



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS I - CAMPINA GRANDE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE MESTRADO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS**

RAQUEL DA SILVA FERREIRA

**SILÍCIO COMO ATENUANTE DO ESTRESSE SALINO NA FORMAÇÃO DE
MUDAS DE CULTIVARES DE MARACUJAZEIRO-AMARELO**

**CAMPINA GRANDE-PB
2024**

RAQUEL DA SILVA FERREIRA

**SILÍCIO COMO ATENUANTE DO ESTRESSE SALINO NA FORMAÇÃO DE
MUDAS DE CULTIVARES DE MARACUJAZEIRO-AMARELO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias da Universidade Estadual da Paraíba / Embrapa Algodão, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Ciências Agrárias.

Área de concentração: Agricultura Familiar e Sustentabilidade.

Orientador: Prof. Dr. Evandro Franklin de Mesquita

Coorientador: Prof. Dr. José Felix de Brito Neto

**CAMPINA GRANDE-PB
2024**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

F383s Ferreira, Raquel da Silva.

Silício como atenuante do estresse salino na formação de mudas de cultivares de maracujazeiro - amarelo [manuscrito] / Raquel da Silva Ferreira. - 2024.

71 p. : il. colorido.

Digitado. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, 2024. "Orientação : Prof. Dr. Evandro Franklin de Mesquita, Departamento de Agrárias e Exatas - CCHA. " "Coorientação: Prof. Dr. José Félix de Brito Neto , Departamento de Ciências Agrárias e Ambientais - CCAA. "

1. Passiflora edulis Sims. 2. Salinidade da água. 3. Ácido silícico. 4. Fruta - Maracujá. 5. Agricultura - Frutas . I. Título

21. ed. CDD 634.3

RAQUEL DA SILVA FERREIRA

SILÍCIO COMO ATENUANTE DO ESTRESSE SALINO NA FORMAÇÃO DE MUDAS
DE CULTIVARES DE MARACUJAZEIRO-AMARELO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias da Universidade Estadual da Paraíba/Embrapa Algodão, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Ciências Agrárias.

Área de concentração: Agricultura Familiar e Sustentabilidade.

Aprovada em: 27/09/2024.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Evandro Franklin de Mesquita (Orientador)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

Prof. Dr. José Felix de Brito Neto (Coorientador)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

Prof. Dr. Rennan Fernandes Pereira
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

Prof. Dr. Josinaldo Lopes Araújo Rocha
Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

A minha família, pela dedicação,
companheirismo e amor, DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao meu amado Deus, por permitir vivenciar tantas bênçãos em minha vida, e por mais essa bênção que foi chegar até aqui.

Agradeço à mãezinha, Nossa Senhora, que sempre olha com seu olhar misericordioso, que cuida, ama e intercede por mim.

Agradeço aos meus pais, Maria Das Neves e José Edmilson por todo apoio, amor e cuidado. À minha irmã Raniele, por incentivar e acreditar que sou capaz.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Evandro Franklin de Mesquita, por todo amparo, colaborações e ensinamentos. Mesmo em seu momento de dificuldade, sempre esteve presente. Peço a Deus que lhe conceda saúde e prosperidade.

Agradeço ao meu coorientador, Prof. Dr. José Félix de Brito Neto, pelas contribuições e ensinamentos.

Agradeço aos membros do Solaplant, por colaborarem direta e indiretamente na pesquisa, em especial a Caio, José Paulo e Albanisa, que sempre estiveram dispostos a ajudar.

Agradeço também a Elizangela, Fernanda e Orquídea, que ajudaram na condução do experimento, e a Rennan, pelas correções e contribuições.

Agradeço aos técnicos dos laboratórios por toda ajuda.

Agradeço a Mikaele, José Carlos e Mikael, pela acolhida, vivência e amizade.

Agradeço aos meus colegas de mestrado pela amizade construída, por compartilharem comigo tantos momentos de descobertas e aprendizado.

A Fapesq devido ao apoio financeiro através do termo de Outorga 3076/2021- Fapesq/PB, Edital Universal 09/2021 SEECT/Fapesq.

A empresa de mineração Diatom pela doação do ácido silícico utilizado na pesquisa.

Agradeço à Universidade Estadual da Paraíba (UEPB) e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, por terem me concedido essa oportunidade de dar mais um passo relevante na minha carreira profissional; e aos funcionários da UEPB, pela presteza e atendimento quando nos foi necessário.

Agradeço a todos os meus professores do mestrado, por todos ensinamentos e incentivos.

Para finalizar, agradeço aos membros da banca examinadora por todas as contribuições.

Gratidão a todos que participaram, direta ou indiretamente, do desenvolvimento deste trabalho de pesquisa, enriquecendo o meu processo de aprendizado.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

RESUMO

Na cadeia produtiva do maracujá, a produção de mudas de qualidade é uma etapa fundamental, pois contribui significativamente para a uniformidade das plantações no campo. No entanto, frequentemente, as águas disponíveis apresentam elevados teores de sais, que prejudicam a formação das mudas. Uma alternativa promissora para mitigação do estresse salino é a suplementação com silício, contudo são necessárias mais pesquisas para elucidar os mecanismos envolvidos na ação do silício e para otimizar sua aplicação em diferentes sistemas de produção. Este estudo foi realizado com o objetivo de avaliar os efeitos de métodos de aplicação de silício na mitigação do estresse salino em cultivares de maracujazeiro-amarelo. Foi conduzido um experimento em casa de vegetação, utilizando-se o delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 2 x 4, com cinco repetições. Os fatores estudados foram duas cultivares de maracujazeiro-amarelo (BRS Sol do Cerrado e BRS Gigante Amarelo), dois níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (1,2 e 4,0 dS m⁻¹) e quatro modos de aplicação de silício (testemunha sem aplicação, aplicação via solo, aplicação via foliar e aplicação combinada - 50% via solo e 50% via foliar). Foram feitas duas aplicações de silício: a primeira, aos 12 dias após transplântio; e a segunda, aos 27 dias após transplântio. Aos 60 dias após a sementeira, foram avaliadas variáveis de crescimento, biomassa, trocas gasosas, status celular e acúmulo de nutrientes nas plantas. Os resultados obtidos indicaram que a cultivar BRS Sol do Cerrado apresentou maior tolerância à salinidade, enquanto a BRS Gigante Amarelo mostrou-se mais beneficiada pela aplicação de silício, especialmente nas formas foliar e combinada (solo + foliar). De modo geral, a aplicação de silício melhorou a qualidade das mudas, promovendo maior crescimento, aumento no conteúdo relativo de água nas folhas, redução no vazamento de eletrólitos e maior eficiência instantânea no uso da água, sob condições de estresse salino. A suplementação com silício revelou-se promissora na mitigação dos efeitos do estresse salino, promovendo uma melhor absorção de diversos nutrientes essenciais. Contudo, a resposta das plantas ao silício mostrou-se complexa, variando conforme o genótipo e o método de aplicação.

Palavras-Chave: *Passiflora edulis* Sims; salinidade da água; ácido silícico.

ABSTRACT

In the passion fruit production chain, the production of quality seedlings is a fundamental step, as it significantly contributes to the uniformity of plantations in the field. However, the available water often has high salt content, which hinders seedling formation. A promising alternative for mitigating salt stress is silicon supplementation, but more research is needed to elucidate the mechanisms involved in silicon action and to optimize its application in different production systems. This study was carried out to evaluate the effects of silicon application methods on mitigating saline stress in yellow passion fruit cultivars. An experiment was conducted in a greenhouse, using a completely randomized design, in a 2 x 2 x 4 factorial scheme, with five replications. The factors studied were two yellow passion fruit cultivars (BRS Sol do Cerrado and BRS Gigante Amarelo), two levels of electrical conductivity of irrigation water (1.2 and 4.0 dS m⁻¹) and four methods of silicon application (control without application, soil application, foliar application and combined application - 50% soil and 50% foliar). Two silicon applications were made: the first at 12 days after transplanting and the second at 27 days after transplanting. At 60 days after sowing, growth, biomass, gas exchange, cell status and nutrient accumulation variables in the plants were evaluated. The results obtained indicated that the cultivar BRS Sol do Cerrado showed better tolerance to salinity, while BRS Gigante Amarelo showed greater benefit from silicon application, especially in foliar and combined (soil + foliar) forms. In general, silicon application improved seedling quality, promoting better growth, increased relative leaf water content, reduced electrolyte leakage, and better instantaneous water use efficiency under saline stress conditions. Silicon supplementation proved promising in mitigating the effects of saline stress, promoting better absorption of several essential nutrients. However, the response of plants to silicon was complex, varying according to genotype and application method.

Keywords: *Passiflora edulis* Sims; water salinity; silicic acid.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Croqui do experimento na casa de vegetação.....	22
Figura 2 - Semeio das sementes das cultivares de maracujazeiro (A). Mudanças de maracujazeiro transplantadas para os sacos de polietileno (B).....	22
Figura 3 - Temperatura média e umidade relativa registradas no interior da estufa, durante o período experimental.....	24
Figura 4 - Retirada de discos foliares (A). Pesagem da massa fresca dos discos (B). Material coletado mantido em repouso(C).....	26
Figura 5 - Discos foliares acondicionados em frascos, à temperatura de 25 °C (A). Aferição de condutividade elétrica inicial do meio (B).....	27
Figura 6- Mensuração das trocas gasosas em folhas de maracujazeiro (A). Analisador de gás no infravermelho-IRGA, modelo CIRAS-3 (B).....	28
Figura 7- Pesagem do material vegetal (A). Digestão sulfúrica do material vegetal (B). Análise no equipamento espectrometria de absorção atômica (C).....	29
Figura 8- Desdobramento das interações entre cultivares x condutividade elétrica da água (A) e cultivares x modos de aplicação de silício (B), sobre a altura de mudas de maracujazeiro-amarelo.....	31
Figura 9- Desdobramento da interação entre condutividade elétrica da água x modos de aplicação de silício, sobre a área foliar de mudas de maracujazeiro-amarelo.....	33
Figura 10- Desdobramento das interações entre cultivares de maracujá x modos de aplicação de silício (A) e condutividade elétrica da água x modos de aplicação de silício (B), sobre o Índice de Qualidade de Dickson (IQD) em mudas de maracujazeiro-amarelo.....	34
Figura 11- Desdobramento da interação entre cultivares x condutividade elétrica da água x modos de aplicação de silício, sobre a massa seca da parte aérea (MSPA) de mudas de maracujazeiro-amarelo.....	37
Figura 12- Desdobramento da interação entre condutividade elétrica da água x modos de aplicação de silício, sobre a massa seca das raízes de mudas de maracujazeiro-amarelo.....	38
Figura 13- Desdobramento da interação entre cultivares x condutividade elétrica da água x modos de aplicação de silício, sobre a massa seca total (MST) de mudas de maracujazeiro-amarelo.....	39
Figura 14- Desdobramento da interação entre cultivares x modos de aplicação de silício, sobre a relação raiz/parte aérea (R/PA) de mudas de maracujazeiro-amarelo.....	40
Figura 15- Desdobramento da interação entre cultivares x condutividade elétrica da água x modos de aplicação de silício, sobre o vazamento de eletrólitos em mudas de maracujazeiro-amarelo.....	41
Figura 16- Desdobramento da interação entre cultivares x modos de aplicação de silício, sobre o conteúdo relativo de água (CRA) de mudas de maracujazeiro-amarelo.....	42
Figura 17- Desdobramento das interações entre cultivares x condutividade elétrica da água (A) e condutividade elétrica da água x modos de aplicação de silício (B), sobre a condutância estomática (gs) em mudas de maracujazeiro-amarelo.....	44
Figura 18- Desdobramento da interação entre condutividade elétrica da água x modos de aplicação de silício, sobre a taxa de assimilação de CO ₂ (A) em mudas de maracujazeiro-amarelo.....	45
Figura 19- Desdobramento das interações entre cultivares x modos de aplicação de silício (A) e condutividade elétrica da água x modos de aplicação de silício (B), sobre eficiência instantânea do uso da água (A/E) em mudas de maracujazeiro-amarelo.....	47
Figura 20 - Desdobramento das interações entre cultivares x condutividade elétrica da água (A), cultivares x modos de aplicação de silício (B) e condutividade elétrica da água x modos de	

aplicação de silício (B), sobre os teores foliares de carbono em mudas de maracujazeiro-amarelo	50
Figura 21 - Desdobramento das interações entre cultivares de maracujá x modos de aplicação de silício (A) e condutividade elétrica da água x modos de aplicação de silício (B), sobre os teores foliares de nitrogênio em mudas de maracujazeiro-amarelo	52
Figura 22 - Desdobramento da interação entre cultivares x condutividade elétrica da água x modos de aplicação de silício, sobre os teores foliares de fósforo em mudas de maracujazeiro-amarelo	53
Figura 23 - Desdobramento da interação entre cultivares x condutividade elétrica da água x modos de aplicação de silício, sobre os teores foliares de potássio em mudas de maracujazeiro-amarelo	54
Figura 24 - Desdobramento da interação entre cultivares x condutividade elétrica da água x modos de aplicação de silício, sobre os teores foliares de cálcio em mudas de maracujazeiro-amarelo	56
Figura 25 - Desdobramento da interação entre cultivares x condutividade elétrica da água x modos de aplicação de silício, sobre os teores foliares de magnésio em mudas de maracujazeiro-amarelo	57
Figura 26 - Desdobramento da interação entre cultivares x condutividade elétrica da água x modos de aplicação de silício, sobre os teores foliares de ferro em mudas de maracujazeiro-amarelo	58
Figura 27 - Desdobramento da interação entre cultivares x condutividade elétrica da água x modos de aplicação de silício, sobre os teores foliares de zinco em mudas de maracujazeiro-amarelo	60
Figura 28 - Desdobramento da interação entre cultivares x condutividade elétrica da água x modos de aplicação de silício, sobre os teores foliares de manganês em mudas de maracujazeiro-amarelo	61
Figura 29 - Desdobramento da interação entre cultivares x condutividade elétrica da água x modos de aplicação de silício, sobre os teores foliares de silício em mudas de maracujazeiro-amarelo	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Caracterização do solo em relação as propriedades químicas quanto à fertilidade e físicas antes da instalação do experimento	20
Tabela 2- Caracterização química do esterco bovino utilizado no experimento	21
Tabela 3- Caracterização química da água utilizada no experimento	23
Tabela 4 - Valores médios da temperatura do solo	24
Tabela 5 - Valores médios da temperatura do solo	25
Tabela 6- Resumo das análises de variância para as variáveis altura da planta (AP), diâmetro do caule (DC), área foliar (AF), comprimento de raiz (CR) e índice de qualidade de Dickson (IQD) em mudas de maracujazeiro-amarelo, em função da combinação entre cultivares de maracujazeiro-amarelo, condutividades elétricas da água de irrigação e modos de aplicação de silício	30
Tabela 7- Resumo das análises de variância para as variáveis massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca das raízes (MSR), massa seca total (MST), relação raiz parte aérea (RRPA), vazamento de eletrólitos (VE) e conteúdo relativo de água (CRA) em mudas de maracujazeiro-amarelo, em função da combinação entre cultivares de maracujá, condutividades elétricas da água de irrigação e modos aplicação de silício	36
Tabela 8- Resumo das análises de variância para as variáveis condutância estomática (<i>gs</i>), taxa de assimilação de CO (<i>A</i>), transpiração (<i>E</i>), concentração interna de CO ₂ (<i>C_i</i>) e eficiência instantânea no uso da água (<i>A/E</i>) em mudas de maracujazeiro-amarelo, em função da combinação entre cultivares de maracujazeiro-amarelo, condutividades elétricas da água de irrigação e modos aplicação de silício	43
Tabela 9- Resumo das análises de variância para os teores foliares de carbono (C), nitrogênio, fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), ferro (Fe), zinco (Zn), manganês (Mn) e silício (Si), em mudas de maracujazeiro-amarelo, em função da combinação entre cultivares, condutividades elétricas da água de irrigação e modos aplicação de silício	48
Tabela 10 - Resumo das análises de variância para os teores foliares de ferro (Fe), zinco (Zn), manganês (Mn) e silício (Si), em mudas de maracujazeiro-amarelo, em função da combinação entre cultivares, condutividades elétricas da água de irrigação e modos aplicação de silício..	58

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVO GERAL	14
2.1	Objetivos Específicos	14
3	REFERENCIAL TEÓRICO	15
3.1	Aspectos gerais e importância econômica do maracujazeiro	15
3.2	Salinidade em maracujazeiro-amarelo	16
3.3	Uso do silício no cultivo de maracujazeiro	17
4	METODOLOGIA	20
4.1	Descrição da área da experimental	20
4.2	Tratamentos e delineamento experimental	21
4.3	Instalação e condução do experimento	22
4.4	Variáveis analisadas	25
4.4.1	<i>Crescimento e índice de qualidade de Dickson</i>	25
4.4.2	<i>Acúmulo de biomassa e status celular</i>	25
4.4.3	<i>Trocas gasosas</i>	27
4.4.4	<i>Nutrição mineral</i>	28
4.5	Avaliação Estatística	29
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
5.1	Crescimento e índice de qualidade de Dickson	30
5.2	Acúmulo de biomassa e status celular	35
5.3	Trocas gasosas	42
5.4	Nutrição mineral	47
6	CONCLUSÃO	64
	REFERÊNCIAS	65

1 INTRODUÇÃO

O maracujá é um termo usado para se referir tanto ao fruto quanto à planta de diversas espécies do gênero *Passiflora*. O Brasil é o principal centro de diversidade dos maracujás, onde são encontradas dezenas de espécies nativas com grande potencial comercial. Entre elas, o maracujazeiro-amarelo (*Passiflora edulis* Sims), também denominado de maracujazeiro-azedo, destaca-se como a espécie de maior relevância econômica e social no Brasil. Representando mais de 90% dos pomares nacionais, essa cultura conta com uma cadeia produtiva forte, abrangendo desde a produção de frutas frescas até o setor agroindustrial (Faleiro, 2022; IBGE, 2022).

