequi; tolerância ao sal; sodicidade do solo.

PRODUCTION OF PEQUI TREE SEEDLINGS IN RESPONSE TO THE APPLICATION OF CALCIUM SULFATE AND SODIUM CHLORIDE VIA IRRIGATION WATER

ABSTRACT

The pequi tree (*Caryocar brasiliense* Camb.) is a fruit tree native to the Cerrado biome, of socioeconomic and environmental relevance. There is a growing demand for seedlings of the species for environmental recovery projects or the establishment of commercial orchards. However, the quality of irrigation water for seedling production is a fundamental aspect, as the presence of some salts in certain quantities can compromise plant development. In this sense, the present study aimed to evaluate the effect of irrigation water with different concentrations of calcium sulfate ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) and sodium chloride (NaCl) on the development of pequi tree seedlings. Two experiments were conducted in a greenhouse, set up in a randomized block design with four replications in each. In the first, the treatments were concentrations of calcium sulfate (0; 144; 288; 433 mg L^{-1}) and, in the second, sodium chloride (0; 110; 386; 800; 1,213 mg L^{-1}). In both, additional treatment was adopted with groundwater (C2S1) from an artesian well, used for irrigation in the nursery for the production of fruit and native seedlings at UFMG/ICA. Assessments of soil fertility attributes, plant biometrics and nutrients in plant tissue were carried out. The increasing addition of calcium sulfate increased the growth of the aerial part of the plant, but reduced the dry mass of the root, hypocotyl and the Dickson seedling quality index. Furthermore, it also increased the content and content of phosphorus, calcium and sulfur in the leaf tissue and hypocotyl. Increasing doses of sodium chloride promoted a reduction in the dry matter of vegetative organs, stem height and diameter, low Dickson quality index and symptoms of chlorosis and necrosis, mainly from the concentration of 386 mg L^{-1} of NaCl . NaCl concentrations also compromised the chemical attributes of the soil, making the substrate saline and saline-sodic. The additional treatment, in both experiments, caused plant growth similar to treatments with zero dose of salts, despite providing a lower ratio of root and shoot dry mass. The research results indicate that *C. brasiliense* seedlings are sensitive to salts in irrigation water, mainly sodium chloride.

Keywords: water quality for irrigation; subterranean water; cerrado biome; pequi tree nutrition; salt tolerance; soil sodicity.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS.....	15
2.1 Objetivo Geral.....	15
2.2 Objetivos Específicos	15
3 REVISÃO DE LITERATURA	16
3.1 Pequiizeiro: caracterização e importância socioeconômica e ambiental.....	16
3.2 Qualidade da água para irrigação	17
3.2.1 Água de irrigação com elevado teor de cálcio, magnésio e bicarbonatos.....	18
3.2.2. Água de irrigação com elevado teor de cloreto de sódio.....	20
3.3 Referências	21
4 ARTIGOS	25
4. 1 ARTIGO 1 - Efeito da aplicação de água contendo sulfato de cálcio na produção de mudas de pequiizeiro	25
4.2 ARTIGO 2 - Cloreto de sódio na água de irrigação e seus efeitos na produção de mudas de pequiizeiro	56

1 INTRODUÇÃO

A qualidade da água de irrigação é um fator relevante em sistemas de produção agrícola irrigado. Essa importância se torna mais acentuada principalmente em regiões áridas e semiáridas que comumente utilizam água subterrânea para suprir as necessidades hídricas das plantas, diante de baixa disponibilidade de fontes superficiais (HOSSAIN, 2019; YADAY; ATRI, 2020). Porém, a qualidade das águas subterrâneas pode ser influenciada pela presença de sais decorrentes tanto das rochas encaixantes, dos processos de formação dos solos e de ações antrópicas (HOSSAIN, 2019; MUTHULAKSHMI, 2020).

A qualidade da água para irrigação depende do tipo e da quantidade de sais dissolvidos, podendo apresentar restrições de uso severa, ligeira a moderada, ou nula (FAO, 1985). Os sais aplicados se acumulam no solo à medida que a água evapora ou é aproveitada pela cultura, ocasionando geralmente problemas relacionados à salinidade, fitotoxicidade e estrutura do solo, com efeitos negativos no crescimento e produção das culturas (FAO, 1985; MUTHULAKSHMI, 2020). Águas de natureza alcalina, comumente ricas em bicarbonatos e sais de cálcio, presente em regiões áridas e semiáridas, podem causar desbalanços nutricionais em plantas (REIS *et al.*, 2016; MUTHULAKSHMI, 2020; SARDANS; PENUELAS, 2021). Esses problemas se manifestam por meio de clorose nas folhas, associada à deficiência de minerais como ferro, potássio e fósforo, comprometendo processos fisiológicos da planta e afetando o crescimento e produção de matéria seca (GOMEZ-PEREZ *et al.*, 2014, SHAHSAVANDI *et al.*, 2020; SARDANS; PENUELAS, 2021).

Altas concentrações de cloreto de sódio na água de irrigação, além do aumento da salinidade e desestruturação do solo, promovem desequilíbrio nutricional e toxicidade pelos íons Na^+ e Cl^- (FAO, 1985; BRYLA *et al.*, 2021, WU *et al.*, 2023). O sódio em excesso no meio de cultivo reduz a absorção de K^+ e Ca^{2+} pelas plantas, devido à capacidade do Na^+ de atravessar a membrana plasmática de forma passiva, enquanto seu efluxo é um processo ativo, ocasionando desequilíbrio iônico e afetando negativamente o metabolismo vegetal (ATTA *et al.*, 2023; FU; YANG, 2023). A toxicidade por íons específicos, como o Na, pode ter seus danos intensificados pelo estresse hídrico, apresentando sintomas associados à necrose foliar (LUCZAK *et al.*, 2021). Também, o excesso de Cl interfere na absorção de ânions, o que causa prejuízos ao processo fotossintético (GEILFUS, 2018).

O pequizeiro (*Caryocar brasiliense* Camb.) é uma espécie nativa do bioma Cerrado com recorrente demanda por material propagativo, tanto para cultivo comercial, quanto para projetos de restauração ambiental (GIROLDO; SCARIOT, 2015; RODRIGUES *et al.*, 2019). Essa espécie ocorre normalmente em áreas de Latossolos, que possuem baixa concentração de bases trocáveis, o que pode ser um indicador de baixa tolerância à presença de sais (HARADISAN, 2008; GIROLDO, SCARIOT, 2015; LIRA-MARTINS *et al.*, 2022). Dessa forma, o conhecimento da qualidade da água de irrigação para produção de mudas da espécie torna-se importante, pois a presença e determinadas concentrações de sais podem provocar mudanças nos atributos químicos do substrato, interferindo no desenvolvimento e na nutrição das mudas. Além das especificidades de clima, solo e substrato, a qualidade da água de irrigação torna-se mais um fator a ser considerado na produção das mudas de frutíferas nativas, em função da sua capacidade de alterar e comprometer condições cultivo.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Verificar o efeito de diferentes concentrações de sais na água de irrigação na produção de mudas de pequiheiro, buscando compreender fatores que podem ocasionar limitações na propagação desta espécie.

2.2 Objetivos Específicos

1. Avaliar o efeito de diferentes concentrações de sulfato de cálcio ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) na água de irrigação sobre os atributos químicos do substrato, desenvolvimento e nutrição de mudas de pequiheiro.

2. Avaliar a influência de diferentes concentrações de cloreto de sódio (NaCl) na água de irrigação sobre os atributos químicos do substrato e desenvolvimento das mudas de pequiheiro.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Pequizeiro: caracterização e importância socioeconômica e ambiental

O pequizeiro (*Caryocar brasiliense* Camb.) é uma planta típica do Cerrado, pertencente à família *Caryocaraceae*. A espécie é uma árvore semidecídua, com flores hermafroditas, troncos tortuosos de casca rugosa e espessa, com folhas grandes compostas por três folíolos e bordas recortadas, com altura até 10 metros, podendo apresentar variações morfológicas em função do ambiente onde ocorre (RAMOS *et al.*, 2015; CHAVES *et al.*, 2017; FERREIRA; PAULA JÚNIOR, 2019;).

O pequi tem nome de origem tupi e significa “pele espinhenta”, por causa dos pequenos espinhos no caroço. O fruto é uma drupa, com formato esférico e coloração do exocarpo verde, contendo de um a quatro caroços, excepcionalmente até seis (BARRADAS, 1973; CUNHA *et al.*, 2023). Esses são cobertos por uma casca fina de cor verde acinzentada (exocarpo) aderida ao mesocarpo externo (polpa branca), sendo esse conjunto (exocarpo + mesocarpo externo) comumente chamado casca. Os pirênios são constituídos pelo mesocarpo interno, que corresponde à polpa comestível, pelo endocarpo lenhoso com revestimento de acúleos que protegem a semente (BARRADAS, 1973; CUNHA *et al.*, 2023).

O fruto de *C. brasiliense* desenvolve um conjunto de características morfofisiológicas peculiares, como o endocarpo rígido e aculeado, bem como a semente contendo embrião com hipocótilo expandido. A presença destas estruturas contribui para a adaptação da espécie ao ambiente de clima sazonal do bioma Cerrado, uma vez que o endocarpo protege a semente da herbivoria e de estresses abióticos, enquanto o hipocótilo funciona como órgão armazenador de reservas (BARRADAS, 1973; SOUSA *et al.*, 2017a; RODRIGUES *et al.*, 2020; RIBEIRO *et al.*, 2021; LIRA-MARTINS *et al.*, 2022). O hipocótilo é um tecido de reserva que nutre as plântulas durante a fase de baixa produção fotossintética, da emergência até o estabelecimento. Posteriormente, quando a planta passa a ser autotrófica, este órgão é novamente carregado e seus nutrientes utilizados no próximo ano, principalmente, durante o período de estiagem (BARRADAS 1973; SOUSA *et al.*, 2017a; RODRIGUES, *et al.*, 2020).

O pequizeiro é uma das espécies frutíferas nativas de maior importância econômica e social no bioma Cerrado brasileiro, pois gera renda e emprego para

populações que vivem do extrativismo (GIROLDO; SCARIOT, 2015; LACERDA *et al.*, 2022). É um dos produtos florestais símbolo da cultura e da culinária da região central do Brasil, com frutos comestíveis e apreciados pelas populações locais (GIROLDO; SCARIOT, 2015; GUEDES *et al.*, 2017). A espécie é recomendada para o enriquecimento e a recuperação de ambientes degradados em áreas de preservação permanente e reserva legal, além de apresentar potencial para uso em sistemas integrados de produção agropecuária em função dos múltiplos usos (GIROLDO; SCARIOT, 2015; RODRIGUES *et al.*, 2020).

Embora apresentem ampla ocorrência no Cerrado, o pequizeiro e outras frutíferas nativas vêm sendo submetidas a pressões antrópicas crescentes, tanto pela supressão de habitats quanto pela crescente demanda por seus frutos, oriundos quase que exclusivamente do extrativismo (GIROLDO; SCARIOT, 2015). Isso coloca em risco a sobrevivência da espécie e de toda a sua cadeia produtiva, afetando a propagação natural e ocasionando redução das populações nativas (LACERDA *et al.*, 2022). Além do impacto ecológico, o impacto econômico também é considerável, pois a coleta dos frutos e seu processamento representam importante fonte de emprego e recursos, principalmente em regiões com baixo índice de desenvolvimento (GIROLDO; SCARIOT, 2015; GUEDES *et al.*, 2017).

A espécie *C. brasiliense* pode ser propagado por semente ou de forma vegetativa (CARMONA *et al.*, 2022). Contudo, o cultivo comercial da espécie ainda é limitado pela dificuldade na obtenção de mudas em quantidade e qualidade (LACERDA *et al.*, 2022). Vários fatores interferem neste processo, como a dormência e qualidade das sementes, tipo de substrato, adubações e qualidade da água de irrigação. O pequizeiro cresce e se desenvolve em solos com baixas concentrações de nutrientes, pH ácido e alta concentração de alumínio (GIROLDO; SCARIOT, 2015; LIRA-MARTINS *et al.*, 2022). Portanto, alterações na composição química do substrato por meio da água irrigação podem comprometer a formação da muda e limitar a obtenção de material propagativo de qualidade.

3.2 Qualidade da água para irrigação

A água é um recurso-chave para que as plantas se desenvolvam e completem seu ciclo. Esse fator, frequentemente, limita a produtividade agrícola em função não apenas da quantidade, mas também pela sua qualidade (FAO, 1985; HOSSAIN, 2019;

MUTHULAKSHMI, 2020). A qualidade das águas subterrâneas é influenciada pelo clima, pela formação geológica e por ações antrópicas, o que exige estratégias de manejo diferentes para o uso agrícola das áreas (MUTHULAKSHMI, 2020).

Águas subterrâneas de poços podem apresentar alto grau de restrição ao uso para a irrigação quanto aos riscos de salinização, sodicidade e toxicidade de íons. Porém, representam muitas vezes a única alternativa para acesso à água em regiões áridas e semiáridas (FAO, 1985; MUTHULAKSHMI, 2020; LIMA, 2020; ATTA et al., 2023). A presença elevada de sais no meio de cultivo das plantas é percebida pelas células das raízes, afetando a absorção de água, nutrientes e permeabilidade das membranas. Isso altera o metabolismo da planta, o crescimento e desenvolvimento vegetativo e reprodutivo, bem como mudanças de coloração e senescência dos órgãos vegetais (PARIHAR *et al.*, 2014, ATTA *et al.*, 2023).

As classificações para água utilizada na irrigação possuem algumas variações entre autores e regiões. Os principais parâmetros utilizados para avaliar sua qualidade são a condutividade elétrica ou eletrolítica, total de sólidos dissolvidos, razão de adsorção de sódio, e o teor solúvel de sódio, cálcio e magnésio em forma de cloretos, sulfatos e bicarbonatos (FAO, 1985; MUTHULAKSHMI, 2020). Entretanto, os componentes que constituem a qualidade da água de irrigação e sua influência no comportamento vegetal, além dos diversos fatores envolvidos, como: tempo e intensidade de exposição aos sais, sistema de cultivo, tolerância da cultura, déficit ou excesso de água, etc, são de complexo entendimento. A compreensão aprofundada desses componentes e fatores permite identificar o problema e indicar estratégias para mitigar os efeitos no cultivo em regiões com problemas de salinidade.

3.2.1 Água de irrigação com elevado teor de cálcio, magnésio e bicarbonatos

A condutividade elétrica (CE) é uma característica importante que infere na qualidade da água de irrigação. A CE permite estimar o seu potencial de salinização de um solo, uma vez que estima o total de sais solúveis na água amostrada. Valores de condutividade elétrica abaixo de $0,75 \text{ dS m}^{-1}$ são considerados sem restrição do uso da água para maioria das culturas agrícolas, enquanto a faixa entre $0,75\text{--}3,00 \text{ dS m}^{-1}$, considerada moderada, e acima de $3,00 \text{ dS m}^{-1}$, severa (MUTHULAKSHMI, 2020). Outra característica, é teor do íon bicarbonato, que abaixo de $91,5 \text{ mg L}^{-1}$ não apresenta restrição de uso, entre $91,5$ e 519 mg L^{-1} , classificado como leve a

moderada, e acima 519 mg L⁻¹, grau severo ou forte (FAO, 1985; DRECHSEL *et al.*, 2023). Influenciado pela presença de carbonato e bicarbonato, o pH é também importante para a água de irrigação e deve ficar entre 6,5 e 8,5. Já a recomendação dos teores de cálcio e magnésio solúveis, respectivamente, abaixo de 400 e 30 mg L⁻¹ (FAO, 1985; DRECHSEL *et al.*, 2023, MUNIZ *et al.*, 2023). No Norte de Minas Gerais, águas subterrâneas utilizadas na irrigação possuem em média valores de pH entre 7,0 e 8,0, condutividade elétrica de 0,78 dS m⁻¹, mas que pode atingir 6,96 dS m⁻¹ e grau de restrição moderado quanto às concentrações de bicarbonato (MUNIZ *et al.*, 2023). A utilização dessas águas subterrâneas na irrigação no cultivo de espécies nativas pode comprometer o seu desenvolvimento, principalmente em plantas nativas do Cerrado, adaptadas a solos distróficos e que são sensíveis a maior concentração de sais no substrato (HARIDASAN, 2008; RODRIGUES *et al.*, 2017).

A água de irrigação com características alcalinas, oriundas de poços subterrâneos, tende a formar precipitados químicos nas superfícies onde são aspergidos e no interior dos dutos por onde escoam, devido aos altos níveis de cálcio, carbonatos e bicarbonatos (MUNIZ *et al.*, 2023). Valores elevados de pH, aliado a altas temperaturas e altas concentrações de sais pouco solúveis favorecem a precipitação de carbonato de cálcio causando a formação de escamas brancas nas folhas, afetando também sistemas de irrigação (FAO, 1985; AL-BAYATI *et al.*, 2023). Já elevados teores de Mg⁺² na água de irrigação tendem a elevar seus níveis no solo, alterando a relação Ca/Mg, o que pode ocasionar deficiência de cálcio nas plantas em função da competição pelos mesmos sítios de absorção (AL-BAYATI *et al.*, 2023). Deficiências de cálcio, por sua vez, estão associadas normalmente a queimaduras nas folhas, área jovens em expansão e rachadura em frutos (WHITE, P. J.; BROADLEY, 2003).

Solos alcalinos tendem a induzir deficiências de nutrientes importantes para as plantas, como o ferro, que em pH acima de 8 é facilmente oxidado, tornado-se inacessível às raízes, o que prejudica o sistema fotossintético da planta e provoca redução nos teores de clorofila (GOMEZ-PEREZ *et al.*, 2014; LITALIEN; ZEEB, 2020). O manejo da água para reduzir o efeito do bicarbonato é realizado pela adição de ácidos, como ácido nítrico (HNO₃) ou o fosfórico (H₃PO₄), que além de reduzir o pH, fornece nutriente necessário às plantas (FAO, 1985).

3.2.2. Água de irrigação com elevado teor de cloreto de sódio

Alguns íons com riscos usuais de toxidez na água de irrigação são cloreto, sódio e boro. Cloretos em concentrações abaixo de 140 mg L^{-1} não apresentam restrição de uso, enquanto de 140 a 525 mg L^{-1} mostram restrição leve a moderada, e acima de 525 mg L^{-1} severa (FAO, 1985). O sódio é considerado tolerável em concentrações abaixo de 33 mg L^{-1} , com restrição moderada entre 33 e 99 mg L^{-1} e severa acima de 99 mg L^{-1} na água de irrigação (FAO, 1983; MUTHULAKSHMI, 2020). O uso prolongado de água com excesso de sais, quando a drenagem e lixiviação são restritas, pode causar sodicidade nos solos, o que atinge níveis críticos para cultivos (ZAMAN *et al.*, 2018).

A salinidade ocasionada pelo NaCl é um problema grave, que provoca prejuízos às plantas, inibindo o crescimento e o metabolismo vegetal (FU; YANG, 2023, KOPECKA *et al.*, 2023, PARIHAR *et al.*, 2014, ATTA *et al.*, 2023). Vários são os efeitos do excesso do cloreto de sódio para as plantas, entre estes, o estresse osmótico, que interfere na absorção de água, o iônico, que resulta na acumulação de íons tóxicos e causa desequilíbrio nutricional e, o oxidativo, pela produção elevada de espécies reativas de oxigênio (ROS), que levam a danos e morte celular (FU; YANG, 2023; LI; AHAMMED, 2023; PARIHAR *et al.*, 2014, ATTA *et al.*, 2023). Além disso, o sódio em quantidade elevada causa a dispersão das partículas de argila, o que resulta na desestruturação dos solos, diminui a infiltração e aumenta o risco de erosão (ATTA *et al.*, 2023).

O excesso de sais reduz o potencial osmótico na solução do solo, dificulta a absorção de água pela planta e acarreta sintomas de seca semelhantes ao estresse hídrico. Como estratégia de resistência, em algumas plantas, ocorre o processo de biossíntese e acúmulo de osmólitos, ácidos orgânicos, açúcares e aminoácidos nas células, como um sistema de osmoproteção, facilitando a absorção de água em solos salinos (ATTA *et al.*, 2023). Outra estratégia é pelo acúmulo de prolina, que protege as membranas contra efeitos deletérios das espécies reativas de oxigênio, provenientes do estresse abiótico (ATTA *et al.*, 2023; KOPECKA *et al.*, 2023). Por outro lado, as espécies reativas de oxigênio, em baixas concentrações, atuam como moléculas sinalizadoras, mobilizando íons de Ca^{+2} para ativação de enzimas que atuam no processo de exclusão celular do Na^{+} (RAHMAN *et al.*, 2021; FU; WANG, 2023).

Problemas de toxicidade ocorrem quando íons se acumulam no solo e são absorvidos pela planta, cuja sensibilidade varia conforme cada cultura (FAO, 1985; LITALIEN; ZEEB, 2019). Os sintomas típicos de toxicidade pelo sódio nas plantas são queimaduras nas folhas ao longo das bordas externas e, à medida que a severidade aumenta, movem-se progressivamente entre as nervuras, em direção ao interior da folha. Frequentemente, esses sintomas são acompanhados por queda ou desfolha precoce das folhas. Entretanto, os sintomas de toxicidade por cloreto ocorrem, em geral, inicialmente na ponta extrema da folha (FAO, 1985; LITALIEN; ZEEB, 2019).