Na cadeia produtiva do maracujá, a produção de mudas de qualidade é uma etapa fundamental, pois contribui significativamente para a uniformidade das plantações no campo (Vieira et al., 2023). No entanto, durante essa fase, o crescimento inicial de muitas plantas é altamente sensível ao excesso de sais (Nascimento et al., 2017). Na produção de mudas de maracujazeiro, o excesso de sais na água de irrigação pode trazer severas consequências à germinação, à emergência e ao crescimento inicial, devido à ação depressiva dos sais sobre os mecanismos fisiológicos e bioquímicos das plantas (Freire e Nascimento, 2018).

A salinidade causa efeitos deletérios ao crescimento e ao desenvolvimento do maracujazeiro, que é considerada uma cultura sensível ao excesso de sais, com redução da produção em ambientes com condutividades elétricas superiores a $1,3 \text{ dS m}^{-1}$ (Ayers e Westcot, 1999). O excesso de íons de Na^+ no ambiente radicular dificulta a absorção de água pelas raízes, causa toxicidade e gera antagonismo com nutrientes essenciais, como K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} , comprometendo processos metabólicos cruciais, como a fotossíntese e a síntese de proteínas (Sá et al., 2021; Moura et al., 2022; Mesquita et al., 2023; Nobre et al., 2024).

Uma alternativa amplamente difundida para minimizar os efeitos negativos da salinidade no crescimento das culturas, melhorando a tolerância das plantas ao estresse salino, é a suplementação com silício (Liu et al., 2019; Diniz, 2020). Esse elemento pode atuar na redução dos estresses abióticos causados por seca, salinidade e metais pesados; no entanto, os mecanismos envolvidos ainda são pouco compreendidos e variam entre as espécies (Camargo, 2016). Assim, um melhor entendimento dos efeitos da salinidade no crescimento vegetal e na absorção de nutrientes, avaliando produtos capazes de minimizar ação deletério é fundamental para aumentar a produtividade agrícola (Sá et al., 2021).

A aplicação de silício pode proporcionar inúmeros benefícios para as plantas, particularmente no alívio do estresse de salinidade, favorecendo a fotossíntese, o equilíbrio

redox e o manejo de nutrientes (Liu et al., 2019). Esses efeitos benéficos podem estar associados à redução do estresse oxidativo e à deposição de Si nas raízes, reduzindo a absorção e o transporte de sais, como o sódio, das raízes para a parte aérea (Camargo, 2016). Santos et al. (2021) concluíram, por meio de informações agrupadas em uma revisão de literatura, que, embora o silício não seja considerado um elemento essencial para o crescimento das plantas, ele proporciona inúmeros benefícios, como maior tolerância a estresses bióticos e abióticos, por atuar diretamente na fisiologia vegetal e em processos químicos importantes no solo.

As informações aqui apresentadas reforçam a importância do silício como um elemento benéfico para as plantas, com potencial para impulsionar a agricultura sob condições de alta salinidade. A capacidade do silício em fortalecer as plantas e aumentar sua tolerância a estresses abióticos e bióticos abre novas perspectivas para o cultivo de maracujazeiro-amarelo. No entanto, são necessárias mais pesquisas para elucidar os mecanismos envolvidos na ação do silício e para otimizar sua aplicação em diferentes sistemas de produção.

A aplicação de silício pode ocorrer via solo ou foliar (Cassel et al., 2021) ou pela combinação dos dois métodos (Hurtado et al., 2020). Cada método de aplicação pode gerar efeitos específicos, sendo necessários estudos para avaliar os efeitos práticos sobre as plantas.

Este estudo parte da hipótese de que o uso do silício atenua os efeitos do estresse salino, promovendo alterações fisiológicas benéficas e estimulando o crescimento de mudas de maracujazeiro-amarelo. Desse modo, o silício torna-se uma alternativa de adubação para aprimorar a qualidade das mudas, contribuindo o aumento da produção. Essa abordagem pode potencializar a expansão do cultivo dessa frutífera nas condições de semiárido brasileiro, onde a ocorrência de fontes hídricas com níveis elevados de sais é comum.

2 OBJETIVO GERAL

- Avaliar os efeitos de diferentes métodos de aplicação de silício na mitigação da ação deletéria da salinidade da água de irrigação em cultivares de maracujazeiro-amarelo.

2.1 Objetivos Específicos

- Avaliar o efeito de formas de aplicação de silício no crescimento de mudas de maracujá sob estresse salino;
- Realizar avaliações de trocas gasosas em mudas de maracujazeiro-amarelo sob estresse salino e suplementação com silício;
- Realizar análises do status celular de mudas de maracujazeiro-amarelo sob salinidade hídrica e suplementação com silício;
- Determinar os teores de macro e micronutrientes, carbono e silício, na matéria seca de mudas de maracujazeiro-amarelo sob estresse salino e suplementação com silício.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Aspectos gerais e importância econômica do maracujazeiro

O maracujazeiro é uma trepadeira da família Passifloraceae com alta diversidade genética, cultivada na América Tropical, como Brasil, Colômbia, Peru, Equador, Bolívia e Paraguai (Embrapa, 2024). A família é formada por 12 gêneros, no qual o gênero *Passiflora* é o mais expressivo em número de espécies e importância econômica, compondo mais de 500 espécies, das quais mais de 150 são nativas do Brasil (Faleiro e Junqueira, 2016).

As diferentes espécies de maracujazeiro apresentam variações nas folhas, nas flores e nos frutos, em termos de formatos, cores e tamanhos. Suas flores são hermafroditas, grandes e vistosas, protegidas na base por brácteas foliares (Faleiro e Junqueira, 2016). A maioria das espécies comerciais de maracujá requer polinização cruzada entre plantas para florescer e produzir frutos. A propagação pode ser sexuada, via reprodução por sementes, ou assexuada, a partir de clones obtidos por estaquia, enxertia ou cultura de tecidos (Faleiro et al., 2019).

Diferentes partes das plantas de maracujá podem ser utilizadas comercialmente, como a polpa, as sementes, a casca, as flores, as folhas e as ramas, caracterizando dessa forma o uso múltiplo da cultura, possibilitando a produção de frutos para consumo *in natura* e em sucos, produção de flores para ornamentação e produção de matéria-prima com propriedades funcionais e medicinais para indústrias de alimentos, condimentos, cosméticos e farmacêuticos (Faleiro e Junqueira, 2015).

No Brasil, a espécie *Passiflora edulis* Sims é a mais cultivada (Junghans, 2022). O sucesso na produção e comercialização dessa espécie está diretamente ligado às suas características físico-químicas, alto rendimento e à aceitação do suco pelo mercado consumidor (Paiva et al., 2021). O maracujá é uma boa fonte de nutrientes, principalmente fibras, vitamina C e vitamina A. É conhecido como uma fruta nutricionalmente densa, com base no nível de nutrientes presentes, sendo rica em minerais como K, P, Ca, Fe, Na, Mg, S, Cl e proteínas, além de compostos orgânicos benéficos, incluindo carotenoides e polifenóis (Biswas et al., 2021).

Os maracujás híbridos BRS Gigante Amarelo e BRS Sol do Cerrado, desenvolvidos pela EMBRAPA - Cerrados em Planaltina-DF, apresentam diversas vantagens em relação às variedades tradicionais. Destacam-se por sua alta produtividade e resistência ao transporte, devido à casca mais espessa, o que prolonga o tempo de prateleira. Além disso, têm bom rendimento de polpa e são adequados tanto para a indústria quanto para consumo *in natura* (Meletti, 2011).

O Brasil é o maior produtor mundial da cultura do maracujazeiro (Faleiro, 2022), correspondendo a uma produção total de mais de 700 mil toneladas, com rendimento médio de 15.543 kg por hectare, de acordo com informações do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022). A região Nordeste produz aproximadamente 480 mil toneladas de maracujá por ano, o que corresponde a 70% da produção brasileira. O Estado com maior produção é a Bahia, com aproximadamente 253.857 toneladas por ano. E o Estado da Paraíba produz cerca de 9.552 toneladas (IBGE, 2022).

Existe uma grande oferta e demanda no mercado interno. O cultivo do maracujazeiro tem grande importância social na geração de empregos, tanto no campo quanto no setor de venda de insumos, nas agroindústrias e nas áreas urbanas. Além disso, é uma importante fonte de renda para produtores de todos os tamanhos, desde micro até grandes produtores. A introdução de novas técnicas de manejo, irrigação e melhoramento genético tem contribuído para o aumento da produtividade, ampliando o potencial de lucratividade para os agricultores (Embrapa, 2024).

3.2 Salinidade em maracujazeiro-amarelo

A salinidade é um dos principais estresses abióticos que limitam a produção agrícola globalmente. Esse problema é ainda mais grave em regiões de clima semiárido, onde fatores climáticos como altas temperaturas e baixos índices pluviométricos intensificam seus efeitos (Paiva et al., 2024). Além disso, na região semiárida do Brasil, algumas fontes de água utilizadas na irrigação são consideradas salobras, o que contribui para a salinização do solo e a redução da produtividade das culturas (Pinheiro et al., 2022).

Os efeitos da salinidade alta nas plantas ocorrem por um processo de duas fases: uma resposta rápida à elevada pressão osmótica na interface raiz-solo e uma resposta mais lenta causada pelo acúmulo de Na^+ e Cl^- nas folhas, impactando seu crescimento e sua funcionalidade (Taiz et al., 2017).

Existem inúmeros relatos de efeitos prejudiciais no desenvolvimento da planta, processos morfológicos, fisiológicos e bioquímicos, bem como no rendimento quantitativo e qualitativo dos frutos. A salinidade causa estresse osmótico, toxicidade iônica e induz estresse oxidativo, inibindo a fotossíntese, afetando adversamente o crescimento e o rendimento da planta (Jam et al., 2022).

O nível de tolerância da espécie ou cultivar e as estratégias de manejo utilizadas determinam a intensidade do estresse causado pela salinidade nas culturas (Santos e Brito,

2016). A variação no grau de tolerância das cultivares de maracujá-azedo ao estresse salino pode estar associada às características genéticas de cada cultivar e pode variar de acordo com o estágio de desenvolvimento, o nível e a natureza do meio catiônico e/ou aniônico, a intensidade e a duração do estresse, as condições edafoclimáticas e o manejo da irrigação (Lima et al., 2023a).

De acordo com Ayers e Westcot (1999), o maracujazeiro-amarelo é sensível à salinidade, possuindo salinidade limiar de $1,3 \text{ dS m}^{-1}$. Sobrinho et al. (2023) também classificaram o maracujá-azedo como sensível à salinidade da água de irrigação, com redução de 72,81% quando irrigado com CEa de $4,0 \text{ dS m}^{-1}$. Já no trabalho de Lima et al. (2021), com base no rendimento relativo de fitomassa seca total, os autores classificaram as cultivares de maracujazeiro BRS Sol do Cerrado e Guinezinho como moderadamente sensíveis à salinidade da água, até o nível de $3,5 \text{ dS m}^{-1}$. Em outro estudo, Lima et al. (2023a), ao avaliarem a tolerância de cultivares de maracujazeiro-azedo em função da condutividade elétrica da água de irrigação, classificaram as cultivares de maracujazeiro-azedo BRS GA1, BRS SC1 e SCS437 como sensíveis à condutividade elétrica da água, com os níveis de salinidade limiar de 0,3; 1,0 e $0,3 \text{ dS m}^{-1}$, respectivamente.

A irrigação com água de condutividade elétrica de $4,0 \text{ dS m}^{-1}$ resulta na redução dos potenciais osmótico e hídrico na lâmina foliar, afeta negativamente a síntese de clorofilas, a transpiração e a eficiência de carboxilação instantânea, além de reduzir a taxa de transporte de elétrons no maracujá-azedo, independentemente do estágio de desenvolvimento (Lima et al., 2023b; Silva et al., 2021). Pinheiro et al. (2022) observaram que a irrigação com água de condutividade elétrica de $4,0 \text{ dS m}^{-1}$, durante os estádios vegetativo e de floração, aumenta o percentual de danos celulares e compromete a produção do maracujazeiro.

3.3 Uso do silício no cultivo de maracujazeiro

O silício é o elemento químico principal constituinte das rochas, dos minerais silicatados e dos solos (Camargo, 2016). Na crosta terrestre é o segundo elemento mais abundante, constituindo 27,7% da sua composição (Khan et al., 2019). Está presente no solo de diversas formas, podendo ser encontrado em minerais primários, minerais secundários, ou, adsorvido aos coloides do material. No entanto, a maior concentração desse nutriente é encontrada na forma de ácido monossilícico (Menegale, 2015).

O Si não é um elemento essencial às plantas, do ponto de vista fisiológico, mas é um elemento benéfico para o crescimento e desenvolvimento das plantas, além de desempenhar um

papel fundamental na proteção contra diversos estresses. Para que esses benefícios sejam alcançados, o transporte e o subsequente acúmulo de Si nas plantas a partir do solo são processos indispensáveis. O transporte de Si é um processo ativo e é facilitado por transportadores específicos de Si, tais como Lsi1, Lsi2 e Lsi6, os quais são encontrados em diferentes regiões das plantas (Gaur et al., 2020).

Para Cassel et al. (2021), o silício é ativamente absorvido e transportado para órgãos vegetais, incluindo folhas e caules. Posteriormente, ele se precipita e se integra à estrutura da parede celular, como sílica amorfa, fortalecendo-a. Essa ação resulta em benefícios como uma maior resistência a fatores bióticos e abióticos, os quais frequentemente causam prejuízos tanto fisiológicos quanto de rendimento para as plantas (Cassel et al., 2021).

A suplementação de silício nas plantas previne a degradação de pigmentos fotossintéticos, como clorofilas e carotenoides (Liu et al, 2019). Efeitos relacionados à eficiência do elemento podem ser observados nos solos por meio da aplicação de materiais silicatados, os quais atuam positivamente sobre a correção da acidez do solo, neutralização do H e Al tóxicos, além da interação com outros nutrientes, aumentando sua concentração na solução do solo, o que resulta em maior disponibilidade e absorção pelas plantas (Menegale, 2015). Assim, o alívio do estresse mediado pelo silício envolve a regulação eficaz de elementos essenciais no sistema da planta. Sob estresse de salinidade, o uso de silício afeta a canalização de nutrientes, melhorando o equilíbrio dos elementos macronutrientes e micronutrientes (Liu et al., 2019).

Resultados positivos da ação do silício também têm sido verificados na redução de danos causados por pragas e doenças, seca, metais pesados e salinidade, que, geralmente, ocorrem durante o desenvolvimento das plantas (Camargo, 2016). Foi constatado que uso de silício proporciona melhor crescimento e desenvolvimento do maracujazeiro (Souza, 2015; Costa et al., 2016), além de promover alterações anatômicas, como o aumento da espessura da epiderme adaxial, a redução do parênquima paliçádico e o aumento da funcionalidade dos estômatos, e melhora o aparato fotossintético de mudas de maracujazeiro (Costa et al., 2018).

De acordo com Costa et al. (2016), o maracujazeiro acumula silício nas raízes, e a estabilidade da quantidade de DNA é mantida nas plantas tratadas com esse elemento. Souza et al. (2020) observou que a aplicação de silicato de cálcio mitiga o estresse salino sobre o crescimento inicial e acúmulo de biomassa de mudas de maracujazeiro. Tavares (2021), em um experimento em sistema hidropônico com a espécie de maracujazeiro-azedo, concluiu que a fertilização com silício provoca alterações nas adaptações estruturais foliares, aumentando a espessura, contribuindo no crescimento e na permanência foliar das plantas, além de promover

melhorias nas trocas gasosas, bem como na proteção do mecanismo da fluorescência da clorofila.

As diversas informações disponíveis na literatura demonstram o potencial do silício em promover o crescimento e aumentar a tolerância do maracujazeiro-amarelo à salinidade. As alterações anatômicas e fisiológicas induzidas pelo silício, como o aumento da espessura da epiderme e a melhoria da eficiência fotossintética, evidenciam a capacidade desse elemento em mitigar os efeitos de diversos tipos de estresse. Portanto, a aplicação de silício pode ser uma estratégia promissora para a produção de mudas de maracujá de alta qualidade e em condições cada vez mais desafiadoras, necessitando de estudos mais aprofundados, em virtude da introdução constante de novas cultivares no mercado.

4 METODOLOGIA

4.1 Descrição da área da experimental

A pesquisa foi conduzida entre agosto e outubro de 2023, em casa de vegetação no setor de Agroecologia do Centro de Ciências Humanas e Agrárias da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), Campus IV, localizado em Catolé do Rocha-PB. Este município está na região semiárida do Alto Sertão Paraibano, com clima BSw'h' segundo a classificação de Köppen, caracterizado como semiárido quente, com temperatura média anual de 28 °C (Köppen, 1928). As coordenadas geográficas da casa de vegetação são: latitude 6° 21' 10.295" Sul, longitude 37° 43' 24.029" Oeste, e altitude de 252 metros.

Para preparar o substrato utilizado na condução das mudas de maracujazeiro, foi utilizado material proveniente de um NEOSSOLO FLÚVICO eutrófico, classificado conforme os critérios do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SiBCS (Santos et al., 2018). A análise de fertilidade do solo (Tabela 1) foi realizada conforme as metodologias sugeridas pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA (Silva, 2009). O substrato foi composto por 50% de solo e 50% de esterco bovino (Tabela 2), ambos adquiridos nas dependências da UEPB/Campus IV.

Tabela 1- Caracterização do solo em relação as propriedades químicas quanto à fertilidade e físicas antes da instalação do experimento

Fertilidade		Propriedades físicas	
pH	6,00	areia (g kg ⁻¹)	546
P (mg dm ⁻³)	16,63	silte (g kg ⁻¹)	230
K ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,08	Argila (g kg ⁻¹)	224
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	1,09	D _s (g cm ⁻³)	1,53
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	1,12	D _p (g cm ⁻³)	2,61
Na ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,05	Pt (%)	41,38
SB (cmol _c dm ⁻³)	2,34	U _{vcc} - 0,03 MPA (%)	23,33
H ⁺ +Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	1,24	U _{vmp} 03MPa (%)	11,72
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0		Franco
CTC (cmol _c dm ⁻³)	3,58		Argilo
V (%)	65,36	Classe textural	Arenosa
MOS (g kg ⁻¹)	13,58		

Fonte: Elaborada pela autora, 2024. MOS = Matéria orgânica do solo; SB = Soma de bases trocáveis (SB = Ca²⁺+Mg²⁺+K⁺+Na⁺); CTC = Capacidade de troca catiônica [CTC = SB (Ca²⁺+Mg²⁺+K⁺+Na⁺)]; V= Saturação do solo por bases trocáveis [V = (SB/CTC) × 100; D_s e D_p = densidade do solo e de partículas, respectivamente; Pt. = porosidade total do solo; U_{vcc} e U_{vmp} = umidade volumétrica ao nível de capacidade de campo e do ponto de murchamento permanente nas tensões de -0.033 e -1.500 Mpa do solo, respectivamente.

Tabela 2- Caracterização química do esterco bovino utilizado no experimento

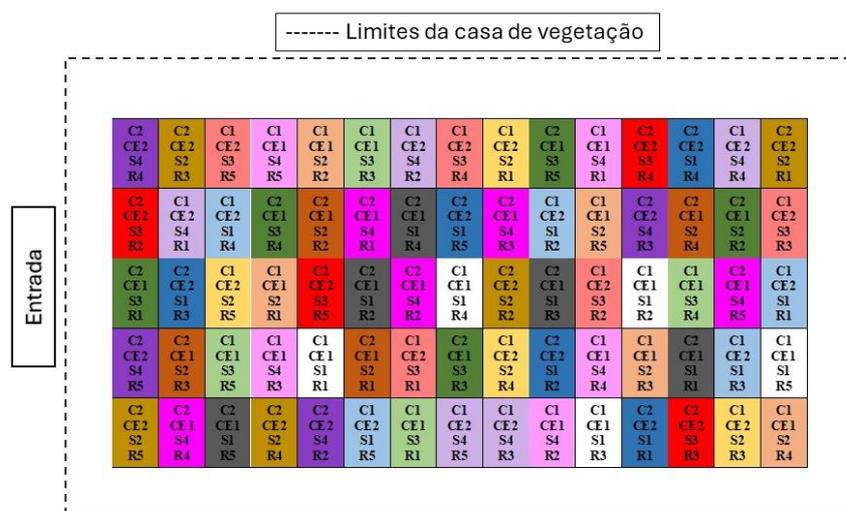
Atributos	Valores	Atributos	Valores
pH (H ₂ O)	7,7	B (mg kg ⁻¹)	14,8
CE (dS m ⁻¹)	6,09	Fe (mg kg ⁻¹)	11,129,9
MO (dag kg ⁻¹)	36,2	Cu (mg kg ⁻¹)	19,3
C (g kg ⁻¹)	166,9	Mn (mg kg ⁻¹)	491,4
N (g kg ⁻¹)	13,9	Zn (mg kg ⁻¹)	65,3
C/N	12,0	Si (g kg ⁻¹)	12,5
P (g kg ⁻¹)	3,2	Na ⁺ (g kg ⁻¹)	3,5
K ⁺ (g kg ⁻¹)	18,7		
Ca ²⁺ (g kg ⁻¹)	16,2		
Mg ²⁺ (g kg ⁻¹)	6,1		
S (g kg ⁻¹)	2,5		
CTC (mmol _c dm ⁻³)	133,9		

Fonte: Elaborada pela autora, 2024. C = Oxidação de carbono por dicromato de potássio e determinado por colorimetria; N = Kjeldahl por digestão seca; C/N = relação carbono:nitrogênio; P - Mehlich-1 e fotocolorimetria, 660 nm; K⁺ e Na⁺ = Fotometria de chama; Ca²⁺ e Mg²⁺ = espectrometria de absorção atômica em 422,7 e 285,2 nm; S – espectrometria de absorção atômica em 420 nm; B e Fe = espectrometria UV-vis nos comprimentos de onda de 460 e 508 nm, respectivamente; Cu = espectrometria de absorção atômica em 324,7; Mn e Zn = espectrometria de absorção atômica em 231,9 e 279,5 nm, respectivamente, com chama de ar acetileno; CTC = capacidade de troca de cátions.

4.2 Tratamentos e delineamento experimental

Os tratamentos foram constituídos pela combinação entre duas cultivares de maracujazeiro-amarelo (C1 = BRS SC1 - BRS Sol do Cerrado e C2 = BRS GA1 - BRS Gigante Amarelo), dois níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (CEa1 = 1,2 dS m⁻¹ e CEa2 = 4,0 dS m⁻¹) e quatro modos de aplicação de silício (S1 = testemunha sem aplicação; S2 = aplicação via solo; S3 = aplicação via foliar e S4 = 50% via solo e 50% via foliar), utilizando o produto comercial Sifol® (ácido silícico), que contém na sua composição química: 92% de SiO₂, 42,9% de Si, densidade aparente variando de 80-140 g L⁻¹, tamanho de partícula variando de 8 a 12 e pH variando de 6.0 a 7.5. O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado, em arranjo fatorial 2 × 2 × 4, com cinco repetições. A parcela foi constituída por uma planta, totalizando 80 unidades experimentais. Na Figura 1, está ilustrado o croqui do experimento.

Figura 1- Croqui do experimento na casa de vegetação

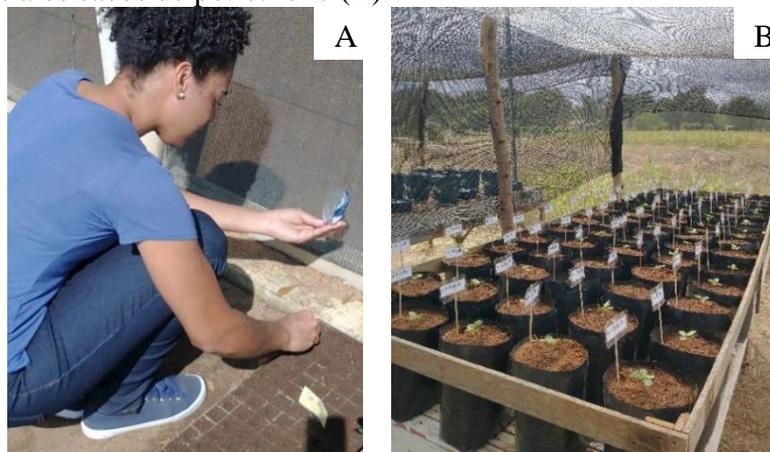


Fonte: Elaborada pela autora, 2024.

4.3 Instalação e condução do experimento

As mudas foram formadas a partir de sementes maracujá azedo BRS Gigante Amarelo (BRS GA1) e maracujá azedo BRS Sol do Cerrado (BRS SC1), cedidas pela Embrapa Cerrado. A semeadura foi feita em bandejas de polietileno de 200 células, contendo material de solo e húmus de minhoca, em proporções iguais (Figura 2A). Aos 15 dias após a semeadura (DAS), foi realizado o transplante das mudas para sacos plásticos de polietileno com capacidade para 5 dm^{-3} (25 x 30), utilizando-se as mudas mais vigorosas com um par de folhas definitivas (Figura 2B).

Figura 2 - Semeio das sementes das cultivares de maracujazeiro (A). Mudas de maracujazeiro transplantadas para os sacos de polietileno (B)



Fonte: Elaborada pela autora, 2024.

Foi realizada a caracterização química da água de poço amazonas utilizada no experimento (Tabela 3). As águas para as irrigações foram preparadas a partir da dissolução de NaCl, ajustadas até as concentrações de 1,2 e 4,0 dS m⁻¹. As irrigações com a água de condutividade elétrica de 4,0 dS m⁻¹ iniciaram-se aos 15 dias após transplântio das mudas (DAT), e foram realizadas diariamente, de forma manual. Os volumes de água foram determinados de acordo com a necessidade hídrica das plantas, via lisimetria de drenagem, pela seguinte equação:

$$VI = (Va - Vd) + FL$$

Onde:

VI (mL) - volume de água a ser aplicado no próximo evento de irrigação (mL);

Va (mL) - volume de água aplicado no evento de irrigação anterior (mL);

Vd (mL) - volume de água drenado no evento de irrigação anterior (mL);

LF - fração de lixiviação de 10%, aplicada quinzenalmente.

Tabela 3- Caracterização química da água utilizada no experimento

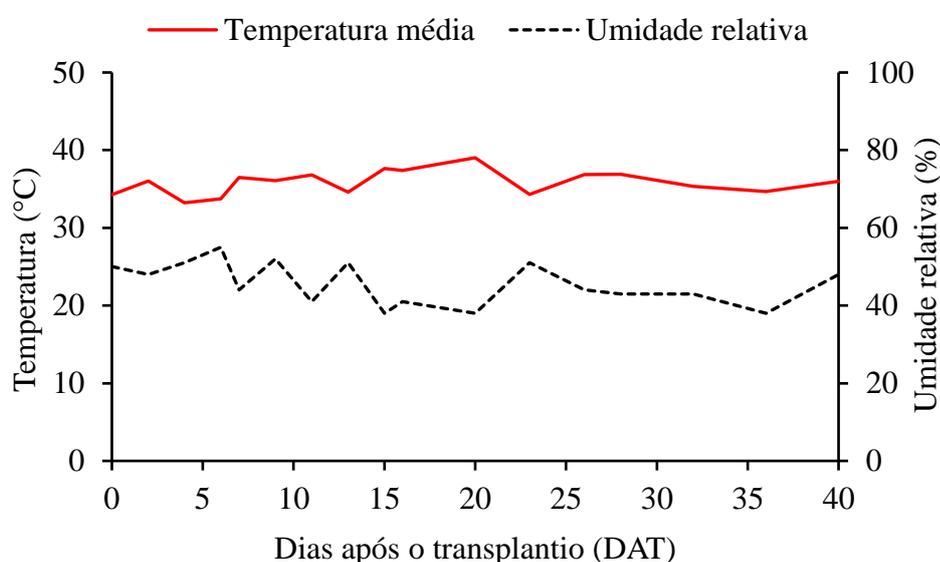
pH	CE _{ai}	SO ₄ ⁻²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺²	CO ₃ ⁻²	HCO ₃ ³⁻	Cl ⁻	RAS	Classe
.....mmol _c L ⁻¹										(mmol L ⁻¹) ^{1/2}	
6,9	1,01	0,18	1,48	6,45	1,21	2,50	0,00	2,75	8,1	4,57	C ₃ S ₁

Fonte: Elaborada pela autora, 2024. CE_{ai} = Condutividade elétrica à 25 °C; C₃S₁ = Alto risco de salinização e baixo risco de sodificação do solo segundo Richards (1954). RAS = Razão de adsorção de sódio [SAR= Na⁺/(Ca²⁺+Mg²⁺/2)^{1/2}]

As soluções de Si foram preparadas por meio de adição de ácido silícico em água destilada, com as concentrações determinadas com base no trabalho de Costa et al. (2016). Para o tratamento S2, 2 g de ácido silícico foram diluídos em 4 L de água destilada, resultando em uma solução de 0,5 g L⁻¹. Após o preparo, foram aplicados 150 mL dessa solução diretamente no substrato ao redor do colo de cada planta. Para o tratamento S3, 0,1 g de ácido silícico foi diluído em 500 mL de água destilada, resultando em uma concentração de 0,2 g L⁻¹. Esta solução foi aplicada nas folhas das plantas até o ponto de escoamento. No tratamento S4, 1 g de ácido silícico foi diluído em 4 L de água destilada (0,25 g L⁻¹) e aplicado via solo, enquanto 0,05 g de ácido silícico foi diluído em 500 mL de água destilada (0,1 g L⁻¹) e aplicado via foliar. Foram feitas duas aplicações de silício: a primeira, aos 12 DAT; e a segunda, aos 27 DAT.

Ao longo do período experimental, a temperatura e a umidade relativa do ar foram monitoradas dentro da casa de vegetação. Essas medições foram realizadas com o auxílio de um termômetro de globo, pela manhã, entre 9 e 10 horas, e à tarde, entre 15 e 16 horas, em média três vezes por semana. Os dados coletados de temperatura e umidade relativa da casa de vegetação estão dispostos na Figura 3.

Figura 3 - Temperatura média e umidade relativa registradas no interior da estufa, durante o período experimental



Fonte: Elaborada pela autora, 2024.

Também foi aferida a temperatura média do solo, três vezes na semana, manhã e tarde, com auxílio de um termômetro digital, colocando-o sobre a superfície e profundidade (5 cm e 10 cm) do solo, os valores médios encontrados estão dispostos na Tabela 4.