Dois mecanismos são comumente descritos como estratégia para as plantas lidarem com o excesso de sais de sódio. O primeiro é o processo de exclusão, que acontece na raiz, em função dos níveis fisiológicos de Ca^{2+} externo. Este elemento atua nos canais de absorção, o que leva ao aumento da seletividade dos transportadores de K^+ e minimiza a captação de Na^+ . Dessa forma, mantém-se a homeostase iônica e reduzir o ingresso de íons potencialmente prejudiciais na parte aérea. O segundo mecanismo está relacionado à tolerância interna conferida às plantas pela capacidade de compartimentalizar ou quelar concentrações elevadas de elementos potencialmente tóxicos, por meio da sequestração vacuolar. Em algumas espécies de plantas, os íons minerais absorvidos em excesso são excretados por glândulas de sal presentes nas folhas (RAHMAN *et al.*, 2021; ATTA *et al.*, 2023; FU; WANG, 2023).

Os solos com excesso de Na^+ são considerados sódicos, apresentando dispersão coloidal pela interação do sódio com as partículas do solo. Isso reduz o tamanho dos poros e enfraquece sua estrutura, ocasiona problemas de infiltração e prejudica o crescimento das plantas, além de causar erosão. Corretivos orgânicos podem promover benefícios para o crescimento de plantas em solos salinos/sódicos. Esses melhoram a ligação das pequenas partículas, formando agregados que constituem canais que ajudam a aumentar a permeabilidade do solo, enquanto lixiviam Na^+ (ONDRASEK *et al.*, 2022).

3.3 Referências

AL-BAYATI, A. H.; AL-AZAWI, H. H.; AL-RAWI, M. K. Evaluation the Suitability of Irrigation Water in Karma Island for Agriculture. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* v. 1222, 2023.

ATTA, K.; MONDAL, S.; GORAI, S.; SINGH, A. P.; KUMARI, A.; GHOSH T.; ROY, A.; HEMBRAM, S.; GAIKWAD, D. J.; MONDAL, S.; BHATTACHARYA, S.; JHA, U. C.; JESPERSEN, D. Impacts of salinity stress on crop plants: improving salt tolerance through genetic and molecular dissection. **Front. Plant Science**, v. 14, 1241736. 2023.

CARMONA, R.; OLIVEIRA JÚNIOR, A. A. de; FERREIRA, D. F. N.; COSTA, R. E. da.; CARVALHO JÚNIOR, L. C.; GONÇALVES, H. M. Air layering in *Caryocar brasiliense* - effect of stem diameter. **Ciência Rural**, v. 52, n. 9, 2022.

CHAVES, L. J.; NAVES, R.; SOUZA, E. R. B. de; MOURA, N. F.; VERA, R. **PEQUI: *Caryocar brasiliense* Cambess.** Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), 2017.

CUNHA, M. C. D.; TERRA, L. H.; CAMPOS e SOUSA, P.; VILELA, D. R.; OLIVEIRA, A. L.; SILVA, J. S.; SIMÃO, S. D.; PEREIRA, J.; ALVES, J. G. L. F.; CARVALHO, E. E. N. D.; VILAS BOAS, E. V. B. Physical, chemical and sensory implications of pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) sweet bread made with flour, pulp and fruit by-product. **Chemical Sciences - Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 95, n. 2, 2023.

DRECHSEL, P.; MARJANI ZADEH, S.; PEDRERO, F. (ed.). **Water quality in agriculture: Risks and risk mitigation.** Rome: FAO & IWMI, 2023.

FAO. **Water quality for agriculture.** Food and Agriculture Organization, Rome, 1985.

FERREIRA, T. S.; PAULA JÚNIOR, W. Phytochemical characterization of the pulp and almond of *Caryocar brasiliense* Cambess. **Brazilian Journal of Health and Pharmacy**, v. 1, n. 2, 2019.

FU, H.; YANG, Y. How Plants Tolerate Salt Stress. **Curr. Issues Mol. Biol.** v. 45, 5914 - 5934, 2023.

GOMEZ-PEREZ, L.; VALDEZ-AGUILAR, L. A.; RANGEL, A. S.; BENAVIDEZ-

MENDOZA, A. Calcium Ameliorates the Tolerance of Lisianthus [*Eustoma grandiflorum* (Raf.) Shinn.] to Alkalinity in Irrigation Water. **Hortscience**, v. 49, n. 6, p. 807 - 811, 2014.

KOPECKÁ, R.; KAMENIAROVÁ, M.; CERNÝ, M.; BRZOBOHATÝ, B.; NOVÁK, J. Abiotic Stress in Crop Production. **Int. J. Mol. Sci.** v. 24, 6603, 2023.

LACERDA, V. R.; PAGEHÚ, L. F.; GONÇALVES, A. P.; VIEITES, R. L.; LOPES, P. S. N. Gibberellic Acid Concentrations and Storage of *Caryocar brasiliense* (Caryocaraceae) Seeds Propagated in Tubes. *Horticulturae*, v. 8, n. 11, 2022.

LI, Z.; AHAMMED, G. J. Plant stress response and adaptation via anthocyanins: A review. **Plant Stress**, v. 10, 2023.

LITALIEN, A.; ZEEB, B. Curing the earth: A review of anthropogenic soil salinization and plantbased strategies for sustainable mitigation. **Science of the Total Environment**, v. 698, 134235, 2020.

LUCZAK, K.; CZERNIAWSKA-KUSZA, I.; ROSIK-DULEWSKA, C.; KUSZA, G. Effect of NaCl road salt on the ionic composition of soils and *Aesculus hippocastanum* L. foliage and leaf damage intensity. **Sci Rep**, v. 11, 5309, 2021.

MUNIZ, G. L.; OLIVEIRA, A. L. G.; BENEDITO, M. G.; CANO, N. D.; CAMARGO, A. P. D.; SILVA, A. J. D. Risk Evaluation of Chemical Clogging of Irrigation Emitters via Geostatistics and Multivariate Analysis in the Northern Region of Minas Gerais, Brazil. **Water**, v. 15, n. 790, 2023.

MUTHULAKSHMI, Y. R. Geo-spatial analysis of irrigation water quality of Pudukkottai district. **Applied Water Science**, v. 10, n. 82, 2020.

ONDRASEK, G.; RATHOD, S.; MANOHARA, K.K.; GIREESH, C.; ANANTHA, M.S.; SAKHARE, A.S.; PARMAR, B.; YADAV, B.K.; BANDUMULA, N.; RAIHAN, F.; *et al.* Salt Stress in Plants and Mitigation Approaches. **Plants**, v. 11, n. 717, 2022.

PARIHAR, P.; SINGH, S.; SINGH, R.; SINGH, V. P.; PRASAD, S. M. Effect of salinity stress on plants and its tolerance strategies: a review. **Environ Sci Pollut Res**, v. 22, 4056 - 4075, 2015.

RAHMAN, M. M.; MOSTOFA, M. G.; KEYA, S. S.; SIDDIQUI, M. N.; ANSARY, M. M. U.; DAS, A. K.; RAHMAN, M. A.; TRAN, L. S. Adaptive Mechanisms of Halophytes and Their Potential in Improving Salinity Tolerance in Plants. **Int J Mol Sci**. v. 22, n. 19, 10733, 2021.

RAMOS, B. H.; SILVA, K. L. F.; COIMBRA, R. R.; CHAGAS, D. B. FERREIRA, W. de M. Anatomy and micromorphometry of *Caryocar brasiliense* leaves. **Rodriguésia**, v. 66, n. 1, p. 087-094.

RODRIGUES, I. V.; LOPES, P. S. N.; RIBEIRO, L. M.; MERCADANTE-SIMÕES, M. O.; MARTINS, C. de P. S.; VIEIRA, F. R.; CACIQUE, A. P.; SANGLARD, D. A.; SILVÉRIO, F. O. Fruit Development and ABA Biosynthesis During *Caryocar brasiliense* (Caryocaraceae) Seed Maturation. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 39, p. 981-993, 2020.

SARDANS, J.; PENUELAS, J. Potassium Control of Plant Functions: Ecological and Agricultural Implications. **Plants (Basel)**, v. 10, n. 2, 419, 2021.

SOUSA, A. M. S.; LOPES, P. S. N.; RIBEIRO, L. M.; SANTIAGO, T. A.; LACERDA, V. R.; MARTINS, C. P. S. Germination and storage of *Caryocar brasiliense* seeds. **Seed Sci. & Technology**, v. 45, p. 557 - 569, 2017a.

WANG, X.; TIAN, W.; ZHENG, W.; XÁ, S.; LIA, J.; WANG, X.; ZHANG, X. Quantitative relationships between salty water irrigation and tomato yield, quality, and irrigation water use efficiency: A meta-analysis. **Agricultural Water Management**, v. 280, 2023.

WHITE, P. J.; BROADLEY, M. R. Calcium in plants. **Ann Bot**, v. 92, n. 4, p. 487-511, 2003.

4 ARTIGOS

4.1 ARTIGO 1 - Efeito da aplicação de água contendo sulfato de cálcio na produção de mudas de pequizeiro

Efeito da aplicação de água contendo sulfato de cálcio na produção de mudas de pequi

RESUMO:

O pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) é uma árvore frutífera endêmica do Cerrado e de grande relevância ecológica e socioeconômica, mas ameaçada pelo desmatamento e extrativismo predatório. Existe crescente demanda por mudas da espécie para plantios comerciais e recuperação de áreas degradadas. O pequi é adaptado à solos ácidos e pobres em cálcio. No entanto, é comum que a água disponível para irrigação dos viveiros, em diversas regiões, seja muito rica em cálcio, o que pode afetar as características químicas do substrato e o desenvolvimento das plantas. O presente estudo teve por objetivo avaliar o efeito de concentrações de sulfato de cálcio em água de irrigação sobre o desenvolvimento de mudas de pequi. Plântulas de pequi foram cultivadas em casa de vegetação e irrigadas com água contendo 0, 144, 288 e 433 mg L⁻¹ de sulfato de cálcio e um tratamento adicional, com água subterrânea oriunda de poço artesiano. Aos 180 dias após início dos tratamentos foram realizadas avaliações morfológicas e nutricionais das plantas, e dos atributos de fertilidade do solo. A adição crescente de sulfato de cálcio aumentou o crescimento da parte aérea da planta, mas reduziu a massa seca da raiz, do hipocótilo e do índice de qualidade de mudas de Dickson. Além disso, também, aumentou o teor e conteúdo de fósforo, cálcio e enxofre no tecido foliar e no hipocótilo. O tratamento adicional não comprometeu o crescimento das mudas, em comparação com os demais tratamentos, apesar de proporcionar menor relação massa seca da raiz e parte aérea e melhorar teor e conteúdo de magnésio no tecido foliar. Conclui-se que a melhor qualidade de mudas de pequi, baseada no Índice de Qualidade de Dickson, é obtida com água de irrigação com menor teor de sulfato de cálcio (zero mg L⁻¹).

Palavras-chave: qualidade da água; bicarbonato; frutífera nativa; bioma cerrado; nutrição do pequi.

Effect of applying water containing calcium sulfate on the production of pequi tree seedlings

ABSTRACT:

The pequi tree (*Caryocar brasiliense* Camb.) is a fruit tree endemic to the Cerrado and of great ecological and socioeconomic relevance, but threatened by deforestation and predatory extractivism. There is a growing demand for seedlings of the species for commercial planting and recovery of degraded areas. The pequi tree is adapted to acidic and calcium-poor soils. However, it is common for the water available for irrigation in nurseries, in many regions, to be very rich in calcium, which can affect the chemical characteristics of the substrate and the development of plants. The present study aimed to evaluate the effect of calcium sulfate concentrations in irrigation water on the development of pequi tree seedlings. Pequi seedlings were grown in a greenhouse and irrigated with water containing 0, 144, 288 and 433 mg L⁻¹ of calcium sulfate and an additional treatment with groundwater. 180 days after the start of treatments, morphological and nutritional assessments of the plants and soil fertility attributes were carried out. The increasing addition of calcium sulfate increased the growth of the aerial part of the plant, but reduced the dry mass of the root, hypocotyl and the Dickson seedling quality index. Furthermore, it also increased the content and content of phosphorus, calcium and sulfur in the leaf tissue and hypocotyl. The additional treatment did not compromise the growth of the seedlings, compared to the other treatments, despite providing a lower dry mass ratio of the roots and shoots and improving the magnesium content in the leaf tissue. It is concluded that the best quality of pequi tree seedlings, based on the Dickson Quality Index, is obtained with irrigation water with a lower calcium sulfate content (zero mg L⁻¹).

Keywords: water quality; bicarbonate; native fruit tree; cerrado biome; pequi tree nutrition.

1 INTRODUÇÃO

O pequizeiro (*Caryocar brasiliense*), árvore frutífera endêmica do Cerrado, é uma planta de grande importância ecológica e socioeconômica. Seus frutos são utilizados para consumo humano e nas indústrias cosmética e farmacêutica, além de serem fonte importante de alimento para a fauna silvestre (GUEDES *et al.*, 2017). Entretanto, a expansão da fronteira agrícola no Cerrado e o extrativismo intenso dos frutos, colocam a sobrevivência da espécie em risco e incentivam projetos de cultivo e restauração de áreas (GIROLDO e SCARIOT, 2015; RODRIGUES *et al.*, 2019). A implantação desses projetos é limitada pela oferta de mudas em quantidade e qualidade, assegurando bom pegamento em campo e crescimento vegetativo elevado (SOUSA *et al.*, 2017b).

Mudas de *C. brasiliense* apresentam exigência nutricional restrita indicado pelos baixos teores de nutrientes na biomassa seca da parte aérea (CARLOS *et al.*, 2014). Além disso, as reservas contidas no hipocótilo, região entre os cotilédones e a radícula, contribuem para a manutenção da planta na fase inicial (MORAES *et al.*, 2016; SOUSA *et al.*, 2017a, PAUSAS *et al.*, 2018; FERRARO *et al.*, 2021). Neste sentido, a baixa exigência nutricional do pequizeiro, aliada às suas reservas embrionárias, constituem estratégias importantes para a sobrevivência e estabelecimento da planta em solos distróficos e com déficit hídrico, muito comum em áreas do Cerrado (RIBEIRO *et al.*, 2021; LIRA-MARTINS *et al.*, 2022).

Em geral, as mudas de plantas nativas do Cerrado, inclusive *C. brasiliense*, adaptadas a solos ácidos, ricos em alumínio e de baixa fertilidade, requerem substratos com características semelhantes às condições naturais para a propagação (HARIDASAN, 2008; LIRA-MARTINS *et al.*, 2022). Entretanto, há escassez de estudos conclusivos em relação à nutrição na fase de crescimento das mudas, o que é um aspecto fundamental para a produção de material propagativo de qualidade.

Outro fator relevante se refere à qualidade da água utilizada na irrigação das mudas, que, em regiões semiáridas é, frequentemente, oriunda de poços artesianos e com teores elevados de bicarbonatos, carbonatos e de cálcio (REIS *et al.*, 2016). O aumento da alcalinidade da água de irrigação pode ocasionar a redução da taxa fotossintética e condutância estomática, ocorrendo diminuição na produção de matéria seca (GOMEZ-PEREZ *et al.*, 2014). Tal fato tem sido associado à redução na absorção de K, íon envolvido na regulação dos estômatos na parte aérea (SARDANS e PENUELAS, 2021).

A alcalinidade da água também pode contribuir para a geração de formas insolúveis e comprometer a absorção de nutrientes, principalmente o Fe, que é constituinte de citocromos e está envolvido no transporte de elétrons durante o processo fotossintético (GOMEZ-PEREZ *et al.*, 2014; SHAHSAVANDI *et al.*, 2020). Altas proporções de sais pouco solúveis em águas ricas em carbonatos e bicarbonatos proporcionam comumente depósitos brancos sobre as folhas, reduzindo a qualidade comercial das mudas, além de ocasionar deposição gradual de sais no solo, o que pode resultar em faixas inadequadas de pH, de disponibilidade de nutrientes e estresse osmótico (FAO, 1985; AL-BAYATI *et al.*, 2023). Por outro lado, dependendo da quantidade de bicarbonato e de cálcio na água de irrigação, da sensibilidade e necessidades nutricionais da espécie cultivada e de outros fatores, águas ricas em cálcio podem promover crescimento superior das plantas, em função de alterações positivas nos atributos do solo e na nutrição da planta (SHAHABI *et al.*, 2005; REIS *et al.*, 2016).

Existem poucas informações sobre os efeitos das concentrações elevadas de bases trocáveis na água de irrigação sobre características morfológicas e equilíbrio nutricional de mudas de pequi. Devido à adaptação da espécie a solos com baixas concentrações de cálcio, é importante a avaliação dos efeitos desse elemento sobre as condições nutricionais e desenvolvimento das plantas. A compreensão desses fatores poderá contribuir para a ampliação dos conhecimentos sobre a nutrição mineral de plantas endêmicas do Cerrado e subsidiar a geração de tecnologia para propagação do pequi.

O objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito da água de irrigação com diferentes concentrações de sulfato de cálcio sobre os atributos químicos do substrato, nutrição e desenvolvimento de mudas de pequi.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Local e instalação do experimento

O experimento foi instalado em casa de vegetação, com temperaturas médias variando entre 22 e 31,5 °C, com a mínima atingindo 6 °C nos meses de junho e julho, e a máxima alcançando os 45 °C nos meses de outubro e novembro, no viveiro de produção de mudas frutíferas, setor de Fruticultura (16°40'55"S; 43°50'24"W), do Instituto de Ciências Agrárias (ICA) da UFMG, Montes Claros - MG. O clima da região é classificado como tropical (Aw) com estação seca no inverno (ALVARES *et al.*,

2013). A temperatura média anual é de 23,1°C e precipitação média anual de 869 mm (CLIMATE-DATA.ORG, 2024). Região marcada por intenso déficit hídrico, predominam solos profundos sob influência de calcários e metassiltitos/metargilitos (SAMPAIO e FERNANDES, 2021).

Os frutos de pequiheiro (*C. brasiliense*) foram obtidos no Município de São João da Lagoa - MG (16°46'42"S; 44°18'24"W), tendo sido colhidos após a abscisão natural, um indicativo de que o fruto do pequiheiro está maduro. Os mesocarpos externo e interno foram retirados com auxílio de uma faca, para obtenção dos pirênios, unidade de dispersão da espécie composto por semente e endocarpo aculeado (SOUSA *et al.*, 2017b). Os pirênios foram armazenados à sombra, em local seco e arejado por 40 dias.

Os pirênios foram submetidos a tratamento pré-germinativo, visando quebra de dormência das sementes, sendo imersos em água, por 10 dias e em solução de 125 mg L⁻¹ de ácido giberélico (GA₃, PROGIBB 400®), por quatro dias (SOUSA *et al.*, 2017a). Os pirênios foram semeados em canteiros preenchidos com solo oriundo de área de ocorrência natural do pequiheiro, utilizando o espaçamento de 2 x 2 cm e profundidade de 4 cm.

As plântulas emergidas, 40 dias após o semeio, foram selecionadas visando padronização, apresentando valores médios de altura (H) = 5,02 ± 0,29 cm, diâmetro do caule (DC) = 3,36 ± 0,34 mm, número de folhas (NF) = zero, obtidos a partir de quatro repetições de quatro plântulas. Para o experimento, as plântulas foram repicadas, individualmente, para vasos de PVC branco de 10 cm de diâmetro e 30 cm de altura, com capacidade de 2,35 dm³, com dreno no fundo, caso ocorresse excesso de água de irrigação. Utilizou-se como substrato dos vasos, solo com textura arenosa (826 g kg⁻¹ de areia; 54 g kg⁻¹ de silte e 120 g kg⁻¹ de argila), oriundo do bioma Cerrado no Norte de Minas Gerais, onde predominam Latossolos e Neossolos Quartzarênicos, vindo de numa área onde foi verificada ocorrência natural do pequiheiro. A análise química do solo (Tabela 1), conforme métodos da Embrapa (2009), indica que os atributos de fertilidade variam de classe baixa a muito baixa, com alto teor de alumínio trocável (RIBEIRO *et al.*, 1999) e pH com acidez muito alta (SILVA, 2018).

O solo, antes de ser colocado no vaso, foi peneirado com peneira de malha de 4 mm e espalhado em local seco e arejado, visando padronizar características físicas e químicas. Cada vaso, após enchimento como solo, repicagem e irrigação com água destilada, foi pesado, utilizando balança eletrônica digital (Triunfo Max Dst-30, Brasil)

com padronização do peso e umidade ideal para condução do experimento sem que houvesse encharcamento do substrato e escoamento de água pelo dreno.

Tabela 1 - Atributos químicos do solo utilizado como substrato para produção de mudas de pequiizeiro.

pH-CaCl ₂	M.O. (dag Kg ⁻¹)	P -----	K (mg dm ⁻³)	S -----	Ca ---- (cmol _c dm ⁻³) ---	Mg ---
4,03	0,61	2,23	10,4	4,19	0,10	0,07
MA	MB	MB	MB	MB	MB	MB
Al -----	(H+Al) (cmol _c dm ⁻³)	T -----	t -----	SB -----	V ----- (%)	m -----
0,53	1,91	2,10	0,73	0,20	9,16	73,65
M	B	B	MB	MB	MB	A

MA = Muito alta (SILVA, 2018), A = Alto, M = Médio, B = Baixo, MB = Muito baixo (RIBEIRO *et al.*, 1999).

O experimento foi instalado em delineamento em blocos casualizados, com cinco tratamentos e quatro repetições, utilizando-se duas plantas por parcela, sendo uma planta por vaso. Os tratamentos constituíram-se de irrigação com solução contendo quatro concentrações (0; 144; 288 e 433 mg L⁻¹) de sulfato de cálcio dihidratado (CaSO₄.2H₂O, PA, PM=172,17, Dinâmica Química Contemporânea Ltda, Brasil), além do tratamento adicional, constituído por água subterrânea proveniente de poço artesiano (16°40'57"S; 43°50'17"W), utilizada na irrigação no viveiro de produção de mudas frutíferas e nativas do ICA/UFMG. O sulfato de cálcio foi usado por proporcionar pouca possibilidade de alteração no pH do substrato, sendo suas doses calculadas para corresponder ao teor de cálcio na água subterrânea, respectivamente, de 0, 50, 100 e 150%.