Tabela 4 - Valores médios da temperatura do solo

(Continua)

		Temperatura do solo (°C)											
		BRS Sol do Cerrado						BRS Gigante Amarelo					
Modos de aplicação		CE=1,2 dS m ⁻¹			CE= 4,0 dS m ⁻¹			CE= 1,2 dS m ⁻¹			CE= 4,0 dS m ⁻¹		
		S	5 cm	10 cm	S	5 cm	10 cm	S	5 cm	10 cm	S	5 cm	10 cm
Sem silício		30,20	31,53	32,17	29,38	30,34	30,51	30,20	31,53	32,17	29,38	30,34	30,51
Via solo (VS)		29,25	30,54	30,96	29,67	30,93	31,28	29,25	30,54	30,96	29,67	30,93	31,28
Via foliar (VF)		29,15	30,32	30,73	30,02	31,23	31,50	29,15	30,32	30,73	30,02	31,23	31,50

Tabela 4 - Valores médios da temperatura do solo

(Continuação)

VS e VF (50% cada)	29,22	30,03	30,28	30,70	31,99	32,48	29,22	30,03	30,28	30,70	31,99	32,48
-----------------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Fonte: Elaborada pela autora, 2024. BRS Sol do Cerrado = Cultivar 1 estudada; BRS Gigante Amarelo = Cultivar 2 estudada; CE = Condutividade elétrica da água; S = Temperatura superficial do solo; 5 cm = Temperatura do solo a cinco centímetros de profundidade; 10 cm = Temperatura do solo a dez centímetros de profundidade.

4.4 Variáveis analisadas

4.4.1 Crescimento e índice de qualidade de Dickson

A avaliação de crescimento, através da mensuração da altura de plantas (AP) e do diâmetro de caule (DC), foi realizada no final do experimento, aos 60 dias DAS. A altura de planta (cm) foi medida do nível do solo até a extremidade das folhas mais altas; e o diâmetro do caule (cm) foi medido por meio do uso de paquímetro digital na base do solo.

A área foliar das plantas foi estimada de acordo com a seguinte fórmula: $AFP = (C \times L) \times Fr$. Onde: AFP = área foliar (cm^2); C = comprimento da folha (cm); L = maior largura da folha (cm); Fr = fator de correção da cultura. A correção da área foliar foi feita, efetuando-se o produto da área estimada pelo fator 0,78. Este, por sua vez, foi calculado pela relação entre o peso do papel referente à área real e à área estimada (Cavalcante et al. 2009).

Para o comprimento da raiz principal (CR), o sistema radicular foi lavado em água corrente com auxílio de peneiras com malha de 2 mm e mensurado com auxílio de uma fita métrica.

A qualidade das mudas foi avaliada através do Índice e qualidade de Dickson (IQD). Determinado em função da altura das plantas (AP), do diâmetro do caule (DC), massa seca da parte aérea (PMSPA) e da massa seca das raízes (PMSR), por meio da seguinte fórmula (Dickson et al., 1960):

$$IQD = \frac{PMST(g)}{\frac{AP(cm)}{DC(mm)} + \frac{PMSPA(g)}{PMSR(g)}}$$

4.4.2 Acúmulo de biomassa e status celular

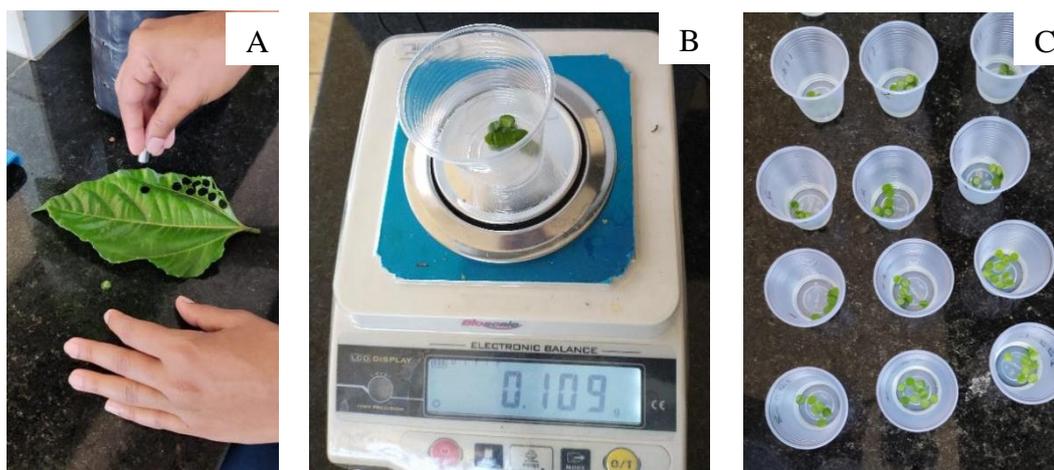
O acúmulo de biomassa foi avaliado aos 60 DAS. A parte aérea e as raízes das plantas foram separadas, acondicionadas em sacos de papel Kraft e levadas para secar em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C, por um período de 72 horas. Em seguida, o material foi pesado

em balança de precisão (0,01 g), determinando-se as massas secas da parte aérea (MSPA) e das raízes (MSR), cujo somatório resultou na massa seca total (MST). De posse desses dados, foi quantificada a relação raiz/parte aérea (R/PA), por meio da razão entre as biomassas secas acumuladas na raiz e na parte aérea das plantas.

Aos 60 DAS, também foi determinado o conteúdo relativo de água nas folhas (CRA), utilizando a metodologia descrita por Cairo (1995). Foram coletadas folhas da porção média das plantas e retirados 10 discos de 1 cm de diâmetro (Figura 4A), os quais foram pesados imediatamente após a coleta, para determinação da massa fresca (MF) - Figura 4B. Em seguida, o material foi colocado em recipientes contendo 20 mL de água destilada e mantidos em repouso durante a noite (overnight) - Figura 4C. Após esse período, o excesso de água foi removido com papel toalha e os discos foram pesados novamente, determinando-se assim a sua massa túrgida (MT). Para quantificar o valor da massa seca dos discos (MS), o material foi transferido para sacos de papel e acondicionados em estufa a 65 °C, por um período de 48 horas. Após esse processo, o conteúdo relativo de água foi calculado através da fórmula:

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

Figura 4 - Retirada de discos foliares (A). Pesagem da massa fresca dos discos (B). Material coletado mantido em repouso(C)



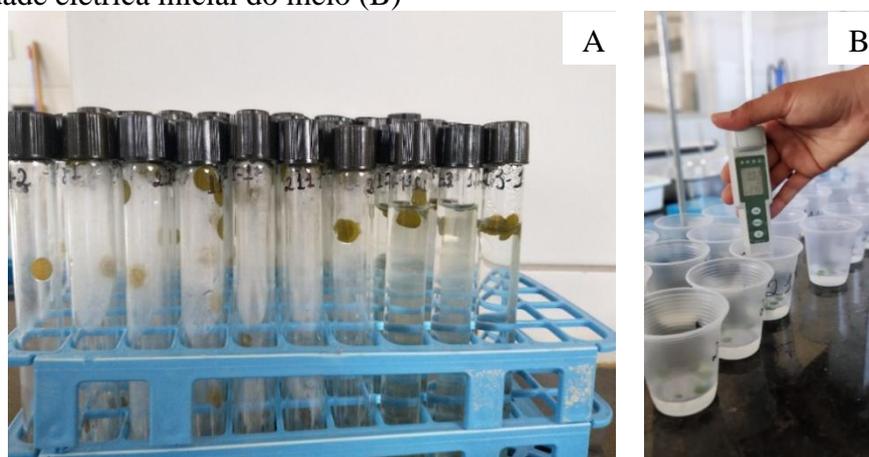
Fonte: Elaborada pela autora, 2024

No mesmo período, foi analisado o vazamento de eletrólitos (VE) nas folhas das plantas, de acordo com método proposto por Silva et al. (2011). Utilizou-se um perfurador de cobre para

obtenção de cinco discos foliares de 1 cm de diâmetro, os quais foram lavados e acondicionados em frascos, à temperatura de 25 °C, por 90 minutos (Figura 5A). Decorrido esse tempo, foi aferida a condutividade elétrica inicial do meio (X_i), usando condutivímetro portátil (Figura 5B). Posteriormente, os frascos foram submetidos à temperatura de 80 °C, por 90 minutos, em estufa de secagem e, após resfriamento do conteúdo, aferiu-se a condutividade elétrica final (X_f). O vazamento de eletrólitos foi determinado através da fórmula:

$$VE = \frac{X_i}{X_f} \times 100$$

Figura 5 - Discos foliares acondicionados em frascos, à temperatura de 25 °C (A). Aferição de condutividade elétrica inicial do meio (B)



Fonte: Elaborada pela autora, 2024.

4.4.3 Trocas gasosas

As trocas gasosas foram mensuradas aos 60 DAS, em folhas maduras, totalmente expandidas e expostas (Figura 6A), no período da manhã, com auxílio de um analisador de gás no infravermelho-IRGA, modelo CIRAS-3 (Figura 6B), com luz constante de 1.800 μmol de fótons $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$. As variáveis obtidas foram as seguintes: condutância estomática (g_s), taxa de assimilação de CO_2 (A), concentração interna de CO_2 (C_i) e transpiração (E). A partir destes dados, determinou-se a eficiência instantânea no uso da água (A/E).

Figura 6- Mensuração das trocas gasosas em folhas de maracujazeiro (A). Analisador de gás no infravermelho-IRGA, modelo CIRAS-3 (B)



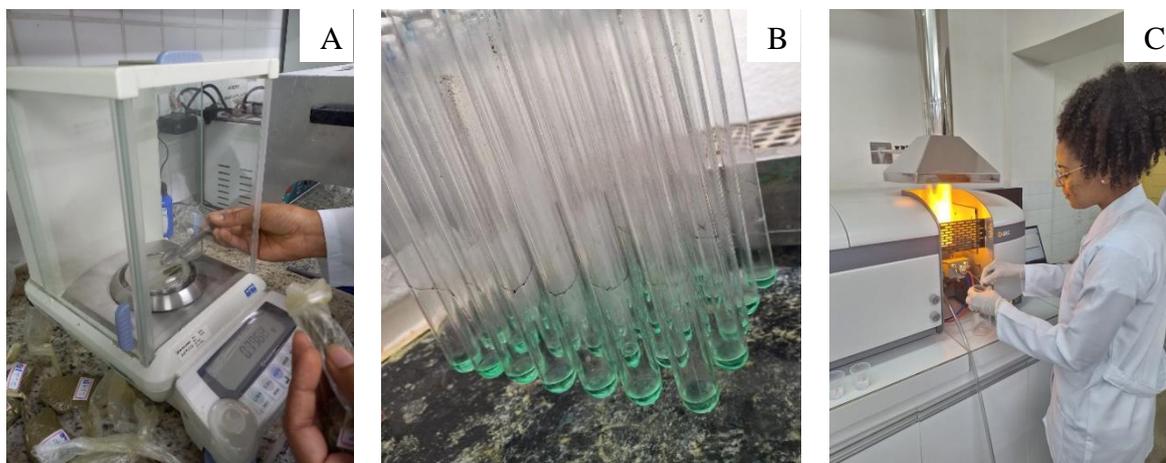
Fonte: Elaborada pela autora, 2024.

4.4.4 Nutrição mineral

Aos 60 DAS, as folhas das plantas foram coletadas e posteriormente lavadas com água destilada. Em seguida, foram postas para secagem em estufa (65 °C). Após massa constante, o material vegetal foi moído e analisado quimicamente, segundo metodologia citada por Tedesco et al. (1995) e Meneghetti (2018). Foram determinados as concentrações de carbono (C), nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), ferro (Fe), zinco (Zn), manganês (Mn) e silício (Si), no Laboratório de Solo da Universidade Estadual da Paraíba, Campus II (Figura 7).

Para a determinação de C, utilizou-se o método da oxidação do C das amostras por dicromato em meio ácido, com titulação do Cr+6 em excesso, o método apresentado é Walkley-Black. As amostras moídas foram submetidas à digestão sulfúrica, destilação e titulação kjeldahl para determinar os teores de N. Os teores de P, K, Ca, Mg, Zn, Mg e Fe foram determinados após digestão nítrico perclórica. O fósforo foi determinado pelo método espectrométrico com azul de molibdênio. O cálcio e o magnésio foram determinados pelo método espectrometria de absorção atômica. O potássio foi determinado pelo método de fotômetro de chama, para determinação de zinco, manganês e ferro, utilizou-se a espectrometria de absorção atômica.

Figura 7- Pesagem do material vegetal (A). Digestão sulfúrica do material vegetal (B). Análise no equipamento espectrometria de absorção atômica (C)



Fonte: Elaborada pela autora, 2024.

As análises de silício foram determinadas no Laboratório de Solos e Água, pertencente ao Centro de Ciências Humanas e Agrárias da Universidade Estadual da Paraíba, Campus IV. A análise de silício foliar consistiu da extração do Si por incineração do tecido vegetal dissolvido com a solução alcalina e determinado por espectrofotometria com azul-de-molibdênio a 660 nm (Bezerra Neto e Barreto, 2011).

4.5 Avaliação Estatística

Os dados obtidos foram submetidos ao teste de normalidade dos erros de Shapiro-Wilk e ao teste de homogeneidade das variâncias de Bartlett. Com as premissas atendidas, procedeu-se a análise de variância, pelo teste F ($p \leq 0,05$). As médias dos fatores “cultivares de maracujazeiro-amarelo” e “níveis de condutividade elétrica da água de irrigação” foram comparadas pelo teste F ($p \leq 0,05$), enquanto as médias do fator “métodos de aplicação de silício” foram comparadas por meio do teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Os procedimentos estatísticos foram realizados utilizando o programa R (R Core Team, 2020).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Crescimento e índice de qualidade de Dickson

Na Tabela 5, estão apresentados os resumos das análises de variância para as características relacionadas ao crescimento e à qualidade das mudas de maracujazeiro-amarelo submetidas a irrigação com água salinizada e suplementação com silício. Observou-se efeito significativo da interação entre cultivar, condutividade elétrica da água e modos de aplicação de silício para a altura da planta ($p \leq 0,01$). O diâmetro do caule e o comprimento da raiz foram afetados significativamente, apenas de forma isolada, pelos fatores cultivar, condutividade elétrica e modos de aplicação de silício ($p \leq 0,01$). Para a área foliar, houve efeito significativo da interação condutividade elétrica da água e modos de aplicação de silício ($p \leq 0,01$). Por fim, para o índice de qualidade de Dickson, houve significância das interações cultivar x modos de aplicação de silício e condutividade elétrica da água x modos de aplicação de silício ($p \leq 0,05$).

Tabela 5- Resumo das análises de variância para as variáveis altura da planta (AP), diâmetro do caule (DC), área foliar (AF), comprimento de raiz (CR) e índice de qualidade de Dickson (IQD) em mudas de maracujazeiro-amarelo, em função da combinação entre cultivares de maracujazeiro-amarelo, condutividades elétricas da água de irrigação e modos de aplicação de silício

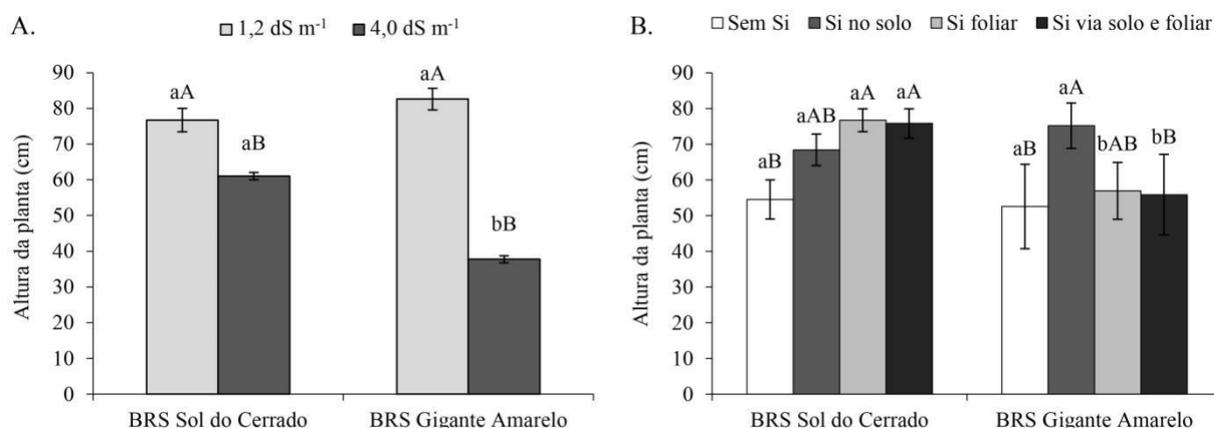
FV	GL	AP	DC	AF	CR	IDQ
Cul	1	1520,68 *	5,392 **	9503,518 ^{ns}	658,435 **	0,013 ^{ns}
CE	1	18294,898 **	22,440 **	6816,148 ^{ns}	654,425 **	0,034 *
Si	3	1201,556 **	2,190 **	1482785,42 **	52,041 **	0,007 ^{ns}
Cul x CE	1	4248,466 **	0,311 ^{ns}	31584,64 ^{ns}	1,417 ^{ns}	0,017 ^{ns}
Cul x Si	3	888,983 *	0,162 ^{ns}	70697,935 ^{ns}	6,724 ^{ns}	0,016 *
CE x Si	3	343,693 ^{ns}	0,748 ^{ns}	199124,785 **	8,506 ^{ns}	0,023 *
Cul x CE x Si	3	364,15 ^{ns}	0,421 ^{ns}	11944,336 ^{ns}	9,883 ^{ns}	0,007 ^{ns}
Resíduo	64	243,316	0,306	26722,101	9,835	0,005
CV (%)		24,17	15,68	16,61	12,23	31,76

Fonte: Elaborada pela autora, 2024. ^{ns} e ** e *: não significativo, significativo a 1% e 5% de probabilidade, pelo teste F, respectivamente. GL: grau de liberdade. FV: fonte de variação. Cul: cultivares de maracujazeiro-amarelo. CE: condutividade elétrica da água de irrigação. Si: formas de aplicação de silício. CV: coeficiente de variação.

A Figura 8A contém o desdobramento da interação entre os níveis de condutividade elétrica da água e as cultivares de maracujazeiro-amarelo para a variável altura da planta (AP). Observou-se que, no nível de CE de 1,2 dS m⁻¹, as médias de AP das duas cultivares não diferiram significativamente entre si. No entanto, no nível de CE de 4,0 dS m⁻¹, a cultivar BRS Sol do Cerrado apresentou maior média (61,05 cm), superando em 61,7% a altura das plantas da cultivar BRS Gigante Amarelo (37,76 cm).

Além disso, dentro de cada cultivar, as diferenças na AP em cada nível de condutividade elétrica foram notáveis. A cultivar BRS Sol do Cerrado teve redução de 20,4% na altura das plantas irrigadas com água de $CE = 4,0 \text{ dS m}^{-1}$, em comparação à CE de $1,2 \text{ dS m}^{-1}$, enquanto, na BRS Gigante Amarelo, a redução foi de 54,3% (Figura 8A). Isso evidencia uma maior tolerância da cultivar BRS Sol do Cerrado aos níveis de salinidade estudados em comparação com a BRS Gigante Amarelo.

Figura 8- Desdobramento das interações entre cultivares x condutividade elétrica da água (A) e cultivares x modos de aplicação de silício (B), sobre a altura de mudas de maracujazeiro-amarelo



Fonte: Elaborada pela autora, 2024. A - médias seguidas das mesmas letras minúsculas não diferem entre cultivares, e das mesmas letras maiúsculas não diferem entre níveis de condutividade elétrica, pelo teste F; B - médias seguidas das mesmas letras minúsculas não diferem entre cultivares, pelo teste F, e das mesmas letras maiúsculas não diferem entre modos de aplicação de Si, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Esses resultados estão em consonância com outros estudos, nos quais também foi observado que a salinidade da água de irrigação afetou negativamente a altura do maracujazeiro (Bezerra, 2016; Silva, 2021; Lima, 2023). Ademais, também corroboram com Torres (2022), que concluiu que a cultivar BRS Sol do Cerrado foi mais tolerante à água salinizada por Na^+ , Ca^{2+} , $\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+}$, e $\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$, em relação a outras cultivares, sendo moderadamente tolerante quando irrigada com águas salinizadas por Mg^{2+} .

Ao comparar as médias de altura de planta das cultivares dentro das diferentes aplicações de silício, observaram-se respostas distintas para cada modo de aplicação (Figura 8B). Nos modos S1 (sem Si) e S2 (Si no solo), as médias de AP das cultivares não diferiram significativamente entre si. Entretanto, nas outras aplicações, houve diferenças entre as médias, com maiores valores para a cultivar BRS Sol do Cerrado, nas aplicações S3 (Si foliar = 76,73 cm) e S4 (Si via solo e foliar = 75,84 cm). Esses valores foram superiores em 34,6% e 35,7%,

respectivamente, em relação às médias da AP nos mesmos modos de aplicação para a cultivar BRS Gigante Amarelo.

No desdobramento das formas de aplicação de silício dentro de cada cultivar (Figura 8B), verificou-se que, na BRS Sol do Cerrado, os modos S3 (Si foliar) e S4 (Si via solo e foliar) proporcionaram acréscimos na altura das plantas de 40,6% e 39,0%, respectivamente, em relação às plantas que não receberam aplicação de Si. Por outro lado, na cultivar BRS Gigante Amarelo, apenas a aplicação S2 (Si no solo) beneficiou a altura das plantas, com aumento de 42,9% em comparação a S1 (Sem Si).

Nota-se que a altura das plantas da cultivar BRS Sol do Cerrado foi beneficiada apenas quando houve aplicação de Si nas folhas, conforme verificado nas médias referentes aos modos S3 e S4, enquanto a AP da BRS Gigante Amarelo não respondeu à aplicação foliar (Figura 8B). Esses resultados indicam que o silício beneficia o maracujazeiro, mas a resposta a este elemento é influenciada por fatores como a cultivar e o modo de aplicação. Dutra et al. (2023) encontraram evidências semelhantes em cana-de-açúcar, observando que a efetividade das estratégias de aplicação de silício variou significativamente, dependendo tanto da variedade em questão quanto do método de aplicação selecionado. Costa et al. (2016) também relataram aumento na altura de planta com a aplicação de silício no solo, encontrando valor máximo (9,82 cm) na concentração de 0,28 g de silício por vaso.

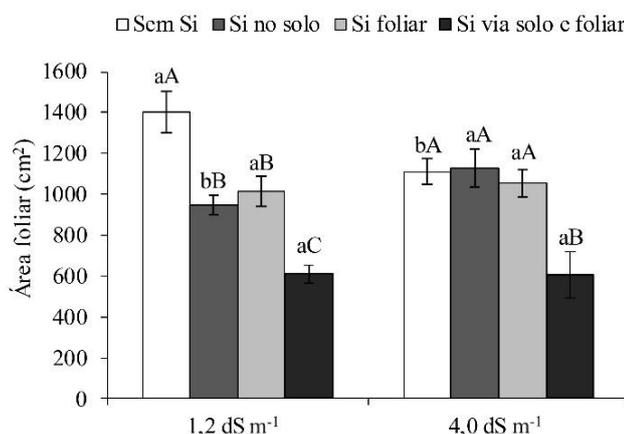
Para a variável diâmetro caulinar (DC), houve apenas efeito isolado dos fatores cultivar, condutividade elétrica e silício. A cultivar BRS Sol do Cerrado apresentou um DC de 3,79 mm, sendo superior em 15,9% em relação à média da cultivar BRS Gigante Amarelo, que foi de 3,27 mm. A irrigação com água de condutividade elétrica de 4,0 dS m⁻¹ causou reduções de 26,1% no DC do maracujazeiro, em relação às plantas regadas com água de CE de 1,2 dS m⁻¹, evidenciando a sensibilidade desta espécie à salinidade. A aplicação de silício, por sua vez, resultou em um aumento no diâmetro do caule das plantas, independentemente do método utilizado, com um acréscimo médio de 21,4% em comparação com as plantas que não receberam suplementação com este elemento. Esses resultados evidenciam que o silício pode proporcionar benefícios significativos no crescimento de mudas de maracujazeiro-amarelo, conforme também foi observado por Bezerra (2020).

A Figura 9 ilustra a interação entre a condutividade elétrica da água de irrigação e os modos de aplicação de silício na área foliar do maracujazeiro-amarelo. Verificou-se que, na CE de 1,2 dS m⁻¹, as plantas que não receberam aplicação de Si apresentaram maior área foliar. Nessa mesma CE, as plantas submetidas aos tratamentos S2, S3 e S4 tiveram reduções de 32,5%, 27,8% e 56,5%, respectivamente, em relação ao tratamento S1. Sob CE de 4,0 dS m⁻¹,

as aplicações S1, S2 e S3 não diferiram estatisticamente entre si e apresentaram maiores médias, enquanto o tratamento S4 resultou na menor área foliar. Esses dados indicam que o silício não beneficiou a área foliar do maracujazeiro nas duas condições de salinidade estudadas. Esses achados contrastam com os encontrados por Bezerra (2020), que observou maior área foliar em mudas de maracujazeiro sob estresse salino tratadas com silício.

No entanto, essa redução da área foliar pode ser vista como um mecanismo de adaptação da planta, sob condições de estresse, a elevada pressão osmótica na interface raiz-solo, promove uma diminuição no crescimento da parte aérea, com redução da expansão foliar (Taiz et al., 2017). Pode também ser vista como um mecanismo de defesa, pois diminui a perda de água por evapotranspiração em condições ambientais adversas. Essa ação está ligada às trocas gasosas, especialmente ao processo de absorção de CO₂ e perda de água, visando o ajuste osmótico (Campos de Sá et al., 2023). Nobre et al. (2024) observaram uma leve redução na área foliar de mudas de maracujazeiro irrigadas com águas salobras sob aplicação de ácido salicílico, e relacionaram essa diminuição da área foliar com trocas gasosas, sendo um fator crucial na realização da fotossíntese.

Figura 9- Desdobramento da interação entre condutividade elétrica da água x modos de aplicação de silício, sobre a área foliar de mudas de maracujazeiro-amarelo



Fonte: Elaborada pela autora, 2024. Médias seguidas das mesmas letras minúsculas não diferem entre condutividade elétrica, pelo teste F; e das mesmas letras maiúsculas não diferem entre modos de aplicação de Si, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

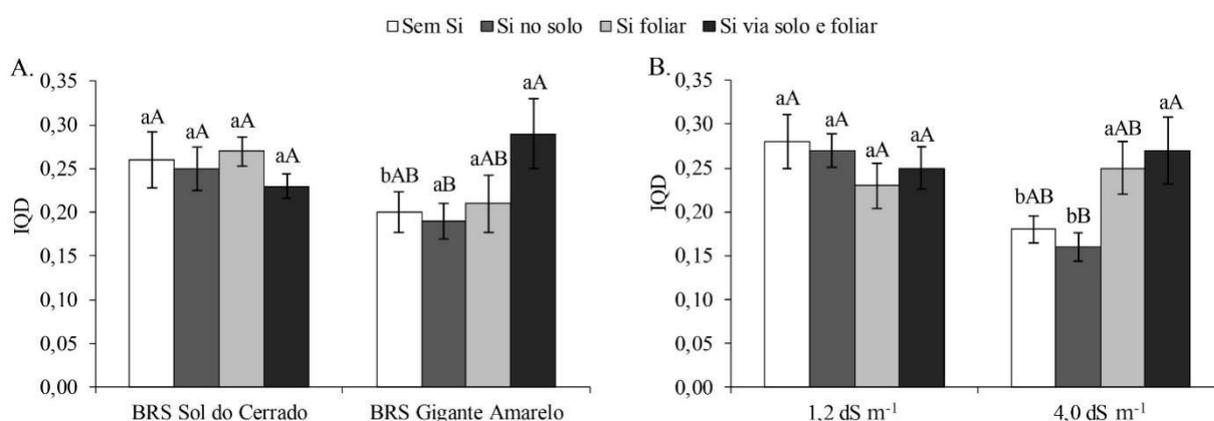
Para o comprimento de raiz, houve apenas efeito isolado dos fatores cultivar, condutividade elétrica da água e aplicação de silício. Em relação ao fator cultivar, a BRS Gigante Amarelo teve um comprimento de raiz de 28,5 cm, mais elevado do que o da BRS Sol do Cerrado (22,8 cm). Segundo Linhares (2019), quanto maior o comprimento e a quantidade de raízes, maiores são as chances de uma planta absorver os nutrientes e a água necessários para

o seu crescimento e desenvolvimento, especialmente em ambientes com restrição desses elementos. Todavia, no presente estudo, há evidências de maior tolerância da Cultivar BRS Sol do Cerrado às condições estudadas.

Quanto à condutividade elétrica, as plantas irrigadas com água de CE igual a $4,0 \text{ dS m}^{-1}$ tiveram uma redução de 18,6% no comprimento da raiz, em comparação com as regadas com água de CE de $1,2 \text{ dS m}^{-1}$. Para o fator silício, constatou-se que apenas a aplicação combinada desse elemento (via solo e foliar) proporcionou aumento no comprimento da raiz das plantas, superando em 13,8% aquelas que não receberam adubação silicatada.

Em relação ao índice de qualidade de Dickson (IQD), os desdobramentos das interações entre Cul x Si e CE x Si estão apresentados na Figura 10. Observou-se que, sem aplicação de silício, a cultivar BRS Sol do Cerrado apresentou melhor IQD (0,26) do que a BRS Gigante Amarelo (0,20), porém não houve diferença entre as cultivares nos demais métodos de aplicação de Si (Figura 10A). Ao avaliar a aplicação de silício em cada cultivar, verificou-se que não houve diferença entre as formas de aplicação no IQD da BRS Sol do Cerrado. Por outro lado, na BRS Gigante Amarelo, a combinação de silício no solo e nas folhas resultou em um aumento no IQD das mudas, que apresentou média de 0,29, superando em 45% as plantas sem aplicação do elemento. É importante destacar que, mesmo com as médias mais baixas observadas, mudas com um IQD maior que 0,20 são consideradas de boa qualidade, conforme sugerido por Dickson et al. (1960).

Figura 10- Desdobramento das interações entre cultivares de maracujá x modos de aplicação de silício (A) e condutividade elétrica da água x modos de aplicação de silício (B), sobre o Índice de Qualidade de Dickson (IQD) em mudas de maracujazeiro-amarelo



Fonte: Elaborada pela autora, 2024. A - Médias seguidas das mesmas letras minúsculas não diferem entre cultivares, pelo teste F, e das mesmas letras maiúsculas não diferem entre modos de aplicação, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$); B - Médias seguidas das mesmas letras minúsculas não diferem entre níveis de condutividade elétrica, pelo teste F, e das mesmas letras maiúsculas não diferem entre modos de aplicação de Si, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Em relação à interação CE x Si para o IQD (Figura 10B), verificou-se, sob irrigação com água de CE igual a $1,2 \text{ dS m}^{-1}$, os modos de aplicação de silício não exerceram efeito significativo nessa variável. No entanto, as plantas submetidas à salinidade elevada ($4,0 \text{ dS m}^{-1}$) apresentaram benefícios com a aplicação de silício. Quando esse elemento foi aplicado via foliar, assim como via solo e foliar, o IQD do maracujazeiro sob salinidade aumentou em 38,9% e 50%, respectivamente, em comparação com as plantas que não receberam silício. Esses resultados são fortes evidências de que o silício é um elemento mitigador de estresses, mostrando-se mais eficiente em plantas submetidas a alta salinidade do que em plantas irrigadas com água com teores mais baixos de sais.

As maiores médias do IQD indicam que as mudas apresentaram uma maior proporção de massa seca de raiz em relação à massa seca da parte aérea, além de um maior diâmetro do caule em relação à altura, sugerindo que possuem uma maior capacidade de tolerância ao estresse do transplante (Fagundes, 2023). Diniz et al. (2020), em um estudo avaliando a fitomassa e a qualidade de mudas de maracujá-amarelo sob estresse salino e adubação silicatada, verificaram que, embora o IQD tenha reduzido com o aumento da salinidade da água, as mudas de maracujazeiro submetidas à CE de $3,1 \text{ dS m}^{-1}$ apresentaram um bom IQD.