A água oriunda do poço artesiano foi submetida à análise química (APHA, 2017), com os resultados apresentados na Tabela 2. De modo geral, os parâmetros ficaram dentro do intervalo usual para águas utilizadas na agricultura. Apenas o bicarbonato apresentou grau de restrição de uso leve a moderado para irrigação por aspersão (FAO, 1985), sendo classificada como C₂S₁ (RICHARDS, 1954) considerada água de salinidade média e baixo teor de sódio.

Tabela 2 - Análise química da água subterrânea - poço artesiano.

pH	CE - (dS m ⁻¹)	Bicarbonato	Carbonato	Cloreto	Ca	Mg
		----- (mg L ⁻¹) -----				
7,84	0,440	275,28	<1	6,26	68,67	7,65
K	S	Na	B	Fe	Mn	RAS
		----- (mg L ⁻¹) -----				
0,91	4,80	17,95	<0,05	0,22	0,018	0,55

CE = Condutividade elétrica. RAS = Razão de Adsorção de Sódio.

Condução do experimento

Antes de iniciar a aplicação dos tratamentos, as mudas de pequiheiro passaram por um período de aclimatação de 40 dias, após repicagem, nos vasos na casa de vegetação, sendo irrigadas apenas com água destilada em dias alternados. Após esse período, as mudas foram selecionadas e distribuídas dentro de cada bloco em função do seu porte, de forma de manter a homogeneidade dentro do bloco. Os tratamentos foram aplicados por 180 dias, entre 01/06 a 30/11/21.

A umidade do solo foi mantida entre 19 e 27,5% conforme verificação em aparelho medidor de umidade do solo TDR (Reflectometria no Domínio do Tempo-modelo 6050X3K5B MiniTrase, USA) e mantida em função do peso do vaso, o que determinava o volume da solução a ser aplicada. Mensalmente, todos os vasos tinham sua umidade uniformizada. Ao longo do experimento cada planta recebeu, em média, um volume total de 9,53 litros de água por vaso.

A água subterrânea, coletada uma única vez, e as soluções de sulfato de cálcio foram armazenadas em galões de 20 litros. Antes de proceder à irrigação das mudas, os galões eram agitados para uniformização da solução. A irrigação acontecia de forma manual e sobre a parte aérea das plantas individualmente com auxílio de funil plástico, geralmente, em dias alternados, conforme umidade do solo.

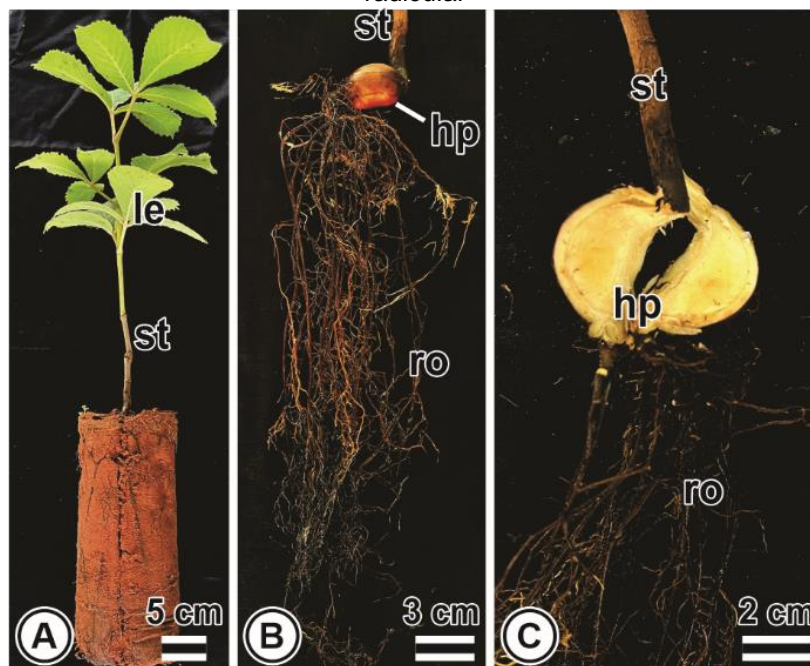
Avaliações

No momento da repicagem foram amostradas quatro repetições de quatro plântulas destinadas à avaliação inicial biométrica, além dos teores e conteúdo de nutrientes no hipocótilo. Ao final do experimento, 180 dias após o início dos

tratamentos, foram avaliadas a altura das plantas, da base até a parte apical, utilizando-se régua milimetrada, o diâmetro do caule ao nível do solo, por meio de paquímetro digital (Starret, 799, Brasil), o número de folhas e a área foliar usando o comprimento da nervura central (OLIVEIRA *et al.*, 2002), sendo consideradas na avaliação aquelas acima de 2 cm de comprimento.

As partes das plantas, logo após colhidas, foram levemente lavadas em água destilada, secas em papel toalha, colocadas em saco de papel pardo, identificadas, e levadas para estufa de circulação de ar forçada (Nova Ética, modelo 400/7D, Brasil), a 65°C, para secagem definitiva até atingir massa constante (TEDESCO *et al.*, 1995). O material foi pesado, com auxílio de balança analítica (BIOPRECISA, FA2104N, Brasil), para obtenção da massa seca das folhas, do caule (Figura 1a), da raiz (Figura 1b) e do hipocótilo (Figura 1c), da parte aérea (caule + folhas) e total (raiz + hipocótilo + parte aérea), além da relação matéria seca da raiz e parte aérea. O Índice de Qualidade de Dickson - IQD foi determinado em todas as plantas, obtido pela fórmula $IQD = [MST_{(g)} / (H_{(cm)} / DC_{(mm)}) + MSPA_{(g)} / MSR_{(g)}]$ que relaciona parâmetros morfológicos e massa seca indicando mudas com maiores chances de sobrevivências em campo (DICKSON *et al.*, 1960).

Figura 1 - Muda de *C. brasiliense* apresentando a parte aérea (folha+caule), hipocótilo e sistema radicular



le: folhas, **st:** caule, **hp:** hipocótilo inteiro (b) e em corte longitudinal (c), **ro:** sistema radicular

Além dos atributos químicos do solo (RIBEIRO *et al.*, 1999; EMBRAPA, 2009), foram avaliadas as concentrações dos macronutrientes nutrientes N, P, K, Ca, Mg e S na folha com pecíolo e no hipocótilo, conforme metodologia descrita por Malavolta *et al.* (1997). Também foi determinado o conteúdo de nutrientes na biomassa da folha e hipocótilo (SIDDIQI e GLASS, 1981).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as concentrações de sulfato de cálcio ajustadas para equações de regressão, testando-se os coeficientes até 10% de significância, pelo teste t. Na falta de ajuste da equação, foi calculado o valor médio da variável dependente, com seu respectivo intervalo de confiança. A comparação das médias do tratamento adicional com as dos demais tratamentos foi feita pelo teste Dunnett a 5% de significância. As análises foram realizadas utilizando-se o Programa R (R CORE TEAM, 2021).

3 RESULTADOS

Características vegetativas das mudas de *C. brasiliense*

Todas as características vegetativas aumentaram de valor em relação a condição inicial, quando a plântula foi repicada. A altura ($36,95 \pm 8,19$ cm) e a massa seca total da planta ($24,36 \pm 2,34$ g/planta) irrigada com água subterrânea atingiram valores semelhantes à média dos tratamentos com sulfato de cálcio, respectivamente, de $33,22 \pm 5,41$ cm e $22,05 \pm 4,02$ g/planta. Além disso, não houve efeito dos incrementos de sulfato de cálcio na água de irrigação para essas duas variáveis.

O tratamento adicional promoveu crescimento do diâmetro do caule ($9,51 \pm 1,58$ mm), número de folhas ($9,13 \pm 4,42$) e área foliar ($552,74 \pm 171,59$ cm²) análogos em relação aos demais tratamentos. Entretanto, nas doses crescentes de sulfato de cálcio houve aumento linear do número de folhas e área foliar, além de ajuste quadrático para o diâmetro do colo, com valor máximo atingido na concentração de 210 mg L⁻¹ de CaSO₄ (Figuras 2a, b, c).

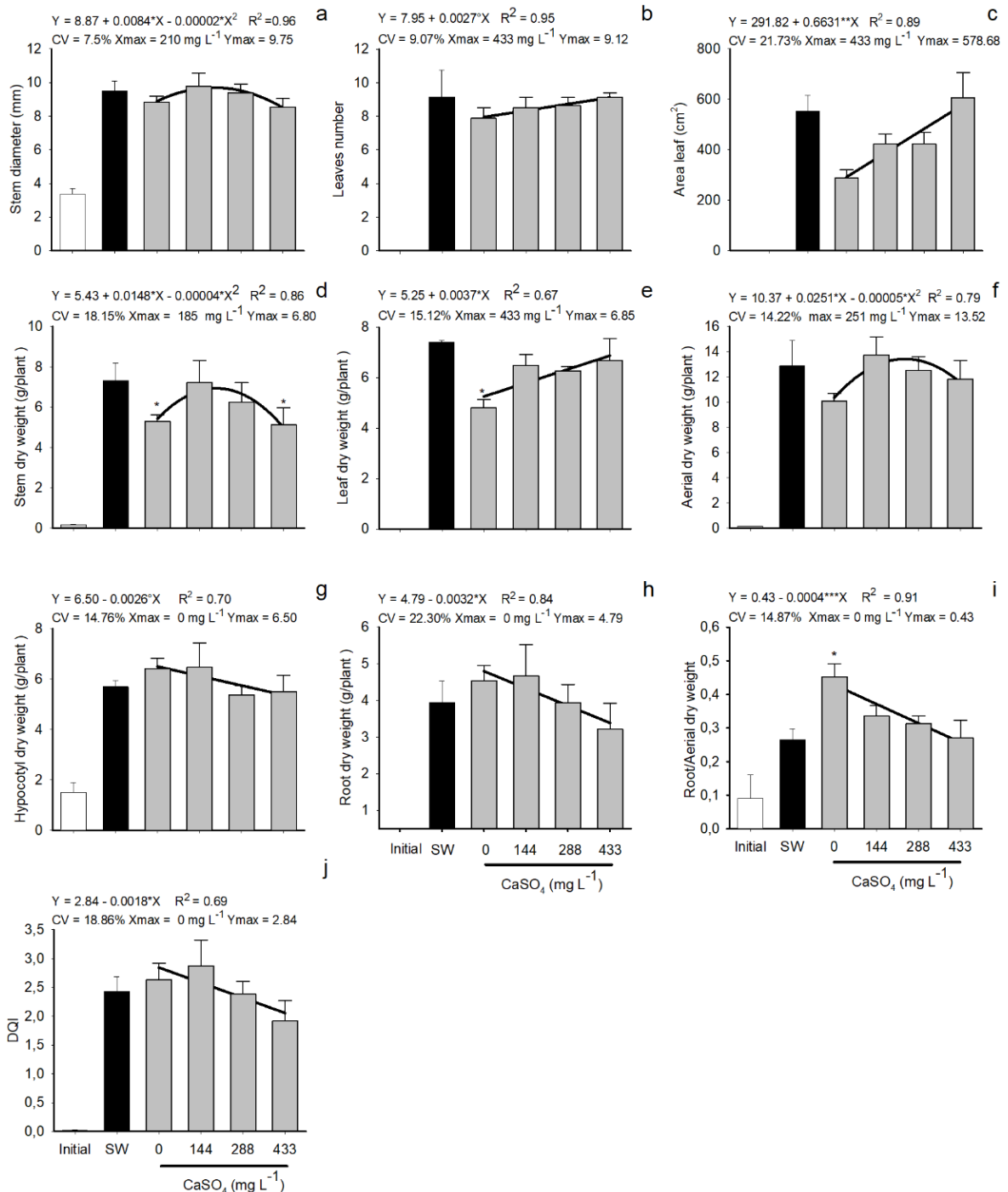
Em relação à massa seca do caule ($7,32 \pm 2,37$ g/planta) no tratamento adicional, o uso da água subterrânea proporcionou resultado semelhante às doses intermediárias de sulfato de cálcio e melhor desempenho quando comparado às outras concentrações extremas. Os incrementos de sulfato de cálcio na água de irrigação ajustaram-se à equação quadrática para matéria seca do caule, com valor máximo para a concentração 185 mg L⁻¹ de CaSO₄ (Figura 2d). Já a massa seca das folhas do tratamento adicional ($7,41 \pm 0,18$ g/planta) não diferiu dos tratamentos com

adição de sulfato de cálcio, a exceção da dose zero. As concentrações crescentes de sulfato de cálcio promoveram ganho linear de matéria seca da folha (Figura 2e). Por fim, a massa seca da parte aérea não mostrou diferenças entre a irrigação com água subterrânea ($12,87 \pm 5,55$ g/planta) e com solução de sulfato de cálcio, com aumentos na massa até a dose de 251 mg L^{-1} de CaSO_4 (Figura 2f).

Os valores da massa seca do hipocótilo ($5,70 \pm 0,64$ g/planta) e da raiz ($3,95 \pm 1,59$ g/planta) do tratamento adicional foram semelhantes aos demais tratamentos. Nas doses crescentes de sulfato de cálcio houve redução linear dessas variáveis (Figura 2g, h). Da mesma forma, a relação massa seca raiz e parte aérea ($0,27 \pm 0,09$) não mostrou diferença em relação às doses de sulfato de cálcio, exceção quando se utilizou tratamento com dose zero, alcançando maior valor ($0,45 \pm 0,11$). Além disso, a variável também se ajustou a uma equação linear negativa (Figura 2i).

O IQD do tratamento adicional ($2,43 \pm 0,72$) não diferiu dos outros tratamentos. Porém, considerando-se somente as doses crescentes de sulfato de cálcio na água de irrigação, houve redução linear desse índice (Figura 2j).

Figura 2 – Valores médios do diâmetro do caule, número de folhas, área foliar, massa seca do caule, folhas, parte aérea, hipocótilo e raiz, relação massa seca da raiz e parte aérea e índice de qualidade de dickson em mudas de *C. brasiliense* irrigadas com água subterrânea e com diferentes concentrações de sulfato de cálcio



Initial = condição inicial da plântula no momento da repicagem; **SW** = água subterrânea, tratamento adicional; **Xmax/min** = valor máximo ou mínimo de CaSO₄ na água de irrigação; **Ymax/min** = valor máximo ou mínimo da variável dependente; * **sobre a barra** = difere do tratamento adicional pelo teste Dunnett a 5% de significância; °, *, **, *** **nos coeficientes da equação** = significativos, respectivamente, a 10, 5, 1 e 0,1% pelo teste t.

Atributos químicos do substrato

Os teores de matéria orgânica ($0,74 \pm 0,46 \text{ dag kg}^{-1}$), fósforo ($2,21 \pm 0,17 \text{ mg}$

dm⁻³) e potássio (13,30 ± 0,00 mg dm⁻³) disponíveis no substrato não foram influenciados pelas concentrações de sulfato de cálcio na água de irrigação e também não proporcionaram diferença significativa em relação ao tratamento adicional, respectivamente, de 0,64 ± 0,14 dag kg⁻¹, 2,35 ± 0,12 mg dm⁻³ e 13,30 ± 0,00 mg dm⁻³. Além disso, esses valores obtidos ficaram próximos aos observados no solo antes do cultivo (matéria orgânica: 0,61 ± 0,00 dag kg⁻¹, P - 2,23 ± 0,20 mg dm⁻³, K - 10,40 ± 0,00 mg dm⁻³).

A acidez ativa do solo (pH em CaCl₂) foi menor com uso da água subterrânea (5,80 ± 0,26) quando comparada à condição inicial (4,03 ± 0,02) e aos demais tratamentos. Porém, nas diferentes concentrações de sulfato de cálcio, os valores de pH aumentaram de forma restrita, ajustando-se à equação linear, mas próximos aos observados no solo antes do cultivo (Figura 3a).

O tratamento adicional apresentou teores de cálcio (1,07 ± 0,64 cmol_c dm⁻³) e magnésio (0,33 ± 0,12 cmol_c dm⁻³) no substrato mais elevados do que na condição inicial (Ca = 0,10 ± 0,06 cmol_c dm⁻³; Mg = 0,07 ± 0,05 cmol_c dm⁻³) e nas duas menores concentrações de sulfato de cálcio. Além disso, para ambos os elementos, houve aumento linear dos teores trocáveis do substrato com o incremento das doses de CaSO₄ na água de irrigação (Figura 3b, c). Todos os tratamentos ocasionaram teores mais elevados de sulfato do que no substrato na condição original (4,19 ± 0,00 mg dm⁻³). O uso da água subterrânea apresentou quantidade de S no substrato (20,85 ± 8,54 mg dm⁻³) semelhante à dose zero de sulfato de cálcio, logo menor do que nas demais doses. As quantidades crescentes de sulfato de cálcio aplicadas na água de irrigação foram ajustadas a uma equação linear positiva (Figura 3d).

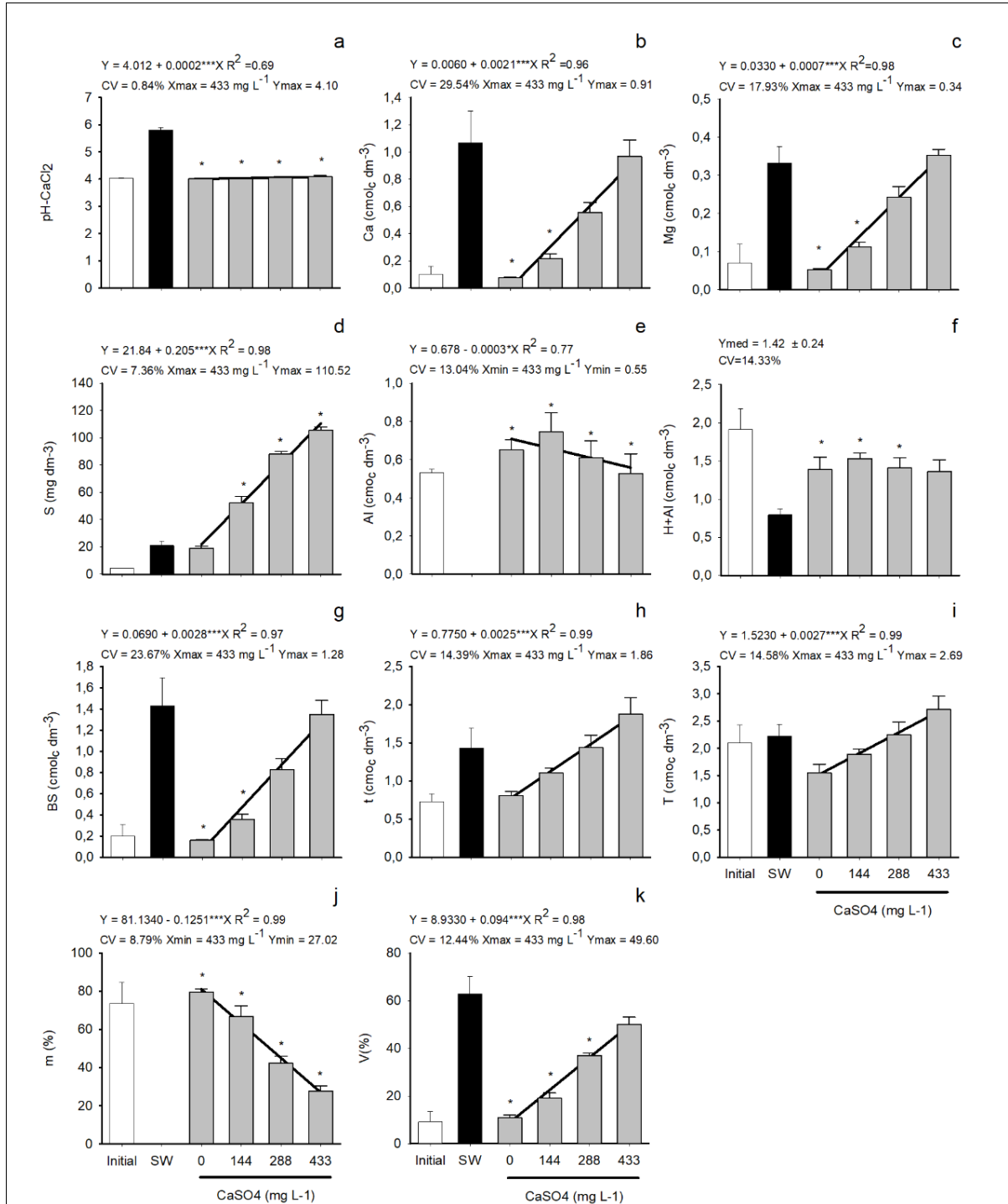
A água subterrânea neutralizou completamente o alumínio (acidez trocável) do substrato, enquanto as concentrações crescentes de sulfato de cálcio levaram à redução linear desse atributo (Figura 1e), mas sem sua neutralização total. Do mesmo modo, a acidez potencial (H+Al) do tratamento adicional (0,80 ± 0,21 cmol_c dm⁻³) mostrou-se com valor inferior ao do solo original (1,91 ± 0,27 cmol_c dm⁻³) e à das demais concentrações de sulfato de cálcio na água de irrigação, a exceção da mais elevada. Entretanto, o aumento das doses de sulfato de cálcio não influenciou significativamente o teor de H+Al no substrato (Figura 3f).

A soma de bases do substrato no tratamento adicional (1,43 ± 0,73 cmol_c dm⁻³) ocasionou valor superior ao solo original (0,20 ± 0,11 cmol_c dm⁻³) e as duas primeiras concentrações de sulfato de cálcio. As adições crescentes de sulfato de cálcio na água

de irrigação proporcionaram aumento linear e maior soma de bases em relação à condição inicial do solo (Figura 1g). Por outro lado, a CTC efetiva (t) e a CTC total (T) do substrato não diferiram entre o tratamento adicional ($t = 1,43 \pm 0,73 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $T = 2,23 \pm 0,57 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e os demais. Porém, a água subterrânea promoveu elevação da CTC efetiva em relação ao solo original ($0,73 \pm 0,10 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$). Tanto na CTC efetiva quanto na potencial, houve aumento linear em função da maior concentração de CaSO_4 (Figura 3h, i).

A percentagem de saturação por alumínio (m) foi zero no substrato com água subterrânea. O aumento da concentração de sulfato de cálcio na água de irrigação reduziu linearmente o valor dessa variável, tornando-se nas duas últimas doses inferior ao solo na condição original ($73,65 \pm 10,89 \%$) (Figura 3j). Ao contrário, o tratamento adicional, para saturação por bases do substrato ($V = 62,89 \pm 19,82 \%$), proporcionou valor superior ao solo original ($V = 9,16 \pm 4,27 \%$) e os outros tratamentos, a exceção da maior concentração de sulfato de cálcio ($V = 50,06 \pm 8,29 \%$). Os incrementos de sulfato de cálcio na água de irrigação promoveram aumento linear na saturação por bases do substrato (Figura 3k).

Figura 3 – Valores médios de pH-CaCl₂, teor de cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), alumínio (Al – acidez trocável) e hidrogênio + alumínio (H+Al – acidez potencial), soma de bases (SB), CTC efetiva (t), CTC total (T), saturação por alumínio (m) e saturação por bases (V) do substrato irrigado com água subterrânea e com diferentes concentrações de sulfato de cálcio na produção de mudas de *C. brasiliense*



Initial = condição inicial do solo, antes da repicagem das plântulas; **SW** = água subterrânea, tratamento adicional; **Xmax/min** = valor máximo ou mínimo de CaSO_4 na água de irrigação; **Ymax/min** = valor máximo ou mínimo da variável dependente; **Ymed** = valor médio da variável dependente; * **sobre a barra** = difere do tratamento adicional pelo teste Dunnett a 5% de significância; *, *** **nos coeficientes da equação** = significativos, respectivamente, a 5 e 0,1% pelo teste t.

Teor e conteúdo de nutricional no hipocótilo

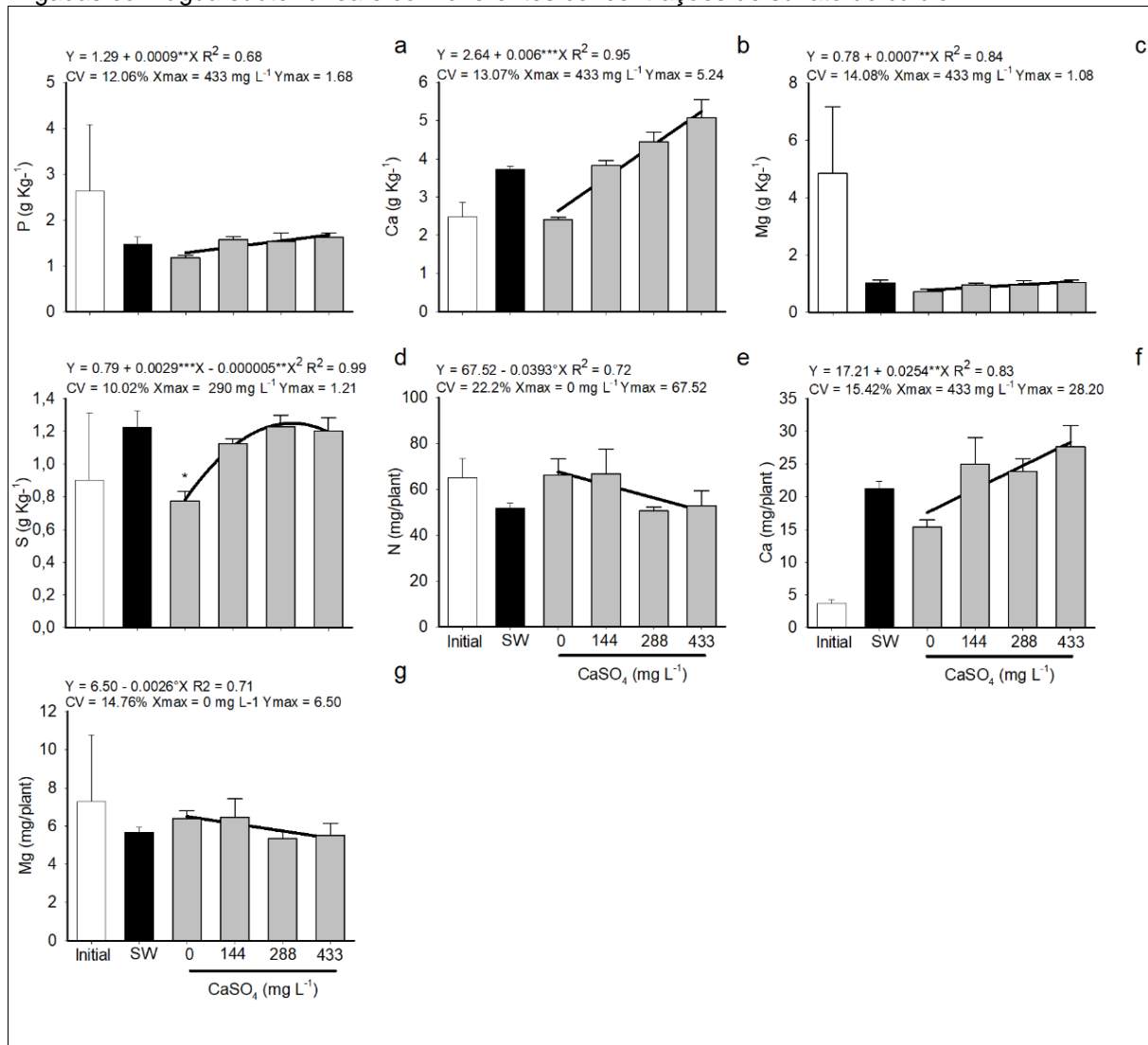
Todos os tratamentos promoveram redução dos valores de nitrogênio e potássio em relação à concentração inicial ($N = 43,18 \pm 5,49$ e $K = 10,10 \pm 4,05 \text{ g kg}^{-1}$). No entanto, não houve diferença entre o tratamento adicional ($N = 9,13 \pm 0,75$ e $K = 1,80 \pm 0,28 \text{ g kg}^{-1}$) e os demais tratamentos, e nem efeito das doses de sulfato de cálcio sobre esses elementos, proporcionando valor médio de $N = 9,94 \pm 0,55$ e $K = 2,18 \pm 0,20 \text{ g kg}^{-1}$.

O teor de fósforo não diferiu entre o tratamento adicional ($1,48 \pm 0,42 \text{ g kg}^{-1}$) e os demais tratamentos. Os valores deste se mantiveram dentro da faixa observada na condição inicial ($2,63 \pm 1,45 \text{ g kg}^{-1}$). Entretanto, houve aumento linear do teor desse elemento com o incremento da adição de sulfato de cálcio na água de irrigação (Figura 4a). Já para o cálcio, os tratamentos proporcionaram teores mais elevados do que na condição inicial ($2,48 \pm 0,38 \text{ g kg}^{-1}$), à exceção do uso de água sem adição de CaSO_4 . O tratamento adicional ($3,73 \pm 0,24 \text{ g kg}^{-1}$) proporcionou valor semelhante aos outros tratamentos. Porém, houve aumento linear do Ca com o incremento da concentração de sulfato de cálcio na água de irrigação (Figura 4b). Ao contrário, quanto ao magnésio (Mg), todos os tratamentos apresentaram teores abaixo da faixa inicial do hipocótilo ($4,85 \pm 2,23 \text{ g kg}^{-1}$). O uso da água subterrânea ($1,03 \pm 0,27 \text{ g kg}^{-1}$) não diferiu dos demais tratamentos, mas o Mg aumentou, mesmo em menor escala, com as doses crescentes de CaSO_4 (Figura 4c). Quanto ao enxofre, os tratamentos apresentaram teores dentro do intervalo de valor do hipocótilo da plântula ($0,90 \pm 0,41 \text{ g kg}^{-1}$), no momento da repicagem, enquanto o valor do tratamento adicional ($1,23 \pm 0,27 \text{ g kg}^{-1}$) foi semelhante aos que receberam adição de sulfato de cálcio na água de irrigação. Também, verificou-se efeito quadrático para essa variável, com teor máximo obtido na concentração de $290 \text{ mg L}^{-1} \text{ CaSO}_4$ (Figura 4d).

No tratamento adicional, os conteúdos de fósforo ($8,40 \pm 1,67 \text{ mg/planta}$), potássio ($10,26 \pm 1,85 \text{ mg/planta}$) e enxofre ($6,99 \pm 1,17 \text{ mg/planta}$) não apresentaram diferença quando comparados aos demais tratamentos com diferentes concentrações de sulfato de cálcio, que em média foram, respectivamente, de $8,66 \pm 2,00$, $12,89 \pm 3,80$ e $6,38 \pm 1,76 \text{ mg/planta}$. Todos os tratamentos apresentaram valores maiores de fósforo e enxofre que a condição inicial ($P = 3,94 \pm 2,14$ e $S = 1,35 \pm 0,62 \text{ mg/planta}$), enquanto o potássio apresentou conteúdo próximo ao observado na fase de repicagem da plântula ($15,15 \pm 6,07 \text{ mg/planta}$). Além disso, esses nutrientes não foram influenciados por doses de sulfato de cálcio aplicadas na água de irrigação.

O conteúdo de nitrogênio foi menor no tratamento adicional ($51,84 \pm 5,61$ g/planta) e nos tratamentos com as duas maiores doses de sulfato de cálcio em relação à condição inicial ($65,06 \pm 8,23$ g/planta). Por outro lado, o tratamento adicional não diferiu dos demais, bem como, houve redução linear do conteúdo de nitrogênio com os incrementos de sulfato de cálcio na água de irrigação (Figura 4e). Os tratamentos apresentaram conteúdos mais elevados de cálcio do que na condição inicial ($3,71 \pm 0,56$ g/planta), porém com valor mais baixo para o tratamento com dose zero de sulfato de cálcio. Por outro lado, no tratamento adicional o conteúdo de Ca ($21,23 \pm 3,08$ g/planta) não diferiu dos demais. As concentrações crescentes de sulfato de cálcio proporcionaram aumento linear do conteúdo desse elemento no hipocótilo (Figura 4f). Todos os tratamentos obtiveram valores de magnésio próximos ao observado no hipocótilo inicialmente ($7,28 \pm 3,49$ g/planta). Não houve diferença entre o conteúdo de magnésio do hipocótilo no tratamento adicional ($5,70 \pm 0,64$ g/planta) em relação aos demais, porém doses crescentes de sulfato de cálcio na água de irrigação proporcionou redução linear dessa variável (Figura 4g).

Figura 4 – Teores e conteúdos médios de N, P, Ca, Mg e S no hipocótilo de mudas de *C. brasiliense* irrigadas com água subterrânea e com diferentes concentrações de sulfato de cálcio



Initial = condição inicial da plântula no momento da repicagem; **SW** = tratamento adicional irrigado com água subterrânea; **SW** = água subterrânea, tratamento adicional; **Xmax/min** = valor máximo ou mínimo de CaSO₄ na água de irrigação; **Ymax/min** = valor máximo ou mínimo da variável dependente; **Ymed** = valor médio da variável dependente; * **sobre a barra** = difere do tratamento adicional pelo teste Dunnett a 5% de significância; °, **, *** **nos coeficientes da equação** = significativos, respectivamente, a 10, 1 e 0,1% pelo teste t.

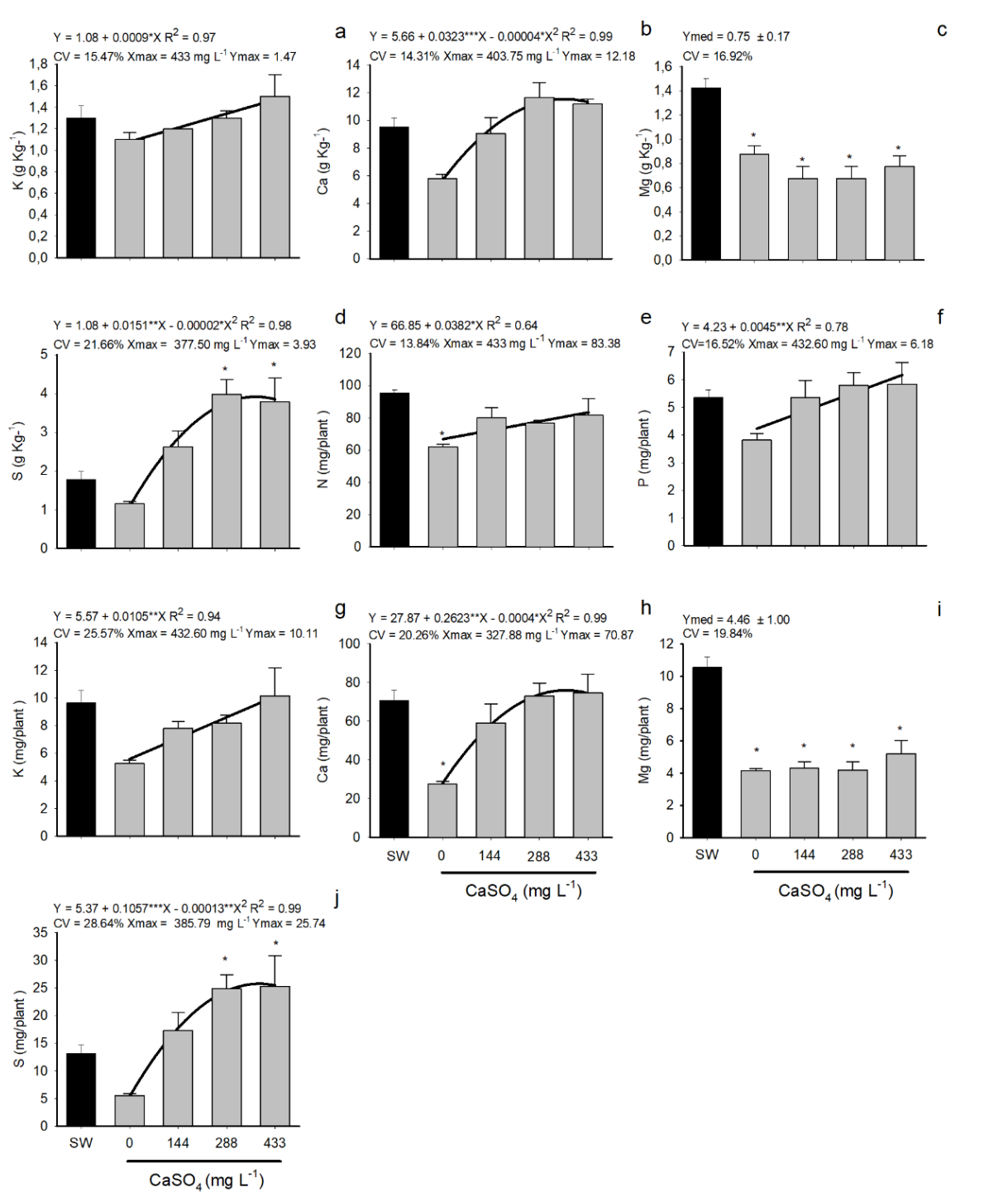
Teor e conteúdo nutricional no tecido foliar

Os teores foliares de nitrogênio ($12,88 \pm 0,76$ g kg⁻¹) e fósforo ($0,73 \pm 0,08$ g kg⁻¹) no tratamento adicional não diferiram dos tratamentos contendo incrementos de sulfato de cálcio na água de irrigação, respectivamente, de $12,47 \pm 1,07$ e $0,86 \pm 0,12$ g kg⁻¹, além de não serem influenciados pelas doses deste sal. O mesmo comportamento foi verificado para o potássio e o cálcio com a água subterrânea ocasionando valores médios de $1,30 \pm 0,32$ e $9,53 \pm 1,77$ g kg⁻¹, respectivamente. Entretanto, as adições crescentes de sulfato de cálcio na água de irrigação

proporcionaram comportamento linear positivo para o potássio e quadrático para o cálcio, com o teor foliar máximo atingido de Ca na concentração de 403,75 mg L⁻¹ de CaSO₄ (Figura 5a, b). Ao contrário, no magnésio, o tratamento adicional (1,43 ± 0,20 g kg⁻¹) proporcionou valor superior aos demais, porém as concentrações de sulfato de cálcio aplicados não influenciaram o teor deste nutriente na folha (Figura 5c). O enxofre mostrou teores com água subterrânea (1,78 ± 0,57 g kg⁻¹) inferiores às duas maiores concentrações de sulfato de cálcio, ajustando-se a equação quadrática e com maior teor de S na dose de 377,50 mg L⁻¹ de CaSO₄ (Figura 5d).

Os conteúdos de fósforo, potássio e enxofre no tecido foliar das plantas não diferiram entre o tratamento adicional (5,37 ± 0,74; 9,63 ± 2,45; 13,14 ± 4,18 g/planta, respectivamente) e os demais, a exceção das duas maiores doses do S (Figura 5f, g, j). Contudo, para o nitrogênio (95,33 ± 5,01 g/planta) e o cálcio (70,63 ± 14,92 mg/planta), o uso da água subterrânea proporcionou valores mais elevados em relação à aplicação somente de água destilada, enquanto que para o magnésio propiciou conteúdo (10,56 ± 1,75 g/planta) superior a todos os outros tratamentos (Figura 5h). Nas aplicações de sulfato de cálcio na água de irrigação, houve aumento do acúmulo dos nutrientes nos tecidos foliares, com exceção do magnésio, que não foi influenciado (Figura 5i). Os conteúdos máximos atingidos para o cálcio e o enxofre foram quando se utilizou concentrações de CaSO₄, respectivamente, de 327,88 mg L⁻¹ e 385,79 mg L⁻¹.

Figura 5 – Teores e conteúdos médios de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) no tecido foliar de mudas de *C. brasiliense* irrigadas com água subterrânea e com diferentes concentrações de sulfato de cálcio



Initial = condição inicial da plântula no momento da repicagem; **SW** = tratamento adicional irrigado com água subterrânea; **SW** = água subterrânea, tratamento adicional; **Xmax/min** = valor máximo ou mínimo de CaSO_4 na água de irrigação; **Ymax/min** = valor máximo ou mínimo da variável dependente; **Ymed** = valor médio da variável dependente; * **sobre a barra** = difere do tratamento adicional pelo teste Dunnett a 5% de significância; °, *, **, *** **nos coeficientes da equação** = significativos, respectivamente, a 10, 5, 1 e 0,1% pelo teste t.

4 DISCUSSÃO

Efeito da água de irrigação sobre a qualidade das mudas de pequizeiro

A água subterrânea adotada nesse experimento não comprometeu o crescimento das mudas de *C. brasiliense*, pois, de modo geral, estas não apresentaram diferenças biométricas para as características de crescimento da parte aérea, bem como para a maioria da biomassa dos órgãos vegetativos e da planta inteira, quando comparadas aos tratamentos com água contendo sulfato de cálcio. As principais diferenças foram observadas quando comparadas às mudas irrigadas com água contendo dose zero mg L^{-1} de sulfato de cálcio, que apresentaram menor massa seca das folhas e caule e maior relação entre a massa seca da raiz e parte aérea. Isso indica que as condições de maior alcalinidade, como a causada pela água subterrânea, podem levar a maior crescimento da parte aérea, mas sem que as raízes se desenvolvam na mesma proporção.

Alguns estudos com espécies nativas do cerrado, inclusive com o pequizeiro, demonstram que as plantas atingem maior crescimento aéreo num meio menos ácido, de menor teor de alumínio e maior quantidade de cálcio e magnésio (HARIDASAN, 2008; CARLOS *et al.*, 2014; GIROLDO E SCARIOT, 2015), porém o sistema radicular não acompanha proporcionalmente esse maior crescimento (CARLOS *et al.*; 2014; RODRIGUES *et al.*, 2017). Esse comportamento pode comprometer a sobrevivência de mudas a campo, uma vez que a estratégia para adaptação ecológica da vegetação do Cerrado é a alta proporção de biomassa subterrânea em relação à biomassa aérea (PASSARETTI *et al.*, 2019; CHAIB *et al.*, 2023; TERRA *et al.*, 2023). O maior direcionamento do investimento na formação de raízes em detrimento da parte aérea representa melhoria na aquisição de água e nutrientes no solo, o que permite aumentar a capacidade das plantas em sobreviver e estabelecer em ambientes com solo distrófico e sobre estresse hídrico, como é característico do Cerrado (PASSARETTI *et al.*, 2019; CHAIB *et al.*, 2023; TERRA *et al.*, 2023).

O uso de sulfato de cálcio na água de irrigação influenciou o crescimento de mudas de *C. brasiliense*. Na parte aérea ocorreu aumento linear e comportamento quadrático em função do incremento de doses de CaSO_4 , enquanto na parte subterrânea e na qualidade de mudas, redução linear. A espécie *C. brasiliense* é nativa do Cerrado, adaptada a solos distróficos com característica de investir mais recursos em seu sistema radicular em resposta às situações adversas do ambiente (GIROLDO e SCARIOT, 2015; LIRA-MARTINS *et al.*, 2022, TERRA *et al.*, 2023).