5.2 Acúmulo de biomassa e status celular

Os resumos das análises de variância das variáveis relacionadas ao acúmulo de biomassa ao status celular das cultivares de maracujazeiro-amarelo submetidas a salinidade e métodos de aplicação de silício estão apresentados na Tabela 6. Observou-se que houve efeito significativo da interação entre cultivar, condutividade elétrica da água de irrigação e modos de aplicação de silício nas variáveis massa seca da parte aérea, massa seca total e vazamento de eletrólitos. Para a massa seca da raiz, houve significância da interação entre condutividade elétrica da água e modos de aplicação de silício. A relação raiz/parte aérea e o conteúdo relativo de água foram afetados pela interação entre cultivares e modos de aplicação de silício.

Tabela 6- Resumo das análises de variância para as variáveis massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca das raízes (MSR), massa seca total (MST), relação raiz parte aérea (RRPA), vazamento de eletrólitos (VE) e conteúdo relativo de água (CRA) em mudas de maracujazeiro-amarelo, em função da combinação entre cultivares de maracujá, condutividades elétricas da água de irrigação e modos aplicação de silício

FV	GL	MSPA	MSR	MST	RRPA	VE	CRA
Cul	1	23,653 **	0,239 *	28,68 **	0,002 *	2247,730 **	636,474 *
CE	1	84,132 **	0,760 **	101,115 **	0,006 **	6028,260 **	3672,456 **
Si	3	1,275 ns	0,046 ns	1,486 ns	0,002 **	9,736 ns	264,440 ns
Cul x CE	1	1,884 ns	0,036 ns	2,464 ns	0,000 ns	208,496 **	120,123 ns
Cul x Si	3	6,663 **	0,066 ns	7,655 **	0,003 **	123,955 **	414,890 *
CE x Si	3	2,946 ns	0,139 *	4,367 *	0,000 ns	190,078 **	165,727 ns
Cul x CE x Si	3	3,611 *	0,050 ns	4,456 *	0,001 ns	440,737 **	218,222 ns
Resíduo	64	1,161	0,0359	1,523	0,000	28,296	105,708
CV (%)		20,97	26,435	21,09	15,18	18,71	12,79

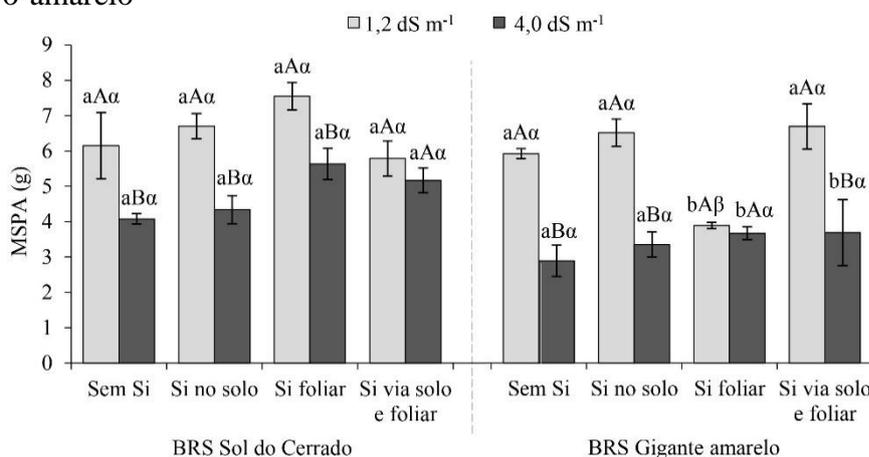
Fonte: Elaborada pela autora, 2024. ns e ** e *: não significativo, significativo a 1% e 5% de probabilidade, pelo teste F, respectivamente. GL: grau de liberdade. FV: fonte de variação. Cul: cultivares de maracujazeiro-amarelo. CE: condutividade elétrica da água de irrigação. Si: formas de aplicação de silício. CV: coeficiente de variação.

A Figura 11 contém o desdobramento da interação Cul x CE x Si sobre a massa seca da parte aérea (MSPA) das mudas de maracujazeiro-amarelo. Para a cultivar BRS Sol do Cerrado, nenhum dos modos de aplicação de silício proporcionou benefícios na MSPA, em nenhum dos dois níveis de condutividade elétrica avaliados, pois não houve diferenças significativas entre as médias. Na BRS Gigante Amarelo, quando submetida ao estresse salino (CE = 4,0 dS m⁻¹), não houve benefícios das formas de aplicação de silício na MSPA; e, quando regada com água de CE de 1,2 dS m⁻¹, essa variável apresentou uma redução de 34,3% com a aplicação de silício via foliar, em comparação com as plantas sem adubação silicatada. Isso sugere que a aplicação de silício tem um efeito mais variável na BRS Gigante Amarelo.

Um ponto importante a ser ressaltado é a maior tolerância da cultivar BRS Sol do Cerrado ao estresse salino aplicado, em relação à BRS Gigante Amarelo, conforme observado na MSPA das plantas que não receberam aplicação de silício (Figura 11). Para a BRS Sol do Cerrado, a salinidade causou uma redução de 33,6% na MSPA, enquanto para a BRS Gigante Amarelo, a salinidade resultou em uma diminuição mais expressiva na variável, que foi de 51,2%, em comparação com as plantas irrigadas com água com menor teor de sais. Sob condições de alta salinidade, é natural que haja redução da biomassa das plantas devido ao estresse osmótico, que provoca distúrbios fisiológicos e diminui a capacidade de absorção de água e nutrientes, resultando em um crescimento reduzido (Pereira et al., 2024). No entanto, é

desejável que as plantas apresentem reduções menos expressivas para serem consideradas mais tolerantes ao estresse.

Figura 11- Desdobramento da interação entre cultivares x condutividade elétrica da água x modos de aplicação de silício, sobre a massa seca da parte aérea (MSPA) de mudas de maracujazeiro-amarelo



Fonte: Elaborada pela autora, 2024. Médias seguidas das mesmas letras minúsculas não diferem entre cultivares, e das mesmas letras maiúsculas não diferem entre níveis de condutividade elétrica da água, pelo teste F; e médias seguidas das mesmas letras gregas não diferem entre modos de aplicação de Si, pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$).

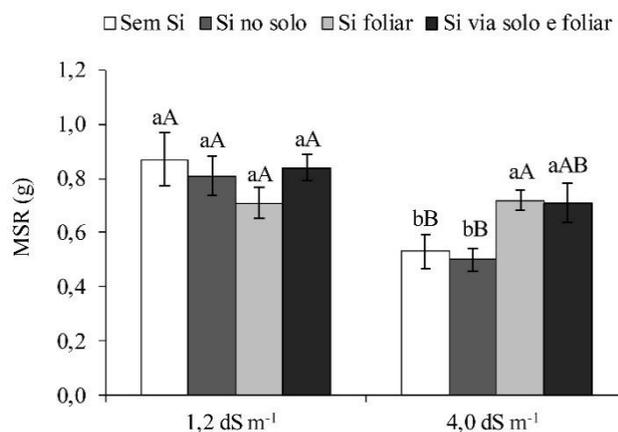
Esses resultados foram semelhantes aos encontrados por Diniz et al. (2020), que observaram que a fitomassa da parte aérea das plantas de maracujá foi afetada negativamente pela salinidade da água com CE de 3,1 dS m⁻¹, resultando em decréscimos, em comparação com aquelas cultivadas sob 0,3 dS m⁻¹. Todavia, os resultados divergiram dos achados de Souza et al. (2020), que relataram que a aplicação de silicato de cálcio, na dose de 3,5 g por planta, atenuou o estresse salino na produção de biomassa em mudas de maracujá amarelo cv. BRS Gigante Amarelo, quando irrigadas com água de até 4,0 dS m⁻¹.

Para a massa seca das raízes (MSR), o desdobramento da interação CE x Si está apresentado na Figura 12, onde podem ser observados os benefícios significativos da aplicação de silício na mitigação do estresse salino. Nas plantas sob baixa salinidade (1,2 dS m⁻¹), não houve efeito da aplicação do silício na MSR. No entanto, nas plantas sob salinidade elevada (4,0 dS m⁻¹), a aplicação de Si via foliar proporcionou um aumento de 35,8% na MSR, em comparação às plantas que não receberam o elemento. Ressaltando esse ponto, verificou-se que, enquanto as MSRs nos tratamentos S1 e S2 tiveram reduções de 39,0% e 38,2%, respectivamente, com o estresse salino em relação às plantas sob baixa salinidade, as MSRs sob S3 e S4 não apresentaram diferenças entre os níveis de condutividade elétrica da água. Esse efeito positivo do Si pode ser atribuído à sua capacidade de se depositar nas paredes celulares

das raízes, fortalecendo sua estrutura, reduzindo a absorção de íons prejudiciais e melhorando a capacidade osmótica das células (Sá et al., 2021; Singh et al., 2023).

Em estudo com maracujazeiro-amarelo, Diniz et al. (2020) observaram uma redução linear na massa seca de raízes das plantas à medida que aumentou o nível da salinidade da água de irrigação. Entretanto, Sá et al. (2021), em trabalho com maracujazeiro-amarelo submetido a salinidade e concentrações de silício, relataram que, embora os níveis de SiO_2 não tenham exercido controle total do estresse salino sobre a MSR das plantas, a presença de SiO_2 resultou em uma redução menos acentuada dessa variável em concentrações salinas mais elevadas, de 30 e 60 mmol L^{-1} de NaCl.

Figura 12- Desdobramento da interação entre condutividade elétrica da água x modos de aplicação de silício, sobre a massa seca das raízes de mudas de maracujazeiro-amarelo



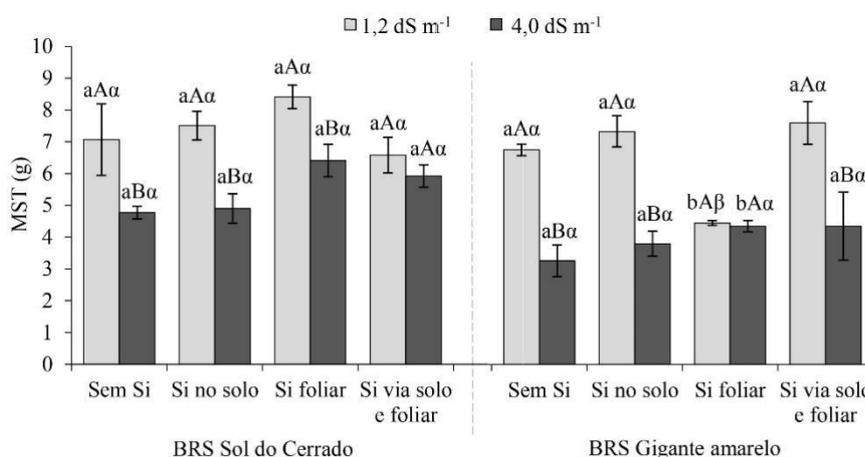
Fonte: Elaborada pela autora, 2024. Médias seguidas das mesmas letras minúsculas não diferem entre níveis de condutividade elétrica, pelo teste F; e das mesmas letras maiúsculas não diferem entre modos de aplicação de Si, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

No desdobramento da interação Cul x CE x Si para a massa seca total das plantas (Figura 13), foi observado que, sob CE 1,2 dS m^{-1} , as médias das cultivares nas aplicações S1 e S2 e S4, não apresentaram diferenças significativas. No entanto, na aplicação S3, a BRS Gigante Amarelo obteve menor média. Sob CE de 4,0 dS m^{-1} , também não houve diferenças entre as cultivares em cada forma de aplicação de silício. Isso sugere que as diferentes aplicações de silício não causaram variação significativa na massa seca total das plantas. Ademais, a aplicação S3 pode ser particularmente menos eficaz para a BRS Gigante Amarelo, em ambas as condições de condutividade elétrica.

De acordo com Bezerra (2020), a redução na massa seca total das mudas de maracujazeiro é uma resposta típica nas plantas que não são tolerantes à salinidade. No entanto, no presente estudo, a MST das plantas evidenciou maior tolerância da cultivar BRS Sol do

Cerrado à salinidade em comparação com a BRS Gigante Amarelo. Ao comparar as duas condutividades nas plantas sem aplicação de silício, verificou-se que a cultivar BRS Sol do Cerrado apresentou uma redução de 32,5% na MST sob condições de estresse salino ($CE = 4,0 \text{ dS m}^{-1}$), enquanto a BRS Gigante Amarelo teve uma redução mais acentuada, de 51,7%, em comparação com as plantas irrigadas com água de CE igual a $1,2 \text{ dS m}^{-1}$ (Figura 16).

Figura 13- Desdobramento da interação entre cultivares x condutividade elétrica da água x modos de aplicação de silício, sobre a massa seca total (MST) de mudas de maracujazeiro-amarelo



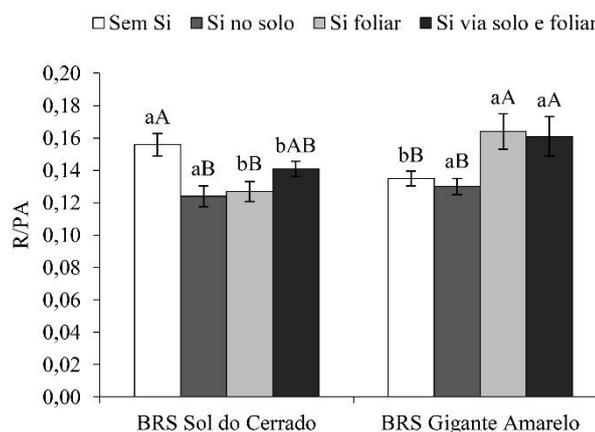
Fonte: Elaborada pela autora, 2024. Médias seguidas das mesmas letras minúsculas não diferem entre cultivares, e das mesmas letras maiúsculas não diferem entre níveis de condutividade elétrica da água, pelo teste F; e médias seguidas das mesmas letras gregas não diferem entre modos de aplicação de Si, pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$).

Souza et al. (2020) encontraram efeitos benéficos do silício em mudas de maracujazeiro-amarelo sob estresse salino, porém utilizando uma fonte diferente de silício: o silicato de cálcio. Esses autores constataram que o uso de água com salinidade de $4,0 \text{ dS m}^{-1}$ restringiu o crescimento inicial e o acúmulo de biomassa das mudas de maracujazeiro. No entanto, a aplicação de silicato de cálcio na dose média de $3,5 \text{ g}$ por planta atenuou o estresse salino na cultivar BRS Gigante Amarelo.

Na Figura 14, é apresentado o desdobramento da interação entre Cul x Si na relação raiz/parte aérea das plantas. Observou-se que, na cultivar BRS Gigante Amarelo, as aplicações S3 e S4 causaram aumentos de 21,5% e 19,3% na R/PA, respectivamente, em comparação com S1. Isso possivelmente ocorreu devido a um maior direcionamento de fotoassimilados para o sistema radicular, promovendo maior crescimento das raízes em relação à parte aérea. Esse fenômeno pode ocorrer em plantas sob condições de estresse para maximizar a busca por água e nutrientes em ambientes adversos (Cruz et al., 2006). Diniz et al (2020) também observaram que a adubação silicatada resultou em maior relação raiz/parte aérea em mudas de BRS Gigante Amarelo. Na cultivar BRS Sol do Cerrado, por outro lado, houve reduções de 20,5% e 18,6%

na R/PA, nos modos de aplicação S2 e S3, respectivamente, em relação a S1. Isso indica que houve maior concentração de recursos para expansão da biomassa da parte aérea em detrimento das raízes.