Entretanto, diante de condições de solo favoráveis, sem a ocorrência de estresse, com o fornecimento de sulfato de cálcio e com água disponível, prioriza alocação de recursos na parte aérea em detrimento das estruturas subterrâneas, como também foi demonstrado em mudas e plantas adultas que receberam calagem e fertilizações (HARIDASAN, 2008; CARLOS *et al.*, 2014; GIROLDO e SCARIOT, 2015). Por outro lado, a aplicação somente de água destilada promove expansão do sistema radicular, do hipocótilo e maior relação entre as raízes e parte aérea, com o objetivo de explorar maior volume de solo em busca de nutrientes e condicionar a planta às condições de estresse presentes no bioma Cerrado, como déficit hídrico, solos pobres em nutrientes e ocorrência de fogo (HARIDASAN, 2008; PELLIZZARO *et al.*, 2017; RIBEIRO *et al.*, 2021; CHAID *et al.*, 2023). Além disso, o incremento nutricional nos tecidos da planta, sobretudo no hipocótilo, principalmente do cálcio e enxofre em função da adição desses elementos no solo via CaSO_4 , revela a capacidade das espécies de absorver e armazenar nutrientes para o seu desenvolvimento como uma estratégia comportamental para conviver em condições edáficas adversas (HARIDASAN *et al.*, 2008; MORAES *et al.*, 2016; LIRA-MARTINS *et al.*, 2022).

A redução dos valores do IQD com o incremento de sulfato de cálcio indica alterações na morfologia e biomassa das plantas em fase inicial de crescimento. Maior desenvolvimento do sistema radicular proporciona um melhor IQD e, conseqüentemente, maior probabilidade de sobrevivência e crescimento das mudas em campo, principalmente para as condições estressantes do Cerrado (PASSARETTI *et al.*, 2019; CHAIB *et al.*, 2023; TERRA *et al.*, 2023).

Efeito da água de irrigação sobre os atributos químicos do substrato

A aplicação de água do poço artesiano durante o período de cultivo das mudas de *C. brasiliense* melhorou os atributos químicos do substrato em relação à condição inicial, com redução da acidez ativa, passando a ser classificada como baixa, neutralização do Al trocável (muito baixo), e elevação dos teores de Ca, Mg e S. Como consequência, há elevação da CTC efetiva, SB e V, tornando o solo eutrófico, mas com baixo nível nutricional ainda, quando considerado as condições de cultivo de plantas domesticadas (RIBEIRO *et al.*, 1999). Entretanto, os conceitos e classificações de fertilidade, deficiência e toxicidade de nutrientes no solo, já consolidados para cultivos agrícolas, não devem ser aplicados diretamente a plantas nativas do Cerrado (Haridasan, 2008). Em geral, as plantas desse bioma

sobreviverem e completarem seu ciclo biológico em solos com restrita quantidade de nutrientes e com elevado teor de alumínio, sendo, em alguns casos, espécies de ocorrência exclusiva em solos distróficos e apresentam limitação de crescimento em meio de boa fertilidade (LILIENFEIN *et al.*, 2001; HARIDASAN, 2008; RODRIGUES *et al.*, 2017, CASTRO *et al.*, 2022).

As alterações na fertilidade do substrato são atribuídas à presença de bicarbonatos (HCO_3^-) na água subterrânea, que foi da ordem de 275 mg L^{-1} , com pH de 7,8, e pelos teores de $68,67 \text{ mg L}^{-1}$ e $7,65 \text{ mg L}^{-1}$ para Ca e Mg, respectivamente. A elevação do pH e dos teores de cálcio no solo são observados com uso de água subterrânea ricas em bicarbonato (REIS *et al.*, 2016). Isso ocorre pois o HCO_3^- adicionado ao solo se dissocia em dióxido de carbono (CO_2) e hidroxila (OH^-), ligando-se ao alumínio (Al^{+3}) para formar hidróxido de alumínio, que se precipita, e ao hidrogênio (H^+) para formar água (H_2O), neutralizando o alumínio e elevando o pH do solo (GOMEZ-PEREZ *et al.*, 2014). A água subterrânea contém relativamente alta concentração de cálcio e magnésio, o que explica o comportamento superior para neutralização do Al trocável, soma de bases, saturação por bases e os teores de Ca e Mg, em relação às doses baixas de sulfato de cálcio na água de irrigação.

A aplicação de sulfato de cálcio via água de irrigação promove melhoria na maior parte dos atributos que avaliam a fertilidade do substrato. Nessa condição ocorre redução do efeito adverso do alumínio, que reage com o sulfato formando precipitados menos tóxicos para as plantas (MICHALOVICZ *et al.*, 2019). Além disso, a elevação do teor de magnésio no solo com o aumento da aplicação do sulfato de cálcio pode ser explicada pelo seu deslocamento de formas pouco disponíveis para formas mais trocáveis nas argilas (VICESNSI *et al.*, 2020). No caso do enxofre e cálcio, os seus incrementos no solo ocorrem devido suas presenças no sulfato de cálcio (VICESNSI *et al.*, 2020) e pela contribuição do enxofre na solubilização de sais de baixa solubilidade que contém este elemento (VERMEIREN *et al.*, 2018; SHARMA *et al.*, 2024).

Efeito da água de irrigação sobre a nutrição de mudas de *C. brasiliense*

Nas mudas irrigadas com água subterrânea ocorreram reduções dos teores de nitrogênio, potássio e magnésio no hipocótilo do *C. brasiliense*, bem como no conteúdo de nitrogênio, comparado aos valores iniciais. Isso sugere consumo de nutrientes do hipocótilo pela planta, sem reposição via solo, confirmando a função

deste como estrutura de reserva (SOUSA *et al.*, 2017a). Por outro lado, foi observado aumento nos conteúdos de fósforo, cálcio e enxofre, o que demonstra a capacidade de absorção de fósforo pela planta em solos deficientes nesses nutrientes (LIRA-MARTINS *et al.*, 2022; VASCONCELOS *et al.*, 2022), enquanto o cálcio e enxofre foram supridos via água do poço artesiano, que continha 68,67 e 4,80 mg L⁻¹, respectivamente desses elementos. Esse comportamento confirma a capacidade não só de fornecimento, mas também de estocagem de nutrientes pelo hipocótilo, complementando sua função como órgão de reserva de gemas, água e compostos orgânicos da planta, o que constitui papel fundamental na regeneração vegetativa da biomassa aérea após distúrbios no Cerrado (MORAES *et al.*, 2016; SOUSA *et al.*, 2017a, PAUSAS *et al.*, 2018, FERRARO *et al.*, 2021). É importante também destacar que, apesar de existir estudo (SOUSA *et al.*, 2011) sobre a composição química da semente, composta na sua maioria pelo hipocótilo, de *C. brasiliense*, este é o primeiro registro sobre a dinâmica de nutrientes no hipocótilo após a germinação, o que contribui para entender as exigências nutricionais da espécie na fase de muda e para o manejo de fertilizações.

A aplicação de água do poço artesiano proporcionou concentrações de nutrientes nas folhas de *C. brasiliense* semelhantes (nitrogênio, fósforo, potássio e cálcio) ou superior (magnésio) aos tratamentos com diferentes doses de sulfato de cálcio, com exceção do enxofre, cujos os valores foram inferiores às maiores doses de sulfato de cálcio aplicadas. Em destaque, o teor e conteúdo de magnésio, que na água subterrânea foram duas vezes maiores que os das plantas irrigadas com diferentes concentrações de sulfato de cálcio, o que pode ser justificado pela presença desse elemento na água de irrigação do tratamento adicional, com concentração de 7,65 mg L⁻¹. O acúmulo foliar de nitrogênio e cálcio nas mudas irrigadas com água subterrânea foi superior às mudas que receberam apenas água destilada. Isso está associado ao baixo conteúdo desses elementos ocasionado, provavelmente, pelo fornecimento de água sem nutrientes e à reduzida biomassa foliar das plantas.

Águas utilizadas na irrigação com maiores teores de bicarbonatos e cálcio podem causar desordens nutricionais e interferir no crescimento das plantas. Porém, seus impactos variam com a concentração dos sais, sensibilidade da espécie e variedade, tempo de cultivo, aspectos químicos e físicos do meio de cultivo (SHAHABI *et al.*, 2005; HANNAM *et al.*, 2016; BRYLA *et al.*, 2021). Entretanto, a água subterrânea utilizada no presente estudo, apesar de conter certa quantidade de

bicarbonato e de cátions, principalmente cálcio, não foi suficiente para causar significativos danos no crescimento de plantas e nem desbalanços nutricionais durante o período do experimento (180 dias), uma vez que o teor da maioria dos nutrientes não apresentou diferença entre o tratamento com dose zero de CaSO_4 e o tratamento adicional. Além disso, de forma geral, os teores de macronutrientes do tratamento que utilizou somente água destilada foram semelhantes aos obtidos em folhas de plantas adultas e mudas de *C. brasiliense* de ocorrência natural ou mesmo cultivadas em solo do Cerrado (MEDEIROS e HADARISAN, 1985; LILIENFEIN *et al.*, 2001; CARLOS *et al.*, 2014).

O hipocótilo também apresentou uma dinâmica de armazenamento e fornecimento de nutrientes em função do uso de sulfato de cálcio na irrigação. O nitrogênio, potássio e magnésio diminuíram seus teores no hipocótilo com relação à condição inicial. A demanda nutricional da parte aérea, gerada pela expansão foliar com a aplicação de sulfato de cálcio, levou ao maior consumo das reservas nutricionais da planta. O N é o nutriente mineral que as plantas exigem em maior quantidade e, juntamente, com o Mg, tem papel importante na formação da clorofila que compõe o sistema fotossintético das plantas. O K, normalmente, é o segundo nutriente mais exigido pelas plantas, garantido maior eficiência na atividade enzimática e manutenção do pH em níveis mais adequados para o funcionamento das células (SARDANS e PENUELAS, 2021; MARSCHNER, 2022). O incremento nos teores enxofre e o acúmulo superior em todos os tratamentos em relação à condição inicial, indica que o acréscimo desse elemento no hipocótilo é originário da sua presença no solo e da aplicação via água de irrigação. De forma semelhante, a aplicação de sulfato de cálcio favoreceu do teor e acúmulo de cálcio no hipocótilo, sugerindo resposta de estocagem pela planta mediante fornecimento desse nutriente. Nessas condições, o hipocótilo mostrou sua funcionalidade enquanto órgão armazenador de reservas e responsável pela manutenção da planta por período indeterminado (MORAES *et al.*, 2016; SOUSA *et al.*, 2017a, PAUSAS *et al.*, 2018, FERRARO *et al.*, 2021).

A aplicação crescente de sulfato de cálcio na água de irrigação proporcionou aumento de teor e conteúdo de nutrientes nas folhas. O aumento linear do teor de potássio na planta pode ser explicado pela interação sinérgica com o cálcio, devido ao papel deste último na manutenção da integridade funcional da plasmalema. O potássio é um elemento importante para a expansão celular, induzindo à elevação do

suprimento de cálcio para formação de pectina. Embora, no solo a concentração de Ca seja maior que a de K, a sua taxa de absorção é menor, sendo que em concentrações muito elevadas podem gerar inibição competitiva com o K (CAVALCANTE *et al.*, 2019; MARSCHNER, 2022). Para o cálcio e o enxofre, o aumento na absorção se deve ao incremento desses elementos na solução do solo devido à adição de sulfato de cálcio na água de irrigação. Os teores de macronutrientes, de forma geral, foram baixos e assemelham-se aos encontrados na literatura para *C. brasiliense* na fase de mudas (CARLOS *et al.*, 2014) e plantas adultas (MEDEIROS e HADARISAN, 1985; LILIENFEIN *et al.*, 2001). Desta forma, a capacidade de espécies do Cerrado de prosperar em condições de baixa fertilidade do solo revela a pouca exigência nutricional associado à capacidade de otimização de recursos em condições adversas (HADARISAN, 2008; SCARIOT e GIROLDO, 2015; RODRIGUES *et al.*, 2017, LIRA-MARTINS *et al.*, 2022).

5 CONCLUSÕES

A adição crescente de sulfato de cálcio na água de irrigação aumenta a fertilidade do solo, a absorção de nutrientes pela planta e as variáveis morfológicas foliares, mas reduz a massa seca da raiz e do hipocótilo.

O hipocótilo durante a fase de mudas, de forma geral, funciona como estrutura de fornecimento de nitrogênio, potássio e magnésio e armazenamento de fósforo, cálcio e enxofre quando as plantas são irrigadas com água contendo CaSO_4 .

A melhor qualidade de mudas de pequiheiro, baseada no Índice de Qualidade de Dickson - IQD, é obtida com água de irrigação com menor teor de sulfato de cálcio (zero mg L^{-1}).

6 REFERÊNCIAS

AL-BAYATI, A. H.; AL-AZAWI, H. H.; AL-RAWI, M. K. Evaluation the Suitability of Irrigation Water in Karma Island for Agriculture. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* v. 1222, 2023.

ALVARES, C. A.; STAPE J. L.; SENTELHAS, P. C. GONÇALVES, J. L. de M.; SPAROVEK, G. Koppens climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

ALVES, V. N.; TORRES, J. L. R.; LANA, R. M. Q.; PINHEIRO, M. H. O. Nutrient cycling between soil and leaf litter in the Cerrado (Brazilian savanna) on eutrophic and dystrophic Neosols. **Acta Botanica Brasilica**, v. 32, n. 2, 2018.

APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 23^a ed. Washington: American Public Health Association, 2017.

CARLOS, L.; VENTURIN, N.; MACEDO, R. L. G.; HIGASHIKAWA, E. M.; GARCIA, M. B.; FARIAS, E. de S. Crescimento e nutrição mineral de mudas de pequi sob efeito da omissão de nutrientes. **Ciência Florestal**, v. 24, n. 1, p.13-21, 2014.

CAVALCANTE, A. C. P.; CAVALCANTE, L. F.; BERTINO, A. M. P.; CAVALCANTE, A. G.; LIMA NETO, A. J de.; FERREIRA, N. M. Adubação com potássio e cálcio na nutrição e produção de goiabeira 'Paluma'. **Revista Ceres**, v. 66, n.1, p. 054-062, 2019.

CHAIB, A. M.; GOMES, A. S.; BORGHETTI, F. Early development of two savanna tree species under simulated dry spells. **Flora**, v. 301, 152241, 2023.

CLIMATE-DATA.ORG. **Clima Montes Claros**. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/minas-gerais/montes-claros-2886/>>. Acesso em: 12 de fev. 2024.

DICKSON, A.; LEAF, A.; HOSNER, J. F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **Forestry Chronicle**, v. 36, p. 10 - 13, 1960.

EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos**. 2^a ed. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2009.

FAO. **Water quality for agriculture**. Food and Agriculture Organization, Rome, 1985.

GIROLDO, A. B.; SCARIOT, A. Land use and management affects the demography and conservation of an intensively harvested Cerrado fruit tree species. **Biological Conservation**, p. 50 - 158, 2015.

GOMEZ-PEREZ, L.; VALDEZ-AGUILAR, L. A.; RANGEL, A. S.; BENAVIDEZ-MENDOZA, A. Calcium Ameliorates the Tolerance of Lisianthus [*Eustoma grandiflorum* (Raf.) Shinn.] to Alkalinity in Irrigation Water. **HORTSCIENCE**, v. 49, n. 6, p. 807 - 811, 2014.

GUEDES, A. M. M.; ANTONIASSI, R.; FARIA-MACHADO, A. F. Pequi: a Brazilian fruit with potential uses for the fat industry, **OCL**. v. 24, 01-04, 2017.

HARIDASAN, M. Nutritional adaptations of native plants of the cerrado biome in acid soils. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Campinas, v. 20, n. 3, p.183-195, 2008.

LIRA-MARTINS, D.; NASCIMENTO, D. L.; ABRAHÃO, A.; COSTA, P de. B.; D'ANGIOLI, A. M.; VALÉZIO, E.; ROWLAND, L.; OLIVEIRA, R. S. Soil properties and geomorphic processes influence vegetation composition, structure, and function in the Cerrado Domain. **Plant Soil**, v. 476, p. 549–588, 2022.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Patafos, 1997. 319p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 4.ed. Academic Press, 2022.

MICHALOVICZ, L.; MULLER, M. M. L.; TORMENA, C. A.; DICK, W. A.; VICENSI, M.; MEERT, L. Soil chemical attributes, nutrient uptake and yield of no-till crops as affected by phosphogypsum doses and parceling in southern Brazil. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 65, n. 3, p. 385-399, 2019.

MORAES, M. G de.; CARVALHO, M. A. M de.; FRANCO, A. C.; POLLOCK, C. J.; FIGUEIREDO-RIBEIRO, R de. C. L. Fire and Drought: Soluble Carbohydrate Storage and Survival Mechanisms in Herbaceous Plants from the Cerrado. *BioScience*, v, 66, n. 2, p. 107–117, 2016.

PASSARETTI, R. A.; PILON, N. A. L.; DURIGAN, G. Weed control, large seeds and deep roots: Drivers of success in direct seeding for savanna restoration. **Applied**

Vegetation Scienc, v. 23, 406-4016, 2020.

PROFERT-MG. **Programa Interlaboratorial de Controle de Qualidade de Análise de Solo: Manual do laboratorista**. Minas Gerais, 2005. 33p.

R Core Team (2021). **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

REIS, M. M.; SANTOS, L. D. T.; PEGORARO, R. F. COLEN, F.; ROCHA, L. M.; FERREIRA, G. A. de P. Nutrition of *Tithonia diversifolia* and attributes of the soil fertilized with biofertilizer in irrigated system. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 20, n. 11, p. 1008-1013, 2016.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (eds.) **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª aproximação**. Viçosa - Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359 p.

RIBEIRO L., BARBOSA E., BORGHETTI, F. How regional climate and seed traits interact in shaping stress–tolerance of savanna seeds? **Seed Sci. Res.** v. 31, p. 300-310, 2021.

RODRIGUES, I. V.; LOPES, P. S. N.; RIBEIRO, L. M.; MERCADANTE-SIMÕES, M. O.; MARTINS, C. P. S.; VIEIRA, F. R.; CACIQUE, A. P.; SANGLARD, D. A.; SILVÉRIO, F. O. Fruit development and ABA biosynthesis during *Caryocar brasiliense* (Caryocaraceae) Seed Maturation. **Journal of Plant Growth Regulation**. v. 39, p. 981-993, 2019.

SAMPAIO, R. A.; FERNANDES, L. A. Aspectos geológicos e pedológicos dos solos do município de Montes Claros - MG. **Caderno de Ciências Agrárias**, v. 13, p. 01–18, 2021.

SARDANS, J.; PENUELAS, J. Potassium Control of Plant Functions: Ecological and Agricultural Implications. **Plants (Basel)**, v. 10, n. 2, 419, 2021.

SCALON, M. C.; HARIDASAN, M.; FRANCO, A. C. Influence of long-term nutrient manipulation on specific leaf area and leaf nutrient concentrations in savanna woody species of contrasting leaf phenologies. **Plant Soil**, v. 421, p. 233–244, 2017.

SHAHABI, A.; MALAKOUTI, M.; FALLAHI, E. Effects of Bicarbonate Content of Irrigation Water on Nutritional Disorders of Some Apple Varieties. **Journal of Plant Nutrition**, v. 28, n. 9, p. 1663-1678, 2005.

SHAHSAVANDI, F.; ESHGHI, S.; GHARAGHANI, A.; GHASEMI-FASAEI, R.; JAFARINIA, M. Effects of bicarbonate induced iron chlorosis on photosynthesis apparatus in grapevine. **Scientia Horticulturae**, v. 270, 2020.

SHARMA, R. K.; COX, M. S.; OGLESBY, C.; DHILLON, J. S. Revisiting the role of sulfur in crop production: A narrative review. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 15, 2024.

SIDDIQI, M.Y.; GLASS, A.D.M. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. **Journal of Plant Nutrition**, v.4, n.3, p.289-302, 1981.

SIMON, M. F.; PENNINGTON, T. Evidence for Adaptation to Fire Regimes in the Tropical Savannas of the Brazilian Cerrado. **International Journal of Plant Sciences**, v. 173, n. 6, p. 711 - 723, 2012

SOUSA, A. M. S.; LOPES, P. S. N.; RIBEIRO, L. M.; SANTIAGO, T. A.; LACERDA, V. R.; MARTINS, C. P. S. Germination and storage of *Caryocar brasiliense* seeds. **Seed Sci. & Technology**, v. 45, p. 557 - 569, 2017a.

SOUSA, A. M. S., LOPES, P. S. N., RIBEIRO, L. M.; ANDRADE, M. S.; MERCADANTE-SIMÕES, M. O. Structural aspects of germination control in pyrenes of *Caryocar brasiliense* (Caryocaraceae). **Trees**, v. 31, p. 1 - 16, 2017b.

TERRA, M. C. N. S.; NUNES, M. H.; SOUZA, C. R.; FERREIRA, G. W. D.; PRADO-JUNIOR, J. A do.; REZENDE, V. L.; MACIEL, R.; MANTOVANI, V.; RODRIGUES, A.;

MORAIS, V. A.; SCOLFORO, J. R. S.; MELLO, J. M de. The inverted forest: Aboveground and notably large belowground carbon stocks and their drivers in Brazilian savannas. **Science of the Total Environment**. v. 867, 161320, 2023.

TORRES, W. G. A. **Saturação de base em solo do cerrado para produção de mudas de pequi e baruzinho**. 2017. 73 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal). Universidade Federal de Minas Gerais/Instituto de Ciências Agrárias. Montes Claros, 2017.

VASCONCELOS, M. J. V.; FIGUEIREDO, J. E. F.; OLIVEIRA, M. F.; SCHAFFERT, R. E.; RAGHOTHAMA, K. G. Plant phosphorus use efficiency in acid tropical soil. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 21, e1259, 2022.

VERMEIREN, C.; SMOLDERS, E.; McLAUGHLIN, M. J.; DEGRYSE, F. Model-based rationalization of sulphur mineralization in soils using S-35 isotope dilution. **SOIL BIOLOGY & BIOCHEMISTRY**, v. 120, p. 1-11, 2018.

VICENSI, M.; LOPES, C.; KOSZALKAL, V.; UMBURANAS, R. C.; KAWAKAMIL, J. POTT, C. A.; MULLER, M. M. L. Gypsum Rates and Splitting Under No-Till: Soil Fertility, Corn Performance, Accumulated Yield and Profits. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, n. 20, p. 690 - 702, 2020.