Figura 14- Desdobramento da interação entre cultivares x modos de aplicação de silício, sobre a relação raiz/parte aérea (R/PA) de mudas de maracujazeiro-amarelo

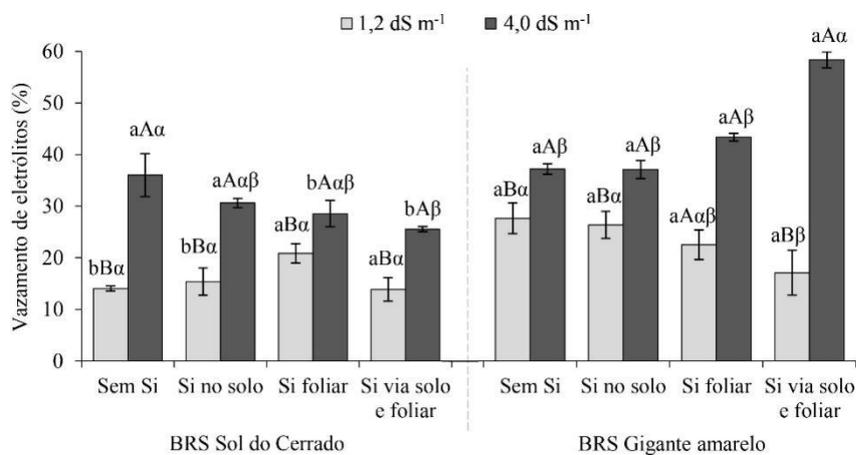


Fonte: Elaborada pela autora, 2024. Médias seguidas das mesmas letras minúsculas não diferem entre cultivares, pelo teste F; e das mesmas letras maiúsculas não diferem entre modos de aplicação, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

O vazamento de eletrólitos (VE) é um parâmetro de fundamental importância no estudo da adubação silicatada em plantas, pois está relacionado à integridade da membrana celular, que pode ser diretamente influenciada pela aplicação de silício (Sheng e Chen, 2020; Singh et al., 2023). A Figura 15 ilustra o desdobramento da interação entre Cul x CE x Si sobre o vazamento de eletrólitos no maracujazeiro-amarelo. Observou-se que, na cultivar BRS Sol do Cerrado, a elevada salinidade ($CE = 4,0 \text{ dS m}^{-1}$) causou um aumento de 22% no VE, em comparação com as plantas irrigadas com água de salinidade mais baixa ($1,2 \text{ dS m}^{-1}$). Lima et al. (2023a), estudando a tolerância ao estresse salino nas cultivares de maracujá BRS GA1, BRS SC1 e SCS437, também observaram que a salinidade aumentou o VE na lâmina foliar das plantas.

Esse aumento no vazamento de eletrólitos nas folhas indica uma redução da integridade da membrana celular, que pode estar relacionada ao estresse osmótico causado pelo excesso de sais, o qual provoca a superprodução de espécies reativas de oxigênio, resultando em danos à membrana (Lima et al., 2023a). Além disso, em condições de alta salinidade, pode ocorrer redução na absorção de cálcio pelas plantas, elemento essencial para a estruturação das paredes celulares e a estabilidade das membranas (Cruz et al., 2006).

Figura 15- Desdobramento da interação entre cultivares x condutividade elétrica da água x modos de aplicação de silício, sobre o vazamento de eletrólitos em mudas de maracujazeiro-amarelo



Fonte: Elaborada pela autora, 2024. Médias seguidas das mesmas letras minúsculas não diferem entre cultivares, e das mesmas letras maiúsculas não diferem entre níveis de condutividade elétrica da água, pelo teste F; e médias seguidas das mesmas letras gregas não diferem entre modos de aplicação de Si, pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$).

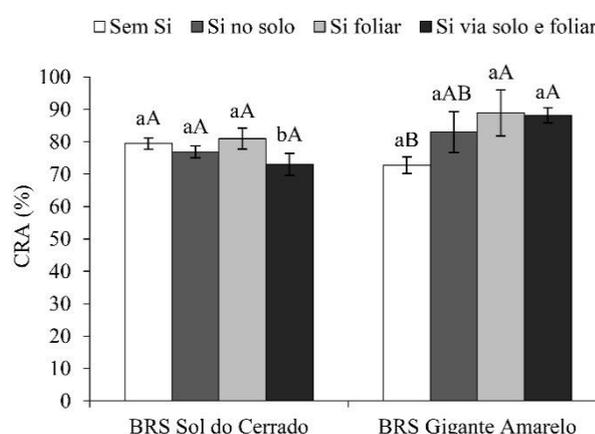
Em contrapartida, ao se compararem os modos de aplicação de silício na cultivar BRS Sol do Cerrado irrigada com água de CE de 4,0 dSm⁻¹, verifica-se que possivelmente houve benefícios causados pelo silício na membrana celular (Figura 15). Essa cultivar, quando submetida a estresse salino e aplicação de silício via solo + foliar, teve redução de 10,5% no vazamento de eletrólitos, em comparação com as plantas sob estresse e sem aplicação de silício. Isso indica que houve um fortalecimento da membrana celular, resultando em uma menor perda de eletrólitos intracelulares. Esse fato ocorre porque o silício forma ligações com componentes como carboidratos, hemiceluloses, pectina, lignina e compostos fenólicos presentes nas células das plantas, o que fortalece suas membranas, conferindo maior tolerância a estresses abióticos (Sheng e Chen, 2020; Singh et al., 2023).

Com relação à cultivar BRS Gigante Amarelo, houve apenas benefícios da aplicação de silício no VE quando as plantas foram irrigadas com água de menor salinidade. Sob CE de 1,2 dS m⁻¹, o vazamento de eletrólitos nessa cultivar teve uma redução de 10,5% com a aplicação de silício via solo + foliar, em comparação com as plantas que não receberam silício (Figura 15). No entanto, quando irrigada com água de CE igual a 4,0 dS m⁻¹, a BRS Gigante Amarelo apresentou um aumento de 21,2% no vazamento de eletrólitos em relação às plantas sem aplicação desse elemento. Isso é mais um indicativo de que os efeitos do silício podem ser genótipo-dependentes.

Para o conteúdo relativo de água (CRA), ao se desdobrar a interação entre cultivares e aplicações de silício (Figura 16), observou-se que a cultivar BRS Sol do Cerrado não apresentou

alterações significativas nessa variável em resposta aos modos de aplicação de silício. Por outro lado, a BRS Gigante Amarelo respondeu positivamente ao silício, quando este foi aplicado via foliar e de forma combinada (via solo + foliar). Especificamente, nessa cultivar, essas duas formas de aplicação resultaram em acréscimos de 16,2% e 15,4% no CRA nas folhas, respectivamente, em comparação com as plantas que não receberam silício. Isso indica que o silício pode desempenhar um papel crucial na otimização da retenção de água na cultivar BRS Gigante Amarelo, possivelmente através da melhoria da integridade estrutural das células foliares e da redução da perda de água por transpiração (Souri et al., 2021; Singh et al., 2023).

Figura 16- Desdobramento da interação entre cultivares x modos de aplicação de silício, sobre o conteúdo relativo de água (CRA) de mudas de maracujazeiro-amarelo



Fonte: Elaborada pela autora, 2024. Médias seguidas das mesmas letras minúsculas não diferem entre cultivares, pelo teste F; e das mesmas letras maiúsculas não diferem entre modos de aplicação, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

5.3 Trocas gasosas

De acordo com o resumo das análises de variância das variáveis relacionadas às trocas gasosas (Tabela 7), verificou-se que, para a condutância estomática, houve interação significativa tanto entre as cultivares e a condutividade elétrica, quanto entre a condutividade elétrica e as formas de aplicação silício. A taxa de assimilação de CO_2 foi significativamente influenciada pela interação entre condutividade elétrica da água de irrigação e formas de aplicação de silício. Para a concentração interna de CO_2 , verificou-se efeito isolado dos fatores cultivar e condutividade elétrica. No que diz respeito à transpiração foliar, observou-se efeito isolado de cada um dos três fatores estudados. Por fim, para a eficiência instantânea no uso da água, houve efeitos significativos da interação entre as cultivares e o silício, assim como da interação entre as condutividades elétricas e o silício.

Tabela 7- Resumo das análises de variância para as variáveis condutância estomática (g_s), taxa de assimilação de CO (A), transpiração (E), concentração interna de CO₂ (C_i) e eficiência instantânea no uso da água (A/E) em mudas de maracujazeiro-amarelo, em função da combinação entre cultivares de maracujazeiro-amarelo, condutividades elétricas da água de irrigação e modos aplicação de silício

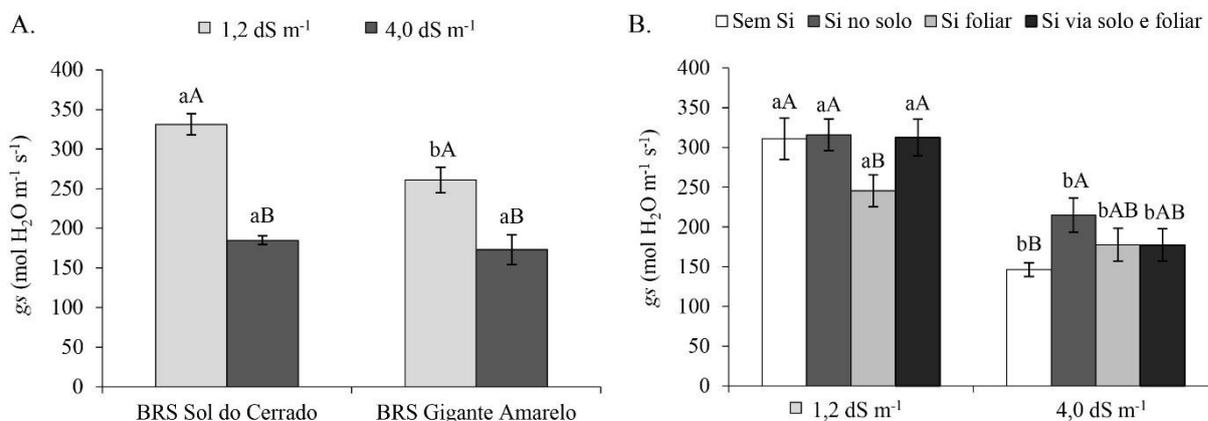
FV	GL	g_s	A	C_i	E	A/E
Cul	1	33683,169 **	2,035 ^{ns}	17477,054 **	7,387 **	1,821 **
CE	1	275131,844 **	219,585 **	21530,578 **	65,467 **	1,060 **
Si	3	10566,661 *	23,536 **	443,401 ^{ns}	5,379 **	0,197 *
Cul x CE	1	17066,234 *	0,002 ^{ns}	95,834 ^{ns}	2,816 ^{ns}	0,120 ^{ns}
Cul x Si	3	4071,072 ^{ns}	7,866 ^{ns}	476,533 ^{ns}	1,927 ^{ns}	0,433 **
CE x Si	3	8806,056 *	18,417 *	496,222 ^{ns}	0,530 ^{ns}	0,270 **
Cul x CE x Si	3	6999,592 ^{ns}	10,658 ^{ns}	576,549 ^{ns}	2,039 ^{ns}	0,044 ^{ns}
Resíduo	64	3077,395	5,350	340,19	0,963	0,052
CV (%)		23,35	13,27	9,39	14,72	8,60

Fonte: Elaborada pela autora, 2024. ns e ** e *: não significativo, significativo a 1% e 5% de probabilidade, pelo teste F, respectivamente. GL: grau de liberdade. FV: fonte de variação. Cul: cultivares de maracujazeiro-amarelo. CE: condutividade elétrica da água de irrigação. Si: formas de aplicação de silício. CV: coeficiente de variação.

Ao se avaliar a interação entre Cul x CE para a condutância estomática (g_s), observou-se que ambas as cultivares apresentaram redução nesse parâmetro com o aumento da salinidade da água de irrigação (Figura 17A). As reduções na g_s foram de 44,2% na cultivar BRS Sol do Cerrado e de 33,7% na BRS Gigante Amarelo, quando a condutividade elétrica aumentou de 1,2 dS m⁻¹ para 4,0 dS m⁻¹.

Esses resultados indicam que a salinidade mais alta afeta a condutância estomática em ambas as cultivares. Em condições de estresse salino, um dos efeitos primários nas plantas é a desidratação celular, que induz a acumulação de ácido abscísico, resultando em fechamento estomático e, conseqüentemente, em redução da condutância estomática e da entrada de CO₂ nas folhas (Taiz et al., 2017). Lima et al. (2023a), ao avaliarem os efeitos da salinidade em maracujazeiro, também observaram que a condutância estomática das plantas diminuiu com o aumento da salinidade da água. Em outro estudo, Lima et al. (2021) relataram que, em plantas sob estresse moderado, uma pequena diminuição na condutância estomática pode até ter efeitos protetores, melhorando a eficiência do uso da água.

Figura 17- Desdobramento das interações entre cultivares x condutividade elétrica da água (A) e condutividade elétrica da água x modos de aplicação de silício (B), sobre a condutância estomática (g_s) em mudas de maracujazeiro-amarelo



Fonte: Elaborada pela autora, 2024. A - médias seguidas das mesmas letras minúsculas não diferem entre cultivares, e das mesmas letras maiúsculas não diferem entre níveis de condutividade elétrica, pelo teste F; B - médias seguidas das mesmas letras minúsculas não diferem entre níveis de condutividade elétrica, pelo teste F, e das mesmas letras maiúsculas não diferem entre modos de aplicação de Si, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

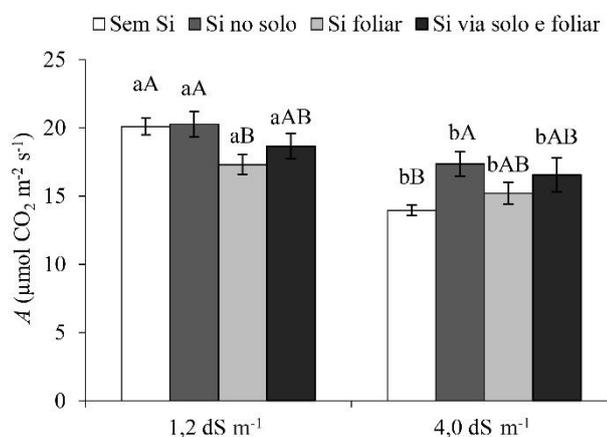
Quanto à interação entre CE x Si para a condutância estomática (Figura 17B), observou-se que, nas plantas submetidas à condutividade elétrica de $1,2 \text{ dS } m^{-1}$, a aplicação foliar de silício resultou em uma redução na g_s . No entanto, sob condições de estresse salino (CE de $4,0 \text{ dS } m^{-1}$), a aplicação de silício diretamente no solo aumentou significativamente a condutância estomática, com um acréscimo de 47% em comparação com as plantas que não receberam o elemento. Esses achados reforçam a importância do silício como elemento mitigador de estresses, especialmente sob condições de alta salinidade. O Si pode atuar melhorando a tolerância das plantas ao estresse salino, possivelmente através de mecanismos como a estabilização das membranas celulares, a regulação osmótica e a modulação da atividade enzimática antioxidante (Farouk et al., 2020; Sheng e Chen, 2020; Muhammad et al., 2022; Singh et al., 2023).

No trabalho de Diniz et al. (2021), com a cultivar BRS Gigante Amarelo sob estresse salino e aplicação de silício, constatou-se que esse nutriente ajudou a reduzir o potencial osmótico nos tecidos foliares. Essa redução permite que as plantas mantenham um gradiente hídrico mais favorável, facilitando a absorção de água do solo. Como resultado, pode haver menor desidratação celular, o que diminui a necessidade de fechamento estomático e mantém a condutância estomática em níveis mais elevados, favorecendo o fluxo de CO_2 para o interior das folhas.

Em relação à taxa de assimilação de CO_2 (A), ao se avaliar a interação entre CE x Si (Figura 18), verificou-se um comportamento semelhante ao encontrado para a condutância

estomática, o que evidencia a importância da condutância estomática para a manutenção do fluxo de CO_2 necessário para a fotossíntese. Sob irrigação com água de condutividade elétrica de $4,0 \text{ dS m}^{-1}$, as plantas tiveram inibição da assimilação de CO_2 em comparação com aquelas irrigadas com água de CE de $1,2 \text{ dS m}^{-1}$. No entanto, sob condições de estresse salino, a aplicação de silício via solo reduziu os efeitos negativos dos sais na *A*. Com essa forma de aplicação, a *A* nas plantas sob elevada salinidade teve acréscimo de 24,3% em relação à *A* das plantas sob salino e que não receberam o silício.