4.2 ARTIGO 2 – Cloreto de sódio na água de irrigação e seus efeitos na produção de mudas de pequizeiro

Cloreto de sódio na água de irrigação e seus efeitos na produção de mudas de pequizeiro

RESUMO:

Concentrações elevadas de NaCl na água de irrigação ocasionam efeitos de salinidade e fitotoxicidade que podem comprometer a produção vegetal. O pequizeiro (*Caryocar brasiliense* Camb.) é uma árvore frutífera de ocorrência natural no Cerrado brasileiro, com grande relevância social, econômica e ambiental. Existe demanda de mudas para regeneração de áreas e para plantios comerciais. Porém, sua produção pode ser inviabilizada em regiões semiáridas pela presença de cloreto de sódio na água de irrigação. O presente estudo teve por objetivo avaliar os efeitos do cloreto de sódio (NaCl) no desenvolvimento de mudas de pequizeiro. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, e os tratamentos constituíram-se de diferentes concentrações de NaCl na água de irrigação (0,00; 110; 386; 800 e 1.213 mg L⁻¹) e um tratamento adicional, com água subterrânea, oriunda de poço artesiano. Aos 166 dias após o início dos tratamentos, foram realizadas avaliações morfológicas e de atributos de fertilidade do solo. O aumento das concentrações de NaCl comprometeu atributos de fertilidade do substrato, tornando-o sódico-salino, além de reduzir indicadores morfológicos, principalmente com teores a partir de 386 mg L⁻¹ de NaCl. A matéria seca foi afetada a partir da dose inicial de 110 mg L⁻¹ de NaCl na água de irrigação. O tratamento adicional irrigado com água do poço artesiano proporcionou resultados morfológicos semelhantes ao tratamento sem NaCl na água de irrigação, não afetando o crescimento das mudas. A melhor qualidade de mudas de pequizeiro, baseada no Índice de Qualidade de Dickson, é obtida com uso de água com concentração reduzida de NaCl, como a subterrânea utilizada nesta pesquisa ou a sem cloreto de sódio, sendo a espécie *C. brasiliense* uma planta sensível à salinidade.

Palavras-chave: qualidade de água para irrigação; irrigação com água salina; bioma cerrado; estresse salino; tolerância das plantas a salinidade; sodicidade.

Sodium chloride in irrigation water and its effects on the production of pequi tree seedlings

ABSTRACT:

High concentrations of NaCl in irrigation water cause salinity and phytotoxicity effects that can compromise plant production. The pequi tree (*Caryocar brasiliense* Camb.) is a naturally occurring fruit tree in the Brazilian Cerrado, with great social, economic and environmental relevance. There is a demand for seedlings for regeneration of areas and for commercial plantations. However, its production may be unfeasible in semi-arid regions due to the presence of sodium chloride in irrigation water. The present study aimed to evaluate the effects of sodium chloride (NaCl) on the development of pequi tree seedlings. The experiment was conducted in a greenhouse, and the treatments consisted of different concentrations of NaCl in the supervision water (0.00; 110; 386; 800 and 1,213 mg L⁻¹) and an additional treatment, with groundwater, originating from an artesian well. At 166 days after the start of treatments, morphological and soil fertility attribute assessments were carried out. Increasing NaCl concentrations compromises the fertility attributes of the substrate, making it sodium-saline, in addition to reducing morphological indicators, especially with levels above 386 mg L⁻¹ of NaCl. Dry matter was affected from the initial dose of 110 mg L⁻¹ of NaCl in clear water. The additional treatment irrigated with water from the artesian well provided morphological results similar to the treatment without NaCl in the safety water, without affecting the growth of the seedlings. The best quality of pequi tree seedlings, based on the Dickson Quality Index, is obtained with the use of water with a reduced concentration of NaCl, such as the underground water used in this research or without sodium chloride, with the species *C. brasiliense* being a plant sensitive to salinity.

Keywords: water quality for irrigation; irrigation with saline water; cerrado biome; salt stress; plant tolerance to salinity; sodicity.

1 INTRODUÇÃO

No Brasil e em mais de cem outros países, a salinidade do solo é um problema grave, principalmente em regiões áridas e semiáridas (LIMA *et al.*, 2020; YADAV e ATRI, 2020; ATTA *et al.*, 2023). Estima-se que o mundo possua mais de um bilhão de hectares de solos afetados pela salinidade, dos quais 76 milhões foram induzidos à salinidade pela ação antrópica. Estima-se que cerca de 1,5 milhão hectares tornem-se impróprios para a agricultura devido à salinidade anualmente (HOSSAIN, 2019; ATTA *et al.*, 2023). As causas da salinização antrópica são, principalmente, irrigação com água contendo elevados teores de sais e drenagem deficiente (HOSSAIN, 2019, YADAV e ATRI, 2020).

O termo salinidade comumente é mencionado em referência à acumulação excessiva de sais no solo principalmente sulfatos, cloretos, e carbonatos de cálcio, sódio e magnésio (ATTA *et al.*, 2023). Os solos afetados pela salinidade são classificados em salinos, sódicos (excesso de sódio na solução do solo) e salino-sódicos, baseados nos valores de pH, condutividade elétrica (CE), percentagem de sódio trocável (PST) e relação de adsorção de sódio (RAS) (STAVI *et al.*, 2021). O uso de água de irrigação com altas concentrações de sais ($CE > 0,75 \text{ dS m}^{-1}$), dependendo das condições de cultivo, pode ocasionar acúmulo de sais no solo, tornando este, com o tempo, salinizado ou sodificado, interferindo negativamente no desenvolvimento das plantas (HOSSAIN, 2019; STAVI *et al.*, 2021).

A salinidade e sodicidade impactam as plantas pela geração de estresse osmótico, oxidativo, efeitos iônicos específicos e redução na absorção de nutrientes. Impactam ainda indiretamente por meio de alterações na estrutura física do solo. Isso provoca déficit hídrico, toxicidade e inibe o crescimento e metabolismo dos vegetais (YADAV e ATRI, 2020; STAVI *et al.*, 2021; ATTA *et al.*, 2023). Os efeitos prejudiciais mais pronunciados nas plantas são dos sais que se dissociam em meio aquoso nos íons de sódio e cloro (BRYLA *et al.*, 2021; WU *et al.*, 2023), determinando preponderantemente a salinidade e/ou sodificação dos solos (STAVI *et al.*, 2021).

As plantas tolerantes aos sais são denominadas halófitas. Elas ajustam-se ao meio altamente salino ($CE \text{ da água} > 20 \text{ dS m}^{-1}$), enquanto as não adaptadas são denominadas glicófitas. São várias as estratégias fisiológicas e bioquímicas das plantas para manter o potencial osmótico adequado e as homeostases das espécies reativas de oxigênio (ROS) e iônica, e, assim, tolerar solos salinos e/ou sódicos (ATTA *et al.*, 2023; FU e YANG, 2023). Essas estratégias são principalmente a exclusão e

compartimentalização dos ions, biossíntese de solutos compatíveis, osmo-protetores, compostos antioxidantes, poliaminas e óxido nitroso, bem como a regulação de fitohormônios (ATTA *et al.*, 2023; BOUSSADIA *et al.*, 2023; FU e YANG, 2023). A tolerância das plantas ao estresse salino é complexa e espécies e cultivares respondem de formas distintas aos efeitos da salinidade (BRYLA *et al.*, 2021; BOUSSADIA *et al.*, 2023; FU e YANG, 2023).

O pequiheiro (*Caryocar brasiliense* Camb.) é uma árvore nativa do Cerrado brasileiro, de grande relevância econômica, sendo utilizada na culinária, na indústria de alimentos, na fabricação de cosméticos e medicamentos (GUEDES *et al.*, 2017). Porém, com o avanço das atividades agropastoris e do extrativismo intenso, esta se encontra ameaçada, o que justifica a produção de mudas em larga escala para implantação de projetos de recuperação ambiental e plantios comerciais (GIROLDO e SCARIOT, 2015; RODRIGUES *et al.*, 2020). O pequiheiro está bem adaptado a solos distróficos, ocorrendo em solos com baixa capacidade de troca catiônica, baixa saturação por bases e pH ácido, bem como elevados teores de alumínio (GIROLDO e SCARIOT, 2015; GUEDES *et al.*, 2017). Isso são condições edáficas indicadoras de situações de baixíssimo teor de sais nos solos onde o *C. brasiliense* ocorre de forma natural. Por isso, a espécie pode apresentar sensibilidade à salinidade, limitando a produção de mudas em regiões semiáridas com uso água de irrigação subterrânea com teores de sais significativos.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos de água com diferentes concentrações de cloreto de sódio, sobre os atributos químicos do substrato e sobre o crescimento das mudas de *C. brasiliense*, buscando compreender fatores que podem ocasionar limitações na propagação da espécie.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Local e instalação do experimento

O experimento foi instalado em casa de vegetação, no período de abril a outubro de 2022, com temperaturas médias variando entre 20,3 e 27,3 °C, com a mínima atingindo 7,1 °C no mês de maio e a máxima alcançando 27,3 °C no mês de outubro, no viveiro de produção de mudas frutíferas, setor de fruticultura (16°40'55"S; 43°50'24"W), do Instituto de Ciências Agrárias da UFMG, Montes Claros - MG. O clima da região é classificado como tropical (Aw) com estação seca no inverno (ALVARES *et al.*, 2013). A temperatura média anual é de 23,1°C e precipitação média anual de

869 mm (CLIMATE-DATA.ORG, 2024). Região marcada por intenso déficit hídrico, predominam solos profundos sob influência de calcários e metassiltitos/metargilitos (SAMPAIO e FERNANDES, 2021).

Os frutos de pequizeiro (*C. brasiliense*) foram obtidos no Município de São João da Lagoa - MG (16°46'42"S; 44°18'24"W), tendo sido colhidos após a abscisão natural. Os mesocarpos externo e interno foram retirados com auxílio de uma faca para obtenção dos pirênios. Os pirênios foram armazenados à sombra, em local seco e arejado por um período de 40 dias.

Os pirênios foram submetidos a tratamento pré-germinativo, visando quebra de dormência, sendo imersos primeiramente em água por um período de 10 dias, e em solução de 125 mg L⁻¹ de ácido giberélico (GA₃, PROGIBB 400®), por quatro dias (SOUSA *et al.*, 2017). Os pirênios foram semeados em canteiros preenchidos com solo oriundo de área de ocorrência natural do pequizeiro, utilizando o espaçamento de 2 x 2 cm e profundidade de 4 cm. Os canteiros receberam irrigações diárias, conforme a necessidade hídrica.

As plântulas emergidas, 40 dias após o semeio, foram selecionadas visando padronização, apresentando valores médios de altura (H) = 0,61 ± 0,36 cm, diâmetro do caule (DC) = 1,79 ± 0,70 mm, número de folhas (NF) = zero, obtidos a partir de quatro amostras, cada uma composta por quatro plântulas. Para o experimento, as plântulas foram repicadas, individualmente, para vasos de PVC branco de 10 cm de diâmetro e 30 cm de altura, com capacidade de 2,35 dm³. Utilizou-se como substrato, solo com textura arenosa (826 g kg⁻¹ de areia; 54 g kg⁻¹ de silte e 120 g kg⁻¹ de argila), oriundo do bioma Cerrado no Norte de Minas Gerais, onde predominam Latossolos e Neossolos Quartzarênicos, vindo de numa área onde foi verificada ocorrência natural do pequizeiro. O solo, antes de ser colocado no vaso, foi peneirado com peneira de malha de 4 mm e espalhado em local seco e arejado, visando padronizar características físicas e químicas. Cada vaso, após enchimento como solo, repicagem e irrigação com água destilada, foi pesado, utilizando balança eletrônica digital (Triunfo Max Dst-30, Brasil) com padronização do peso e umidade ideal para condução do experimento sem que houvesse encharcamento do substrato e escorrimento de água pelo dreno.

A análise química do solo, conforme metodologia da Embrapa (2009) apresentou, de modo geral, atributos de fertilidade variando de classe baixa a muito baixa (RIBEIRO *et al.*, 1999) e pH com acidez muito alta (SILVA, 2018), conforme

Tabela 1.

Tabela 1 - Atributos químicos do solo utilizado como substrato para produção de mudas de pequizeiro.

pH	M.O.	P	K	Na	Ca	Mg	Al
CaCl ₂	(dag Kg ⁻¹)	-----	(mg dm ⁻³)	-----	-----	cmolc dm ⁻³)	-----
4,04	0,44	0,25	14,60	0,00	0,45	0,15	0,19
MA	MB	MB	MB	MB	B	MB	MB
(H+Al)	T	t	SB	V	m	PST	CEes
-----	(cmolc dm ⁻³)	-----	-----	(%)	-----	-----	(dS m ⁻¹)
1,11	1,74	0,83	0,64	36,63	23,03	0,00	0,85
B	MB	B	B	B	B	N	N

N = Normal (SANTOS *et al.*, 2018), MA =Muito alta (SILVA, 2018), M = Médio, B = Baixo, MB = Muito baixo (RIBEIRO *et al.*, 1999).

O experimento foi instalado em delineamento de blocos casualizados com seis tratamentos e quatro repetições, utilizando-se duas plantas por parcela, sendo uma planta por vaso. Os tratamentos foram constituídos de irrigação com água destilada contendo cinco concentrações (0, 110, 386, 800 e 1.213 mg L⁻¹) de (NaCl, PA, PM = 58,44, Dinâmica Química Contemporânea Ltda, Brasil). Além do tratamento adicional constituído por água subterrânea proveniente de poço artesiano (16°40'57"S; 43°50'17"W) utilizada diariamente na irrigação no viveiro de produção de mudas frutíferas e nativas do ICA/UFMG.

As concentrações de cloreto de sódio de 0, 110, 386, 800 e 1.213 mg L⁻¹ correspondem, respectivamente, à condutividade elétrica de 0, 0,25, 0,75, 1,50, e 2,25 dS m⁻¹, equivalente de água de baixa salinidade (C₁) com CE < 0,25 dS m⁻¹, média (C₂) com CE entre 0,25 e 0,75 dS m⁻¹, alta (C₃) com CE entre 0,75 e 2,25 dS m⁻¹ (RICHARDS, 1954). A condutividade elétrica da água para os tratamentos foi determinada a partir da equação CE = 0,0512 + 1,8126X, obtida por meio da curva de calibração (RICHARDS, 1954) para a faixa 0,0 a 2,272 g L⁻¹ de NaCl, sendo CE igual a condutividade elétrica em dS m⁻¹ e X referente a concentração de cloreto de sódio em g L⁻¹. Cada solução de cloreto de sódio teve sua condutividade elétrica monitorada por meio do condutivímetro (PCD-432, Lutron, Brasil).

A água oriunda do poço artesiano foi submetida à análise química (APHA,

2017), com os resultados apresentados na Tabela 2. Os resultados foram semelhantes à água de irrigação utilizada no Norte de Minas Gerais, principalmente, quanto ao teor de bicarbonato, cálcio e condutividade elétrica (REIS *et al.*, 2016). De modo geral, os parâmetros ficaram dentro do intervalo usual para águas utilizadas na agricultura, e apenas o bicarbonato apresentou grau de restrição de uso leve a moderado no caso da irrigação por aspersão (FAO, 1985), sendo classificada como C₂S₁ (RICHARDS, 1954), considerada água de salinidade média e baixo teor de sódio.

Tabela 2 - Análise química da água subterrânea - poço artesiano.

pH	CE - (dS m ⁻¹)	Bicarbonato	Carbonato	Cloreto	Ca	Mg
		----- (mg L ⁻¹) -----				
7,84	0,440	275,28	<1	6,26	68,67	7,65
K	S	Na	B	Fe	Mn	RAS
		----- (mg L ⁻¹) -----				
0,91	4,80	17,95	<0,05	0,22	0,018	0,55

CE = Condutividade elétrica. RAS = Razão de Adsorção de Sódio.

Condução do experimento

Antes de iniciar a aplicação dos tratamentos, as mudas de pequiheiro passaram por um período de aclimatação de 40 dias, após repicagem, nos vasos na casa de vegetação, sendo irrigadas apenas com água destilada em dias alternados. Após esse período, as mudas foram selecionadas e distribuídas dentro de cada bloco em função do seu porte, de forma de manter a homogeneidade dentro do bloco. Os tratamentos foram aplicados por 166 dias, de 13/05 a 26/10/22.

A umidade do solo foi mantida entre 19 e 27,5% conforme verificação em aparelho medidor de umidade do solo TDR (Reflectometria no Domínio do Tempo-modelo 6050X3K5B MiniTrase, USA) e mantida em função do peso do vaso, o que determinava o volume da solução a ser aplicada. Mensalmente, todos os vasos tinham sua umidade uniformizada. Ao longo do experimento cada planta recebeu, em média, um volume total de 5,74 ± 1,03 litros de água. Entretanto, ao final do experimento, os tratamentos com maior concentração de cloreto de sódio receberam menor adição de água, ocasionada pela redução da área foliar das mudas e, conseqüentemente, menor

evapotranspiração.

A água subterrânea foi coletada e armazenada uma única vez em tambor de 200 litros, enquanto as soluções foram preparadas e armazenadas em galões de 20 litros, sendo agitadas antes de proceder a aplicação sobre as mudas. A irrigação acontecia de forma manual e sobre a parte aérea das plantas individualmente com auxílio de funil plástico, geralmente em dias alternados, conforme umidade do solo.

Avaliações

Logo após a repicagem das plântulas, amostras de quatro repetições de quatro plântulas foram destinadas à avaliação biométrica. Também ao final do experimento, aos 166 dias após o início dos tratamentos, foram avaliadas a altura das plantas, da base até a parte apical, utilizando-se régua milimetrada, o diâmetro do caule ao nível do solo, por meio de paquímetro digital (Starret, 799, Brasil), o número de folhas e área foliar (OLIVEIRA *et al.*, 2002), sendo consideradas na avaliação aquelas acima de 2 cm de comprimento.

As partes da planta, logo após colhidas, foram levemente lavadas em água destilada, secas em papel toalha, colocadas em saco de papel pardo, identificadas, e levadas para estufa de circulação de ar forçada (Nova Ética, modelo 400/7D, Brasil), a 65°C, para secagem definitiva até atingir massa constante (TEDESCO *et al.*, 1995). O material vegetal foi pesado, com auxílio de balança analítica (BIOPRECISA, FA2104N, Brasil), para obtenção da massa seca das folhas, do caule, da raiz e do hipocótilo, da parte aérea (caule + folhas) e total (raiz + hipocótilo + parte aérea), além da relação matéria seca da raiz e parte aérea. O Índice de Qualidade de Dickson - IQD foi determinado em todas as plantas, obtido pela fórmula $IQD = [MST_{(g)} / (H_{(cm)} / DC_{(mm)}) + MSPA_{(g)} / MSR_{(g)}]$ que relaciona parâmetros morfológicos e massa seca indicando mudas com maiores chances de sobrevivências em campo (DICKSON *et al.*, 1960).

Foram avaliados os atributos químicos do solo, conforme métodos da Embrapa (2009), determinando-se acidez ativa (pH), matéria orgânica, fósforo (P-mehlich), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), acidez trocável (Al), acidez potencial (Al+H), soma de bases (SB), CTC efetiva (t), CTC potencial (T), saturação por alumínio (m), saturação por bases (V) (RIBEIRO *et al.*, 1999; SILVA, 2018), bem como sódio (Na), porcentagem de saturação de sódio trocável (PST) e condutividade elétrica do extrato de saturação (CE_{es}) (SANTOS *et al.*, 2018).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as concentrações de cloreto de sódio ajustadas para equações de regressão, testando-se os coeficientes até 5% de significância, pelo teste t. Na falta de ajuste da equação, foi calculado o valor médio da variável dependente, com seu respectivo intervalo de confiança. A comparação das médias do tratamento adicional às dos demais tratamentos foi feita pelo teste Dunnett a 5% de significância. As análises foram realizadas utilizando-se o Programa R (R CORE TEAM, 2023).

3 RESULTADOS

Características vegetativas das mudas de *C. brasiliense*

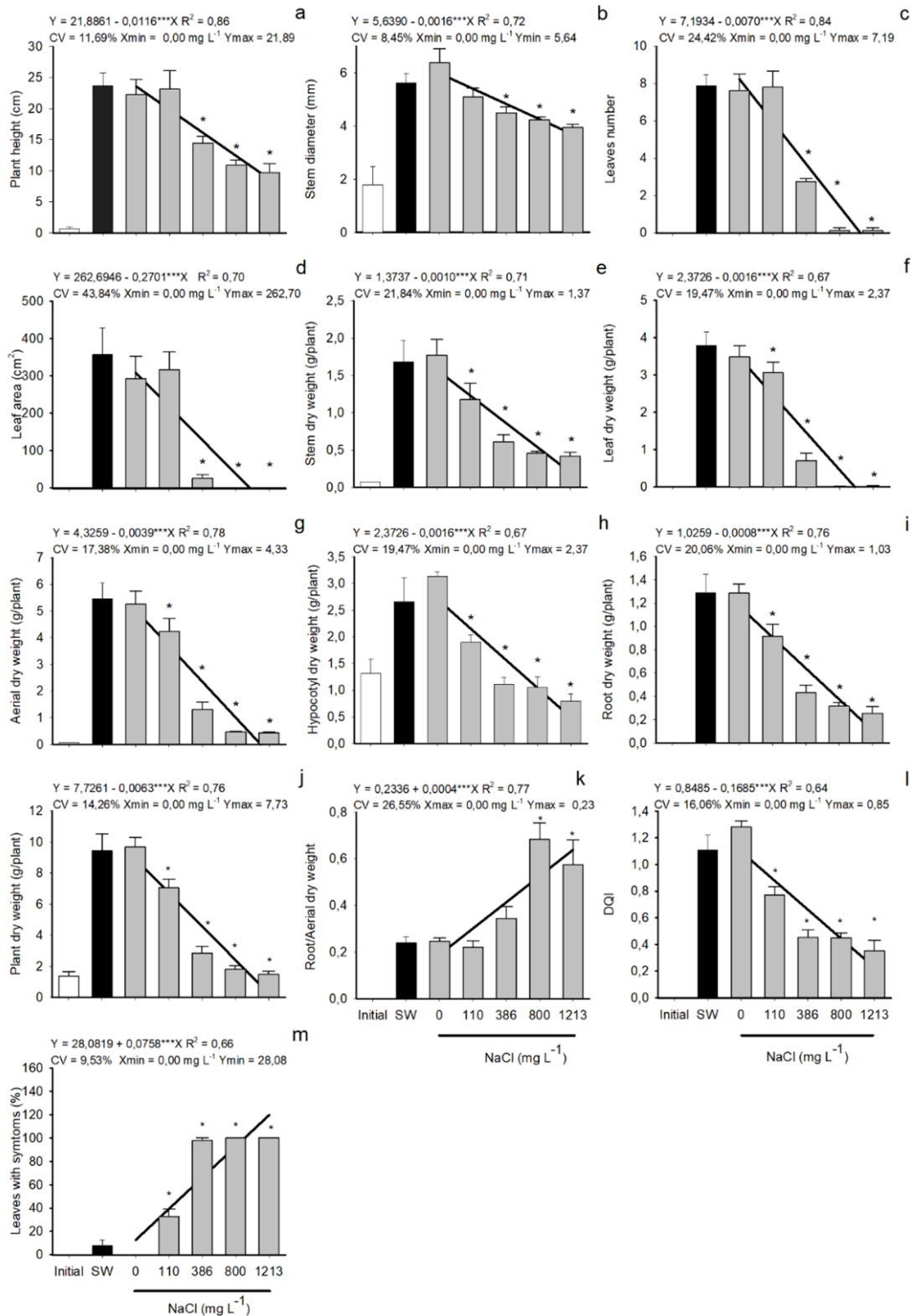
As plantas, independente da dose de cloreto de sódio, cresceram após 166 dias da repicagem, proporcionando valores superiores aos iniciais para as características morfológicas e IQD (Figura 1), com exceção da matéria seca total e do hipocótilo em comparação com as doses de NaCl acima de 386 mg L⁻¹ (Figura 1h, j).

O tratamento adicional apresentou altura ($23,66 \pm 5,66$ cm), diâmetro do caule ($5,62 \pm 0,99$ mm), número de folhas ($7,88 \pm 1,64$) e área foliar ($356,33 \pm 198,06$ cm²) semelhantes às duas primeiras doses de NaCl na água de irrigação. Nas concentrações crescentes de NaCl houve redução linear para essas características (Figuras 1a-d).

O tratamento adicional não diferiu do tratamento com dose zero mg L⁻¹ de NaCl na água de irrigação para as variáveis referentes à matéria seca do caule ($1,68 \pm 0,79$ g/planta), da folha ($3,79 \pm 0,98$ g/planta), do hipocótilo ($2,66 \pm 1,22$ g/planta), da raiz ($1,29 \pm 0,43$ g/planta), da parte aérea ($5,47 \pm 1,63$ g/planta), total ($9,42 \pm 3,00$ g/planta), na relação raiz e parte aérea ($0,24 \pm 0,07$) e IQD ($1,11 \pm 0,31$). Na relação massa seca da raiz e parte aérea, o tratamento adicional e os tratamentos com doses 110 e 386 mg L⁻¹ de NaCl na água de irrigação propiciaram resultados semelhantes. Por fim, doses crescentes de NaCl promoveram o comportamento linear decrescente para essas características (Figuras 1e-l).

Em relação à percentagem do número de folhas com sintomas de clorose/necrose, o uso da água subterrânea ($8,03 \pm 12,10$) proporcionou resultado semelhante ao quando se utilizou somente água destilada. O número de folhas com sintomas aumentou linearmente na medida em que houve acréscimo na concentração de sal na água de irrigação (Figura 1 m).

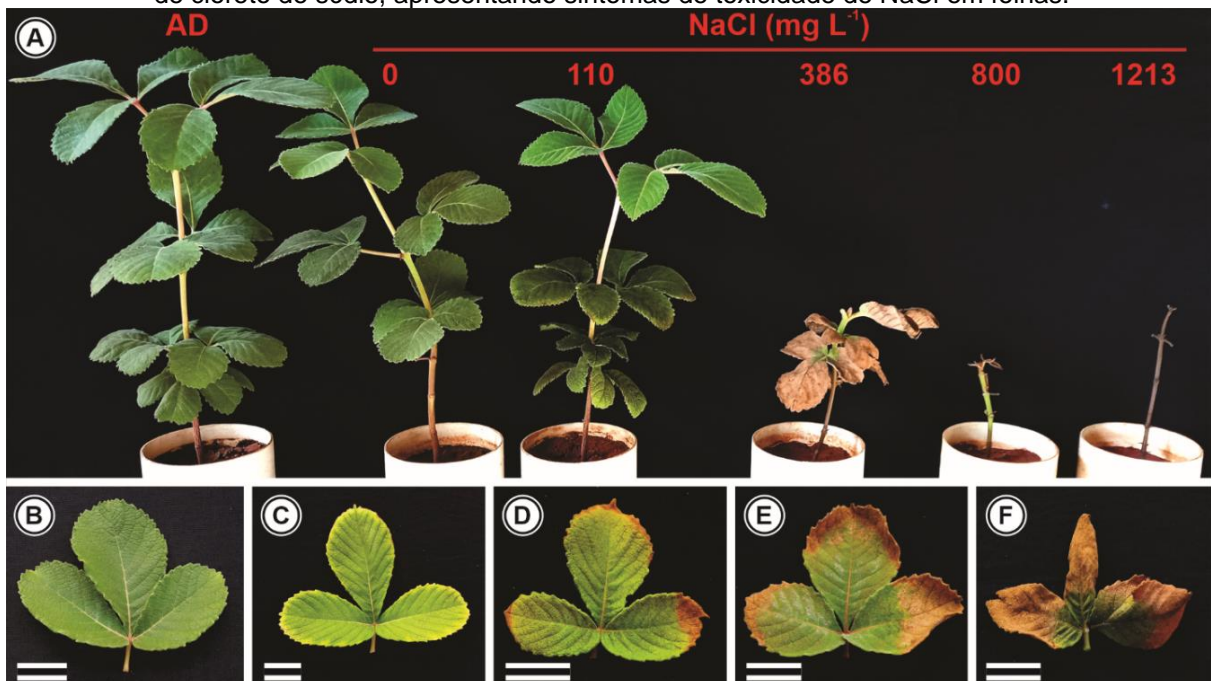
Figura 1 – Valores médios de altura de planta, diâmetro do caule, número de folhas, área foliar, massa seca do caule, folhas, parte aérea, hipocótilo, raiz e da planta, relação massa seca da raiz e parte aérea e índice de qualidade de Dickson em mudas de *C. brasiliense* irrigadas com água subterrânea e com diferentes concentrações de cloreto de sódio.



Initial = condição inicial da plântula no momento da repicagem; **SW** = água subterrânea, tratamento adicional; **Xmax/min** = valor máximo ou mínimo de CaSO₄ na água de irrigação; **Ymax/min** = valor máximo ou mínimo da variável dependente; * **sobre a barra** = difere do tratamento adicional pelo teste Dunnett a 5% de significância; *** **nos coeficientes da equação** = significativos a 0,1% pelo teste t.

Os efeitos tóxicos do NaCl, inicialmente, foram amarelecimento em folhas jovens e maduras (Figura 2c). Os sintomas evoluíram para manchas cloróticas com ou sem necrose na ponta ou nas bordas das folhas, que, com o tempo, avançaram para a nervura principal, com necrose e morte (Figuras 2d-f). As maiores concentrações de cloreto de sódio levaram aos sintomas de seca, encurvamento e queda das folhas, sendo os mais intensos a partir de concentrações acima de 386 mg L⁻¹ de NaCl na água de irrigação (Figura 2a). Por outro lado, não foram observados sintomas nas mudas irrigadas com água destilada e foram observados sintomas de menor intensidade no tratamento adicional, com uso de água subterrânea, e na dose de 110 mg L⁻¹ de NaCl (Figura 2a).

Figura 2 – Mudas de *C. brasiliense* irrigadas com água subterrânea e com diferentes concentrações de cloreto de sódio, apresentando sintomas de toxicidade de NaCl em folhas.



Os sintomas surgiram tanto em folhas superiores quanto em folhas inferiores ou intermediárias. As primeiras manifestações de clorose e necrose foliar aconteceram aos 20 dias após início do tratamento nas plantas submetidas à irrigação com água contendo maior concentração de NaCl (1.213 mg L⁻¹). Em seguida, após 56 dias, surgiram sintomas nas mudas irrigadas com água contendo 800 mg L⁻¹ de NaCl e, aos 73 dias, sinais de clorose e necrose foliar em mudas submetidas à concentração de 386 mg L⁻¹ de NaCl. Somente aos 91 dias, surgiram sintomas no

tratamento com 110 mg L⁻¹ de NaCl. As mudas irrigadas apenas com água destilada, sem presença de NaCl, não manifestaram sintomas. No tratamento adicional, surgiram leves sinais de clorose nas folhas inferiores aos 164 dias após início do tratamento.

Atributos químicos do substrato

Os teores de matéria orgânica ($0,17 \pm 0,05$ dag kg⁻¹), fósforo ($0,24 \pm 0,06$ mg dm⁻³) e potássio ($14,60 \pm 0,00$ mg dm⁻³) disponíveis não foram influenciados pelas diferentes concentrações de cloreto de sódio na água de irrigação e, também, não proporcionaram diferença em relação ao tratamento adicional, respectivamente, de $0,21 \pm 0,18$ dag kg⁻¹, $0,33 \pm 0,20$ e $14,60 \pm 0,00$ mg dm⁻³. Além disso, esses valores obtidos ficaram próximos aos observados no solo antes do cultivo para o fósforo ($0,25 \pm 0,16$ mg dm⁻³) e potássio ($14,60 \pm 0,00$ mg dm⁻³), enquanto a matéria orgânica inicial ($0,44 \pm 0,11$ dag kg⁻¹) apresentou valor superior.

A acidez ativa do solo (pH – CaCl) foi menor com uso da água subterrânea ($5,82 \pm 0,14$) quando comparada à condição inicial ($4,04 \pm 0,05$) e aos demais tratamentos. As concentrações de cloreto de sódio não influenciaram o pH do solo (Figura 3a). Também o tratamento adicional proporcionou teores de cálcio ($0,98 \pm 0,35$ cmol_c dm⁻³) e magnésio ($0,25 \pm 0,10$ cmol_c dm⁻³) superiores à condição inicial ($0,45 \pm 0,06$ e $0,15 \pm 0,01$ cmol_c dm⁻³, respectivamente) bem como nos demais tratamentos. As doses de cloreto de sódio não interferiram no teor desses nutrientes no solo (Figura 3b, c). Por outro lado, o teor de sódio no tratamento adicional ($27,80 \pm 5,54$ mg dm⁻³) apresentou teores mais elevados do que o solo original ($0,00$ mg dm⁻³). Entretanto, não foi diferente estatisticamente dos tratamentos 0 e 110 mg L⁻¹ de NaCl e com os teores mais baixo do que nas demais doses de NaCl. As doses crescentes de cloreto de sódio aplicadas proporcionaram aumento linear do seu teor no solo (Figura 3d).

A acidez trocável e a percentagem de saturação por alumínio do solo apresentaram valor zero para o tratamento adicional, sendo inferior à condição inicial (Al = $0,19 \pm 0,04$ cmol_c dm⁻³; m = $23,3 \pm 4,90$ %), e diferente dos demais tratamentos. O incremento de doses cloreto de sódio levaram à redução linear dessas variáveis (Figura 3e, j). O tratamento adicional acarretou valor de acidez potencial do solo ($0,71 \pm 0,12$ cmol_c dm⁻³) inferior à condição inicial ($1,11 \pm 0,27$ cmol_c dm⁻³) e aos demais tratamentos até a concentração de 800 mg L⁻¹ de NaCl, sendo semelhante apenas ao tratamento com maior concentração de cloreto de sódio (1.213 mg L⁻¹). Todavia, não

houve efeito nessa variável, com o aumento da concentração de cloreto de sódio (Figura 3f).

A soma de bases do solo no tratamento adicional ($1,41 \pm 0,45 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) ocasionou valor mais elevado do que no solo inicial ($0,64 \pm 0,06 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e as duas primeiras doses de cloreto de sódio também. Por outro lado, a soma de bases do tratamento adicional foi semelhante ao tratamento com concentração de 386 mg L^{-1} de NaCl, mas inferior às duas últimas concentrações. As crescentes doses de cloreto de sódio propiciaram aumento linear dessa variável (Figura 3g).

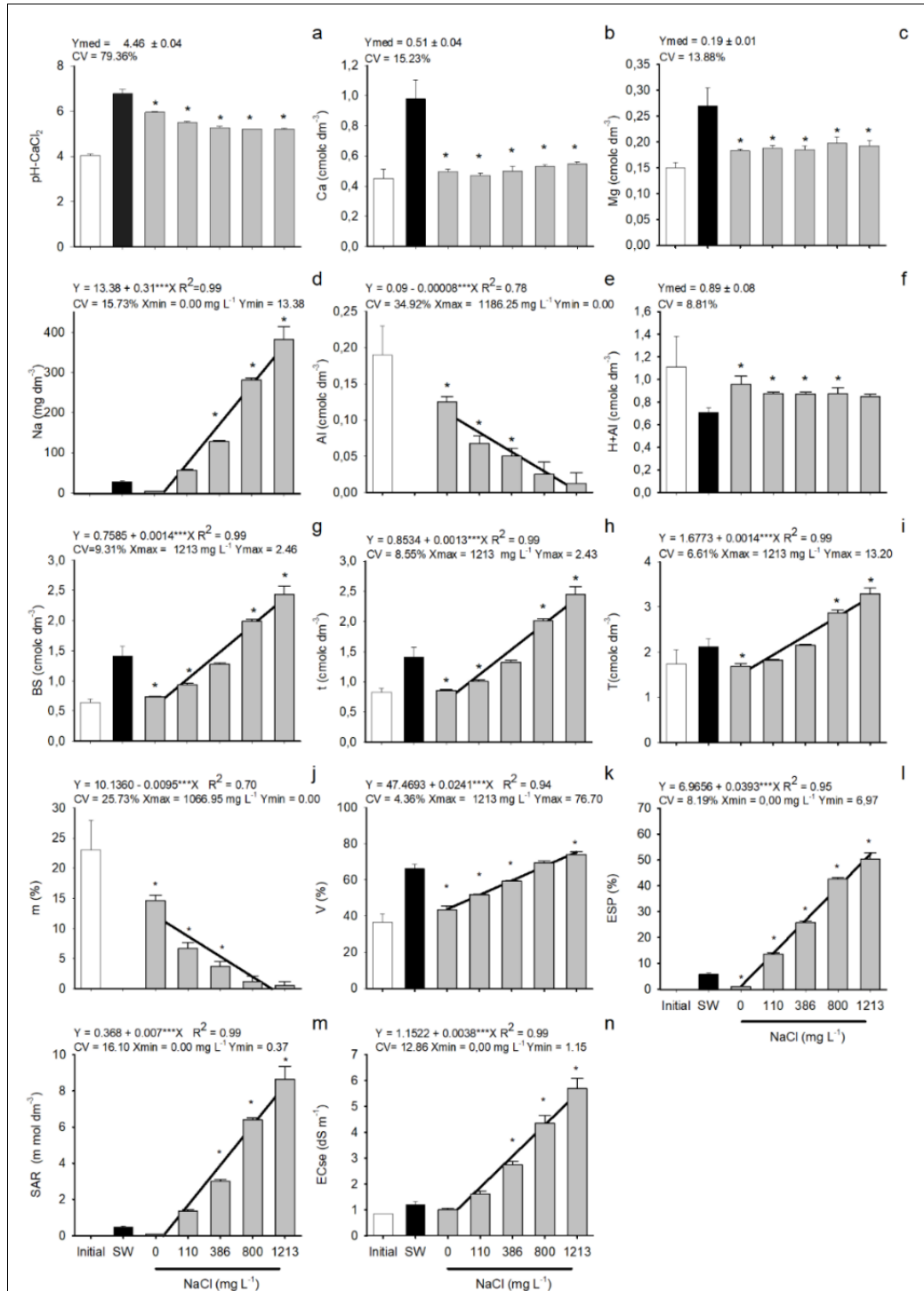
A água subterrânea proporcionou saturação por bases do solo ($66,17 \pm 6,96 \%$) superior à condição inicial ($36,63 \pm 4,58 \%$) e às três primeiras doses de NaCl. Entretanto ela foi semelhante ao tratamento com 800 mg L^{-1} de NaCl e inferior a última dose. O incremento de NaCl na água de irrigação levou ao aumento dessa variável em todas as doses (figura 3k).

As CTC efetiva ($t = 1,41 \pm 0,45 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e a CTC potencial ($T = 2,12 \pm 0,49 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) do tratamento adicional proporcionaram valores superiores aos do solo na condição inicial ($t = 0,83 \pm 0,06 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $T = 1,74 \pm 0,31 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$). Por outro lado, a CTC efetiva do tratamento adicional foi semelhante ao tratamento com 386 mg L^{-1} de NaCl na água de irrigação, enquanto a CTC total do tratamento adicional foi semelhante aos tratamentos contendo 110 e 386 mg L^{-1} de NaCl na água de irrigação. Para doses inferiores ou superiores a essas, o tratamento adicional acarretou maior e menor, respectivamente, CTC efetiva e total. O aumento nas concentrações de cloreto de sódio na água de irrigação determinou aumento linear dessas variáveis (Figura 3h, i).

A água subterrânea ocasionou percentagem de sódio total ($5,75 \pm 1,07 \%$) superior à condição inicial (zero) e ao tratamento com dose zero de cloreto de sódio. Entretanto, a adição crescente de NaCl na água de irrigação proporcionou maior percentagem de sódio total no substrato do que quando se utilizou a água subterrânea. O aumento nas concentrações de NaCl ajustou-se a equação linear positiva para essa variável (figura 3l). A razão de adsorção de sódio mostrou comportamento semelhante, com o tratamento adicional ($0,49 \pm 0,09 \text{ mmol dm}^{-3}$) acarretando valor superior à condição inicial do solo ($0,00 \text{ mmol dm}^{-3}$), e não diferindo em relação às duas menores doses. O incremento de NaCl na água de irrigação ocasionou aumento linear dessa variável (figura 3m). Do mesmo modo, a CE do solo no tratamento adicional ($1,21 \pm 0,27 \text{ dS m}^{-1}$) foi superior à do solo na condição inicial

($0,85 \pm 0,00 \text{dS m}^{-1}$) e não diferiu em relação às duas menores doses de NaCl (0,00 e 110 mg L^{-1}). Por outro lado, as três últimas doses de cloreto de sódio proporcionaram maior CE do que a água subterrânea. O incremento nas concentrações de NaCl levou ao aumento linear na condutividade elétrica do solo (Figura 3n).

Figura 3 – Valores médios de pH-CaCl₂, teor de cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na), alumínio (Al – acidez trocável) e hidrogênio + alumínio (H+Al – acidez potencial), soma de bases (BS), CTC efetiva (t), CTC total (T), saturação por alumínio (m), saturação por bases (V), percentagem de soma de bases (ESP), razão de adsorção de sódio (SAR) e condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (CE_{es}) do substrato irrigado com água subterrânea e com diferentes concentrações de cloreto de sódio na produção de mudas de *C. brasiliense*.



Initial = condição inicial da plântula no momento da repicagem; **SW** = tratamento adicional irrigado com água subterrânea; **SW** = água subterrânea, tratamento adicional; **X_{max}/min** = valor máximo ou mínimo de CaSO₄ na água de irrigação; **Y_{max}/min** = valor máximo ou mínimo da variável dependente; **Y_{med}** = valor médio da variável dependente; * **sobre a barra** = difere do tratamento adicional pelo teste Dunnett a 5% de significância; *** **nos coeficientes da equação** = significativos a 0,1% pelo teste t.

4 DISCUSSÃO

Efeito da água de irrigação sobre o desenvolvimento das mudas de pequi

O tratamento adicional com irrigação de água de poço artesiano proporcionou crescimento adequado das mudas de *C. brasiliense* após a repicagem, com acréscimos no tamanho da parte aérea e sistema radicular, bem como na área foliar, após 166 dias de cultivo. A água subterrânea levou a mudas com valores de características morfológicas e IQD semelhantes às aquelas irrigadas com somente água destilada. Os resultados confirmam que água subterrânea praticamente não interfere no crescimento das plantas de pequi, apesar de conter quantidade significativa de bicarbonato, que causa alcalinização, além de cálcio e magnésio que melhoram a fertilidade do substrato. Por outro lado, o teor de sódio presente nessa água durante o período do experimento, não gera problemas de salinidade e sodificação, tanto no solo, como apontado abaixo, quanto na planta, uma vez que a percentagem de folhas com sintomas de clorose e necrose não diferiu das plantas irrigadas somente com água destilada.

A falta de resposta do pequi a maior fertilidade do solo pode estar relacionada a sua adaptação a solos pobres e baixa exigência nutricional na fase de muda (CARLOS *et al.*, 2014; GIROLDO e SCARIOT, 2015; LIRA-MARTINS, *et al.*, 2022), além da presença do hipocótilo, que atua como estrutura de reserva para a nutrição das plantas jovens (BARRADAS, 1973; SOUSA *et al.*, 2017; RIBEIRO *et al.*, 2021; LIRA-MARTINS *et al.*, 2022). Entretanto, em plantas adultas e juvenis, o pequi responde aos solos mais férteis, apresentando indivíduos com maior densidade e de crescimento mais rápido (HARIDASAN, 2000; GIROLDO e SCARIOT, 2015).

O aumento de doses crescentes de cloreto de sódio via irrigação reduziu de forma drástica a altura, número de folhas, área foliar, matéria seca e o IQD das plantas de *C. brasiliense*, principalmente, a partir da concentração de 386 mg L⁻¹, quando o solo tornou-se salino-sódico. Todas as características morfológicas e o IQD ajustaram-se a equações lineares negativas. Entretanto, o estresse salino já havia sido notado precocemente, na primeira dose de NaCl, afetando a massa seca e o IQD, além de apresentar sintomas em mais de 30% das folhas, mas sem comprometer a altura, diâmetro, número de folhas, área foliar e relação massa seca raiz e parte aérea. Nesse caso, a redução de crescimento e a presença de sintomas de clorose e necrose, em solo com percentagem de sódio trocável abaixo de 15%, indica o *C.*

brasiliense como espécie sensível à salinidade (FAO, 1985; ZAMAN, *et al.*, 2018).

O principal efeito dos sais nas plantas está relacionado ao potencial osmótico (ψ_o). Em função do grau de salinidade da solução do solo, a planta pode sofrer com processo de plasmólise, ou seja, ao invés de absorver, o vegetal perde água (ATTA *et al.*, 2023). As consequências desse processo são a redução generalizada do crescimento e da área foliar, presença de clorose e necrose, e às vezes morte da planta, sendo os efeitos semelhantes aos ocasionados pelo estresse hídrico (AKINCI, 2013; FU e YANG, 2023).

Além do estresse osmótico, altas concentrações de NaCl pode ocasionar obstruções na absorção de K e Ca. O Na⁺ apoplástico compete pelos mesmos sítios dos dois nutrientes, restringindo a disponibilidade destes no citosol (FU e YANG, 2023). Dessa forma, os sintomas característicos da deficiência do cálcio e potássio envolvem clorose, necrose e encurvamento de folhas (WHITE e BROADLEY, 2003; SARDANS e PENUELAS, 2021; WANG *et al.*, 2018). Soma-se a isso, que o Ca citossólico é necessário para ativar a destoxificação de Na⁺, via efluxo, através da membrana plasmática, acentuando ainda mais o efeito do sal (RAHMAN *et al.*, 2018; ATTA *et al.*, 2023).

A diminuição do peso seco, especialmente, perceptível na parte aérea, e a redução do número de folhas, por meio da abscisão precoce, em mudas de *C. brasiliense* com aumento do estresse salino podem também estar relacionada ao desbalanço iônico. A elevação das concentrações de NaCl no meio de cultivo leva ao acúmulo específico de Cl nas folhas (LUCZAK *et al.*, 2021). O resultado do armazenamento desse ânion é a síntese do ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico, que posteriormente converte-se em etileno e causa abscisão foliar (ACOSTA-MOTOS *et al.*, 2017). Altas concentrações de Cl ocasionam competição antagônica ânion-ânion em relação à captação de nitrato e fosfato, reduzindo a absorção de nitrogênio e fosforo que são elementos diretamente ligados ao processo fotossintético, com provável relação com os sintomas cloróticos das folhas (GEILFUS, 2018).

O número de folhas nas mudas com sintomas de clorose e necrose intensificou-se com o aumento da concentração de NaCl na água de irrigação. A parte aérea dos vegetais é mais sensível aos efeitos da salinidade e constitui parâmetro importante para a avaliação das plantas quanto à tolerância à salinidade. As raízes expostas à salinidade com redução do potencial hídrico do solo tendem a interromper a condução da água para as partes aéreas da planta, reduzindo o influxo de água e minerais para

o corpo da planta, alterando o comportamento estomático e o rendimento fotossintético (RAHMAN *et al.*, 2021; ATTA *et al.*, 2023). Tal comportamento também foi verificado no presente estudo, uma vez que ocorreu aumento na proporção raiz/parte aérea com incremento das concentrações de NaCl. Esse fenômeno, diretamente ligado ao efeito osmótico, favorece a retenção de íons tóxicos nas raízes e controla translocação destes para a parte aérea (ACOSTA-MOTOS *et al.*, 2017). A resposta das plantas ao estresse salino revela que equilibrar o crescimento é uma estratégia crucial para a sobrevivência, que passa pela regulação cooperativa de diferentes hormônios (giberelina e o etileno) e redução da biossíntese de clorofila, pela diminuição da absorção de íons como o nitrogênio e magnésio, essenciais na composição dessas moléculas (FU e YANG, 2023).

Os sintomas de clorose e necrose, ausentes nas mudas irrigadas sem presença de cloreto de sódio, se manifestaram e se tornaram mais intensos à medida que aumentou-se as doses do sal na água de irrigação e com a duração do experimento. Os sintomas de toxicidade do sódio aparecem em forma de queimadura/necrose ao longo das bordas, se espalhando progressivamente na área internerval até o centro das folhas (LUCZAK *et al.*, 2021; ATTA *et al.*, 2023; FU e YANG, 2023). O alto teor de NaCl no ambiente radicular limitou a disponibilidade de água, contribuindo assim para uma seca fisiológica, que induziu à necrose e à senescência foliar à medida que o estresse se intensificou.

Os sintomas de clorose e necrose na parte aérea das mudas foram mais facilmente evidenciados a partir da concentração 386 mg L^{-1} de NaCl, com $\text{CEa} = 0,75 \text{ dS m}^{-1}$ e PST superior a 15%, o que comprometeu totalmente o crescimento das mudas. Os níveis de tolerância e sensibilidade nas plantas variam de acordo com as espécies, envolvendo a capacidade ajuste osmótico, exclusão, compartimentalização e, em alguns casos, a presença de estruturas secretoras, como glândulas de sal foliares. Contudo, a maioria das espécies agrícolas são consideradas sensíveis à elevadas concentrações de sais no meio (glicófitas), porém apresentam diferentes graus de tolerância à salinidade (WU, 2018; FU e YANG, 2023).

As mudas de pequi mostraram comportamento de glicófitas, pois foram pouco tolerantes ao sal com manifestações iniciais de clorose e perda de massa seca a partir da concentração baixa de NaCl (110 mg L^{-1}) na água de irrigação, quando o solo ainda era considerado normal para salinidade e sodicidade. Em grande parte das glicófitas, ocorre redução no crescimento quando a condutividade elétrica passa 1 dS

m^{-1} , enquanto as halófitas conseguem se ajustar em meios altamente salinos, com CE superior a 20 dS m^{-1} (ISAYENKOV & MAATHUIS, 2019; BUENO *et al.*, 2020; LITALIEN e ZEEB, 2020).

Efeito da água de irrigação sobre os atributos químicos do substrato

A aplicação de água subterrânea reduziu a acidez ativa e neutralizou o Al trocável, por meio da elevação do pH e diminuição da acidez trocável, potencial e da saturação de alumínio. Isso ocorreu provavelmente em função da presença de bicarbonatos (HCO_3^-) na água de irrigação, cuja concentração foi próxima a 275 mg L^{-1} . O HCO_3^- adicionado ao solo dissocia-se em CO_2 e OH^- , que se liga aos íons hidrogênio formando água e ao mesmo tempo ligando-se ao alumínio livre, que se precipita, gerando formas estáveis de hidróxidos de alumínio com toxicidade reduzida para as plantas (GOMEZ-PEREZ *et al.*, 2014).

O uso da água subterrânea melhorou a fertilidade do solo principalmente pelo aumento de cálcio e magnésio no substrato em relação à condição inicial e aos tratamentos com dose de NaCl. O incremento de Ca e Mg no substrato promoveu maior soma de bases, maior CTC efetiva e potencial, e maior saturação por bases, uma vez que a presença de cálcio ($68,67 \text{ mg L}^{-1}$) e Mg ($7,65 \text{ mg L}^{-1}$) contidos na água do tratamento adicional foram relevantes para a alteração dos atributos do substrato (GOMEZ-PEREZ *et al.*, 2014; REIS *et al.*, 2016). Entretanto, apesar do sódio estar presente na água do tratamento adicional, seu teor foi baixo e dentro da faixa aceitável para irrigação (PESCOD, 1992).

A salinidade e sodicidade do substrato foram aumentadas com o uso da água subterrânea, uma vez que a condutividade elétrica do extrato do solo e a percentagem de sódio trocável foram maiores no tratamento adicional em relação à condição inicial. Entretanto, esses aumentos não implicam em grandes modificações no solo e, conseqüentemente, na planta, pois o tratamento adicional não diferiu daquele que somente recebeu água destilada ($0,00 \text{ mg L}^{-1}$ de NaCl), sendo ambos classificados como não salino ($\text{CE}_{\text{es}} < 4,0 \text{ dS m}^{-1}$) e não sódico ($\text{PST} < 15,0\%$) (PAZ *et al.*, 2020; STAVI *et al.*, 2021).

O aumento da concentração de NaCl na água de irrigação neutralizou o alumínio principalmente por causa da redução da acidez trocável e da percentagem de saturação de alumínio. A aplicação de doses crescentes de NaCl elevou a força iônica da solução do solo, causando o deslocamento do Al do complexo de troca e

reduzindo sua toxidez, por se associar a vários ligantes, como os ânions SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , F^- e outros, inclusive o próprio Cl^- presente no cloreto de sódio (CUNHA *et al.*, 2018; RAHMAN *et al.*, 2018).

A adição crescente de cloreto de sódio na água de irrigação promoveu aumento nos atributos do solo relacionados à soma de cátions, à CTC efetiva e potencial e à saturação de bases. Entretanto, tal situação não corresponde necessariamente à melhoria na fertilidade do solo, pois apesar do sódio em excesso contribuir para o aumento da saturação por bases, sua presença prejudica o crescimento das plantas devido aos efeitos negativos da salinidade e da sodicidade (YADAV e ATRI, 2020; LITALIEN e ZEEB, 2020; STAVI *et al.*, 2021; ATTA *et al.*, 2023).

A aplicação de cloreto de sódio via água de irrigação aumentou os níveis da percentagem de sódio trocável e da condutividade elétrica, atribuindo ao substrato caráter salino-sódico ($\text{CEes} > 4 \text{ dS m}^{-1}$ e $\text{PST} > 15 \%$), com alterações nas propriedades químicas e físicas do solo e restrição ao crescimento da maioria das culturas. Solos dominados por cátions monovalentes como o Na^+ , que são atraídos por coloides com carga negativa, proporcionam a dispersão coloidal e reduzem a porosidade e, conseqüentemente, a infiltração de água. Esses efeitos associados ao estresse osmótico e toxicidade iônica podem inibir a germinação, prejudicar o crescimento e levar as plantas a senescência (LITALIEN e ZEEB, 2020; LUCZAK *et al.*, 2021; SHEFERIA *et al.*, 2021; STAVI *et al.*, 2021).

5 CONCLUSÕES

A aplicação de água de irrigação com concentração a partir de 110 mg L^{-1} de NaCl aumenta os atributos químicos do substrato relacionados à soma de bases, mas sem promover melhoria na fertilidade, gerando condição de solo sódico e salino a partir das concentrações 386 e 800 mg L^{-1} de NaCl , respectivamente.

As mudas de pequiheiro demonstram sensibilidade à salinidade ocasionada pelo NaCl , com redução do crescimento e manifestação inicial de sintomas de clorose e necrose a partir de 110 mg L^{-1} de NaCl na água de irrigação.

A melhor qualidade de mudas de pequiheiro, baseada no Índice de Qualidade de Dickson - IQD, consiste no uso de água com concentração de cloreto de sódio abaixo de 110 mg L^{-1} .

6 REFERÊNCIAS

ACOSTA-MOTOS, J. R.; ORTUNO, M. R.; BERNAL-VICENTE, A.; DIAZ-VIVANCOS, P.; SANCHEZ-BLANCO, M. J.; HERNANDEZ, J. A. Plant Responses to Salt Stress: Adaptive Mechanisms. **Agronomy**, v. 7, p. 1-18, 2017.

ALVARES, C. A.; STAPE J. L.; SENTELHAS, P. C. GONÇALVES, J. L. de M.; SPAROVEK, G. Koppens climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 23^a ed. Washington: American Public Health Association, 2017.

ATTA, K.; MONDAL, S.; GORAI, S.; SINGH, A. P.; KUMARI, A.; GHOSH T.; ROY, A.; HEMBRAM, S.; GAIKWAD, D. J.; MONDAL, S.; BHATTACHARYA, S.; JHA, U. C.; JESPERSEN, D. Impacts of salinity stress on crop plants: improving salt tolerance through genetic and molecular dissection. **Front. Plant Science**, v. 14, 2023.

BARRADAS, M. M. Morfologia do fruto e da semente de *Caryocar brasiliense* (piqui) em várias fases de desenvolvimento. **Rev. Biol.** 9:69-84, 1973.

BOUSSADIA, O.; ZGALLAI, H.; MZID, N.; ZAABAR, R.; BRAHAM, M.; DOUPIS, G.; KOUBOURIS, G. Physiological Responses of Two Olive Cultivars to Salt Stress. **Plants**, v. 12, 2023.

BRYLA, D. R.; SCAGEL, C. F.; LUKAS, S. B.; SULLIVAN, D. M. Ion-specific Limitations of Sodium Chloride and Calcium Chloride on Growth, Nutrient Uptake, and Mycorrhizal Colonization in Northern and Southern Highbush Blueberry. **J. AMER. SOC. HORT. SCI.** v. 146, n. 6, p. 399–410. 2021.

CLIMATE-DATA.ORG. **Clima Montes Claros**. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/minas-gerais/montes-claros-2886/>>. Acesso em: 12 de fev. 2024.

CUNHA, G. O. de M.; ALMEIDA, J. A. de.; ERNANI, P. R.; PEREIRA, E. R.;

SKORONSKI, E.; LOURENÇO, L. S.; BRUNTTTO, G. Chemical Species and Aluminum Concentration in the Solution of Acid Soils Cultivated with Soybean and Corn under Liming. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 42, 2018.

DICKSON, A.; LEAF, A.; HOSNER, J. F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **Forestry Chronicle**, v. 36, p. 10 - 13, 1960.

EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos**. 2^a ed. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2009.

FAO. **Water quality for agriculture**. Food and Agriculture Organization, Rome, 1985.

FU, H.; YANG, Y. How Plants Tolerate Salt Stress. **Curr. Issues Mol. Biol.** v. 45, 5914 - 5934, 2023.

GEILFUS, C. M. Chloride: from nutrient to toxicant. **Plant & Cell Physiology**, v. 59, n. 5, p. 877 - 886, 2018.

GIROLDO, A. B.; SCARIOT, A. Land use and management affects the demography and conservation of an intensively harvested Cerrado fruit tree species. **Biological Conservation**, p. 50 - 158, 2015.

GOMEZ-PEREZ, L.; VALDEZ-AGUILAR, L. A.; RANGEL, A. S.; BENAVIDEZ-MENDOZA, A. Calcium Ameliorates the Tolerance of Lisianthus [*Eustoma grandiflorum* (Raf.) Shinn.] to Alkalinity in Irrigation Water. **HORTSCIENCE**, v. 49, n. 6, p. 807 - 811, 2014.

GUEDES, A. M. M.; ANTONIASSI, R.; FARIA-MACHADO, A. F. Pequi: a Brazilian fruit with potential uses for the fat industry, **OCL**. v. 24, p. 01-04, 2017.

HARIDASAN, M. Nutrição mineral de plantas nativas do cerrado. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 12 (1), p. 54-64, 2000.

HOSSAIN, M. S. Present Scenario of Global Salt Affected Soils, its Management and

Importance of Salinity Research. **Int. Res. J. Biol. Sci.**, v. 1, n. 1, p. 1-3, 2019.

ISAYENKOV, S. V.; MAATHUIS, F. J. Plant Salinity Stress: Many Unanswered Questions Remain. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, n. 80, 2019.

LIMA, L. K. da S.; JESUS, O. N. de; SOARES, T. L.; SANTOS, I. S. dos; OLIVEIRA, E. J. de; FILHO, M. A. C. Growth, physiological, anatomical and nutritional responses of two phenotypically distinct passion fruit species (*Passiflora* L.) and their hybrid under saline conditions. **Scientia Horticulturae**, v. 263, 2020.

LITALIEN, A.; ZEEB, B. Curing the earth: A review of anthropogenic soil salinization and plantbased strategies for sustainable mitigation. **Science of the Total Environment**, v. 698, 134235, 2020.

LIRA-MARTINS, D.; NASCIMENTO, D. L.; ABRAHÃO, A.; COSTA, P de. B.; D'ANGIOLI, A. M.; VALÉZIO, E.; ROWLAND, L.; OLIVEIRA, R. S. Soil properties and geomorphic processes influence vegetation composition, structure, and function in the Cerrado Domain. **Plant Soil**, v. 476, p. 549–588, 2022.

LUCZAK, K.; CZERNIAWSKA-KUSZA, I.; ROSIK-DULEWSKA, C.; KUSZA, G. Effect of NaCl road salt on the ionic composition of soils and *Aesculus hippocastanum* L. foliage and leaf damage intensity. **Sci Rep**, v. 11, 5309, 2021.

OLIVEIRA, M. N. S.; LOPES, P. S. N.; MERCADANTE, M. O.; OLIVEIRA, G. L. GUSMÃO, E. Medição da área foliar do pequiheiro utilizando a soma da nervura principal dos folíolos. **Unimontes Científica**, [s. l.], v. 3, n. 3, p. 1-7, 2002.

PAZ, A. M.; CASTANHEIRA, N.; GONÇALVES, M. C.; FERNANDES, M.; PIRES, F.; FARZAMINAN, M.; PAZ, M. C.; SANTOS, F. M. Determination of soil salinity and sodicity using electromagnetic induction. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 43, n. 2, p. 151 - 160, 2020.

PESCOD, M. 1992. **Wastewater treatment and use in agriculture**. FAO Irrigation and Drainage Paper 47. Rome, Italy, 1992, 169 p.

RAHMAN, A.; LEE, S.; JI, H. C.; KABIR, A. H.; JONES, C. S.; LEE, K. Importance of Mineral Nutrition for Mitigating Aluminum Toxicity in Plants on Acidic Soils: Current Status and Opportunities. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 19, 2018.

R Core Team (2023). **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

RICHARDS, L. A. (Ed.). **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington: USDA, 1954.

RODRIGUES, I. V.; LOPES, P. S. N.; RIBEIRO, L. M.; MERCADANTE-SIMÕES, M. O.; MARTINS, C. P. S.; VIEIRA, F. R.; CACIQUE, A. P.; SANGLARD, D. A.; SILVÉRIO, F. O. Fruit development and ABA biosynthesis during *Caryocar brasiliense* (Caryocaraceae) Seed Maturation. **J. Plant Growth Regul.** v. 39, p. 981-993, 2020.

SABINO, F. C.; SOUZA, L. S. B. de; SOUZA, M. A. G. de; BARROS, J. P. A. de; LUCENA, L. R. R. de; JARDIM, A. M. da R.; ROCHA, A. K. P.; SILVA, T. G. F. da. Morphological characteristics, biomass accumulation and gas exchange of an important species native for restoration in Semi-arid Brazilian areas affected by salt and water stress. **Plant Stress**, n. 2, 2021.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5ª ed. Brasília, DF: Embrapa Solos, 2018. 356p

SA, J. R de; TOLEDO, F. H. S. F de; MARINOS.; Y. A; SOARES, C. R. F. S.; FERREIRA, E. V de. O. Growth and nutrition of *Passiflora edulis* submitted to saline stress after silicon application. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 43, n. 1, 2021

SAMPAIO, R. A.; FERNANDES, L. A. Aspectos geológicos e pedológicos dos solos do município de Montes Claros - MG. **Caderno de Ciências Agrárias**, v. 13, p. 01–18, 2021.

SARDANS, J.; PENUELAS, J. Potassium Control of Plant Functions: Ecological and Agricultural Implications. **Plants (Basel)**, v. 10, n. 2, 419, 2021.

SILVA, S. B. **Análise de solos para ciências agrárias**. 2. ed. Belém: Universidade Federal Rural da Amazônia, 2018. 167 p.

SOUSA, A. M. S.; LOPES, P. S. N.; RIBEIRO, L. M.; SANTIAGO, T. A.; LACERDA, V. R.; MARTINS, C. P. S. Germination and storage of *Caryocar brasiliense* seeds. **Seed Sci. & Technology**, v. 45, p. 557 - 569, 2017.

SHEFERIA, B. A.; ALEM, M. B.; SEID, A. Effects of Saline Water and Irrigation Interval on Soil Physicochemical Properties. **Advances in Applied Science Research**, v.12, n.10, 2021.

STAVI, I., THEVS, N., PRIORI, Soil Salinity and Sodicity in Drylands: A Review of Causes, Effects, Monitoring, and Restoration Measures. **Front. Environ. Sci.** v. 9, 712831, 2021.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 147p. (Boletim Técnico, 5).

WHITE, P. J.; BROADLEY, M. R. Calcium in plants. **Ann Bot**, v. 92, n. 4, p. 487-511, 2003.

WU, D.; CHEN, C.; LIU, Y.; YANG, L.; YONG, J. W. H. Iso-osmotic calcium nitrate and sodium chloride stresses have differential effects on growth and photosynthetic capacity in tomato. **Scientia Horticulturae**, v. 312, 111883, 2023.

WU, H. Plant salt tolerance and Na⁺ sensing and transport. **The Crop Journal**, v. 6, n. 3, p. 215 - 225, 2018.

YADAV, S.; ATRI, N. Impact of salinity stress in crop plants and mitigation

strategies. **New Frontiers in Stress Management for Durable Agriculture**, p. 49-63, 2020.