Figura 18- Desdobramento da interação entre condutividade elétrica da água x modos de aplicação de silício, sobre a taxa de assimilação de CO_2 (*A*) em mudas de maracujazeiro-amarelo



Fonte: Elaborada pela autora, 2024. Médias seguidas das mesmas letras minúsculas não diferem entre níveis de condutividade elétrica, pelo teste F, e das mesmas letras maiúsculas não diferem entre modos de aplicação de Si, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Segundo Khan et al. (2019), a aplicação de Si melhora a maquinaria fotossintética das plantas sob estresse salino, seja reduzindo a toxicidade iônica e o acúmulo de espécies reativas de oxigênio para manter a estrutura e função das organelas responsáveis pela fotossíntese, ou aumentando a condutância estomática, a taxa de transpiração e o número e tamanho dos estômatos. Bezerra (2020) também encontrou resultados que confirmam os efeitos do silício na atenuação de fatores abióticos, como a salinidade. Em seu experimento, esse autor observou um aumento na taxa de assimilação líquida de CO_2 , aos 75 dias após a emergência, em mudas de maracujazeiro-amarelo que receberam silício na dose de $194,5 \text{ mg dm}^{-3}$, sob salinidade da água de irrigação de $0,3 \text{ dS m}^{-1}$.

Quanto à concentração interna de CO_2 nas folhas (*C_i*), verificou-se que a cultivar BRS Sol do Cerrado apresentou uma média de $211 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, superando em 16,5% o valor registrado na BRS Gigante Amarelo, que foi de $181 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Isso sugere que, na cultivar BRS Sol do Cerrado, uma maior quantidade de CO_2 penetrou nas folhas devido a razões

estomáticas, resultando numa maior disponibilidade desse gás para ser utilizado na fotossíntese. Esta interpretação é corroborada pela Figura 17, em que está ilustrado que a condutância estomática da cultivar BRS Sol do Cerrado, em condições de menor salinidade, foi superior à da BRS Gigante Amarelo.

Em relação aos níveis de condutividade elétrica da água de irrigação, verificou-se que as plantas irrigadas com água de condutividade elétrica de $4,0 \text{ dS m}^{-1}$ tiveram redução de 15,6% na C_i em comparação com as plantas submetidas à condutividade elétrica de $1,2 \text{ dS m}^{-1}$. Esses resultados foram semelhantes aos encontrados por Lima et al. (2021), que também observaram que a irrigação com água salinizada reduziu a concentração intercelular de CO_2 em maracujazeiro.

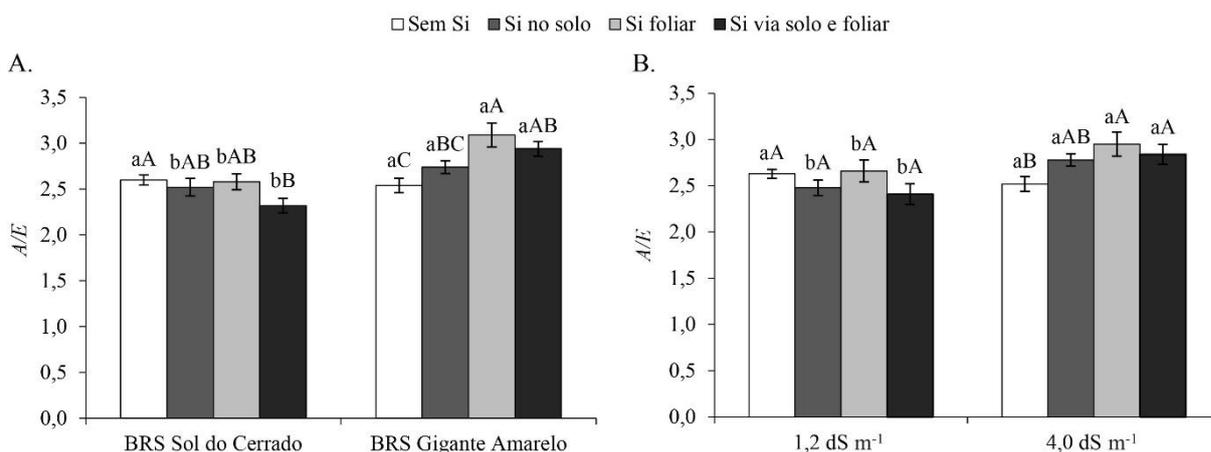
Para a transpiração foliar das mudas de maracujazeiro (E), observou-se que a cultivar BRS Sol do Cerrado apresentou uma média superior ($6,97 \text{ mmol de H}_2\text{O m}^{-1} \text{ s}^{-1}$) em comparação à cultivar BRS Gigante Amarelo ($6,26 \text{ mmol de H}_2\text{O m}^{-1} \text{ s}^{-1}$). A irrigação com água de condutividade elétrica mais alta ($4,0 \text{ dS m}^{-1}$) resultou em uma menor taxa de transpiração, com um decréscimo de 25,3% em relação à taxa registrada nas plantas irrigadas com água de menor condutividade ($1,2 \text{ dS m}^{-1}$). Essa redução da transpiração ocorreu devido ao fechamento estomático, que é diretamente ligado à taxa fotossintética e à transpiração. No processo fotossintético, a planta simultaneamente assimila CO_2 e perde água para a atmosfera por meio da transpiração.

Em relação ao silício, constatou-se que as aplicações S1 e S2 foram estatisticamente semelhantes e proporcionaram maiores valores de transpiração, enquanto a aplicação S3 resultou em um valor menor. Diferentemente destes resultados, Bezerra (2020) observou efeito positivo do silício na transpiração foliar de maracujazeiro, aos 75 dias após a emergência das plântulas.

Na Figura 19A, está ilustrado o desdobramento da interação entre cultivares e formas de aplicação de silício na eficiência instantânea no uso da água em mudas de maracujazeiro (A/E). Comparando-se as médias das cultivares em cada modo de aplicação, observou-se que as cultivares não diferiram estatisticamente apenas quando não houve aplicação de silício. Nas outras formas de aplicação, a cultivar BRS Gigante Amarelo apresentou médias superiores. Ao se desdobrarem os modos de aplicação dentro de cada cultivar, verificou-se que, especificamente na BRS Gigante Amarelo, a eficiência instantânea do uso da água foi beneficiada com a aplicação de silício via foliar e via solo + foliar. Com essas duas formas de aplicação de silício, o parâmetro A/E apresentou aumentos de 21,6% e 15,7%, respectivamente, em relação às plantas que não receberam aplicação do elemento. Na cultivar BRS Sol do

Cerrado, por sua vez, não houve influência da aplicação de silício na eficiência instantânea do uso da água.

Figura 19- Desdobramento das interações entre cultivares x modos de aplicação de silício (A) e condutividade elétrica da água x modos de aplicação de silício (B), sobre eficiência instantânea do uso da água (A/E) em mudas de maracujazeiro-amarelo



Fonte: Elaborada pela autora, 2024. A - médias seguidas das mesmas letras minúsculas não diferem entre cultivares, pelo teste F, e das mesmas letras maiúsculas não diferem entre modos de aplicação de Si, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$); B - médias seguidas das mesmas letras minúsculas não diferem entre níveis de condutividade elétrica, pelo teste F, e das mesmas letras maiúsculas não diferem entre modos de aplicação de Si, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Com relação à interação CE x Si na eficiência instantânea do uso da água (Figura 19B), verificou-se que, quando as plantas foram irrigadas com água de condutividade elétrica de 1,2 dS m⁻¹, não houve influência dos modos de aplicação de silício nesse parâmetro. Por outro lado, em condições de estresse salino, as plantas foram beneficiadas pelas aplicações de silício via foliar e via solo + foliar, resultando em acréscimos de 17,1% e 12,7% na A/E, respectivamente, em comparação com as plantas que não receberam silício. Esses resultados são semelhantes aos encontrados por Bezerra (2020), que observou que, aos 60 dias após a emergência, a aplicação de silício aumentou significativamente a eficiência do uso da água em maracujazeiro sob condições de estresse salino.

5.4 Nutrição mineral

De acordo com o resumo das análises de variância (Tabela 8), houve efeito significativo da interação entre os fatores cultivares de maracujá (Cul), condutividade elétrica da água (CE) e métodos de aplicação de silício (Si) sobre os teores foliares de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg). Para o teor de carbono (C), houve interações significativas entre Cul x Si

e CE x Si. Em relação aos teores de nitrogênio (N), houve significância das interações Cul x CE, Cul x Si e CE x Si.

Tabela 8- Resumo das análises de variância para os teores foliares de carbono (C), nitrogênio, fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), ferro (Fe), zinco (Zn), manganês (Mn) e silício (Si), em mudas de maracujazeiro-amarelo, em função da combinação entre cultivares, condutividades elétricas da água de irrigação e modos aplicação de silício

FV	GL	C	N	P	K	Ca	Mg
Cul	1	81,38*	0,49**	2,59**	2,34 ^{ns}	4,01 ^{ns}	0,84**
CE	1	132,32**	0,60**	0,31**	1835,81**	30,34**	0,80**
Si	3	277,46**	0,15*	1,75**	111,06**	2,89 ^{ns}	0,26**
Cul x CE	1	96,60*	0,00 ^{ns}	0,72**	53,90**	0,38 ^{ns}	0,12 ^{ns}
Cul x Si	3	218,93**	0,66**	3,79**	142,59**	3,88 ^{ns}	0,41**
CE x Si	3	176,20**	0,52**	2,79**	100,84**	31,64**	0,13*
Cul x CE x Si	3	13,49 ^{ns}	0,14 ^{ns}	1,83**	106,72**	18,60**	0,33**
Resíduo	64	15,47	0,05	0,04	4,74	1,65	0,03
CV (%)		6,51	5,95	4,24	4,42	5,61	5,16

Fonte: Elaborada pela autora, 2024. ns e ** e *: não significativo, significativo a 1% e 5% de probabilidade, pelo teste F, respectivamente. GL: grau de liberdade. FV: fonte de variação. Cul: cultivares de maracujazeiro-amarelo. CE: condutividade elétrica da água de irrigação. Si: formas de aplicação de silício. CV: coeficiente de variação.

Os efeitos das interações entre os fatores estudados sobre os teores foliares de carbono estão graficamente apresentados na Figura 20. Na interação entre cultivares e condutividade elétrica da água de irrigação (Figura 20A), constatou-se que, sob irrigação com água de condutividade elétrica de 1,2 dS m⁻¹, o teor de carbono foi maior na cultivar BRS Sol do Cerrado; todavia, sob salinidade elevada, não houve diferenças significativas entre as cultivares. O acúmulo de carbono observado na BRS Sol do Cerrado sugere uma maior eficiência fotossintética nessa cultivar quando submetida a irrigação com água de salinidade mais baixa, em relação à BRS Gigante Amarelo, o que pode resultar em maior fixação de carbono no ciclo de Calvin e maior acumulação desse elemento nos tecidos vegetais. Esse efeito é corroborado pelos níveis mais altos de condutância estomática observados na BRS Sol do Cerrado sob irrigação com água de condutividade elétrica de 1,2 dS m⁻¹, uma vez que a fixação de carbono e o acúmulo de biomassa podem ser influenciados, entre outros fatores, pelo controle estomático (Sharma et al., 2020).

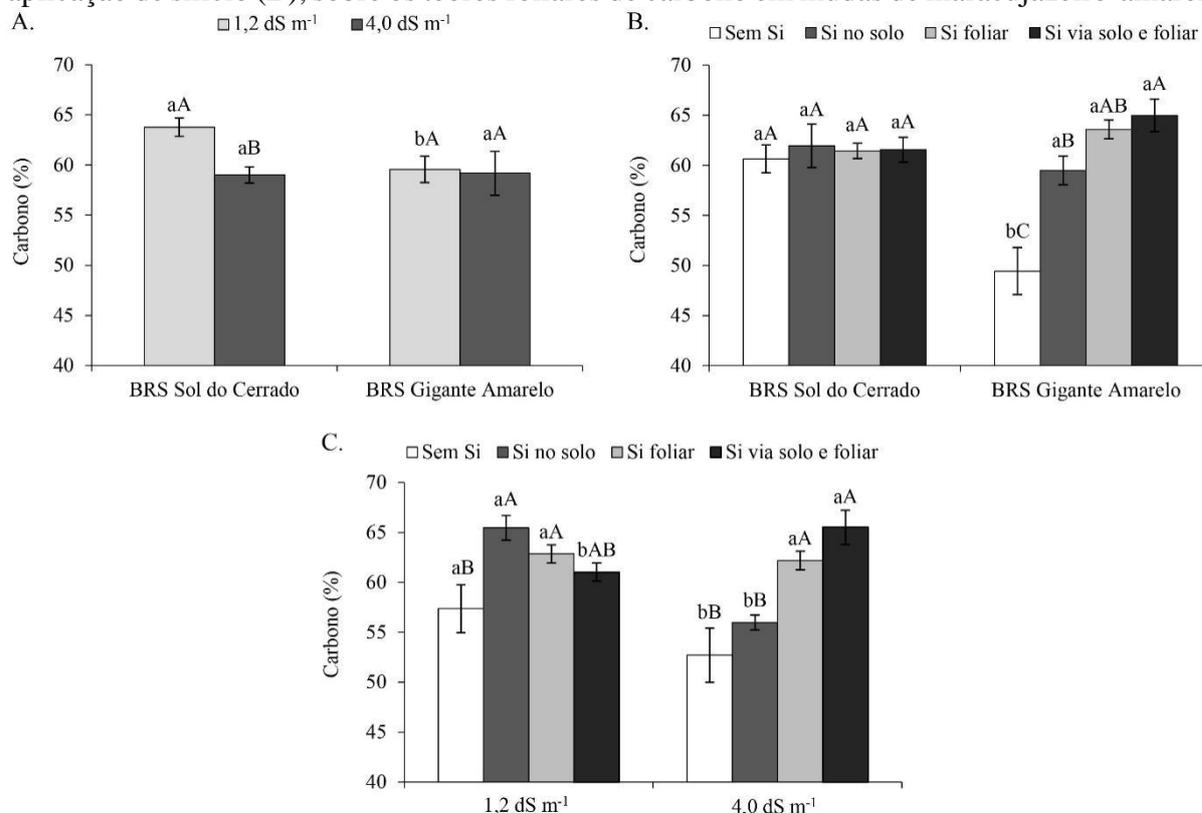
Por outro lado, foram observadas diferenças nos teores foliares de carbono entre as cultivares em resposta à salinidade. Na cultivar BRS Sol do Cerrado, o maior teor de carbono foi registrado sob irrigação com CE de 1,2 dS m⁻¹, enquanto uma redução de 7,5% foi detectada quando as plantas foram expostas à salinidade de 4,0 dS m⁻¹. Em contraste, na cultivar BRS

Gigante Amarelo, os diferentes níveis de condutividade elétrica não provocaram alterações significativas no teor foliar de carbono. Esses resultados indicam que a cultivar BRS Gigante Amarelo é mais resiliente a condições de alta salinidade, mantendo um valor de carbono elevado semelhante ao das plantas sob baixa salinidade.

Ainda com relação aos teores foliares de carbono, verificou-se que, na cultivar BRS Gigante Amarelo, os modos de aplicação de silício não resultaram em diferenças significativas, com todas as formas de aplicação (S1, S2, S3, S4) apresentando valores de carbono estatisticamente semelhantes (Figura 20B). Por outro lado, na cultivar BRS Gigante Amarelo, todas as formas de aplicação de silício favoreceram o aumento do teor de carbono (Figura 20B). Foram registrados incrementos de 20%, 29% e 31% no acúmulo de carbono, quando o silício foi aplicado no solo, via foliar e de forma combinada (solo + foliar), respectivamente, em comparação com as plantas que não receberam silício. Esses resultados reforçam que os benefícios do silício podem ser genótipo-dependentes.

Ao se desdobrar a interação entre níveis de condutividade elétrica da água e modos de aplicação de silício (Figura 20C), observou-se que, nas plantas irrigadas com água de menor salinidade, os modos de aplicação de silício via solo e via foliar foram mais eficazes, promovendo maiores acúmulos de carbono, em comparação com as plantas que não receberam de silício. Em condições de salinidade mais elevada, o acúmulo de carbono foi mais elevado com as aplicações de silício via foliar e de forma combinada (solo + foliar), com acréscimos de 18% e 24%, respectivamente, em relação às plantas sem aplicação de Si.

Figura 20 - Desdobramento das interações entre cultivares x condutividade elétrica da água (A), cultivares x modos de aplicação de silício (B) e condutividade elétrica da água x modos de aplicação de silício (B), sobre os teores foliares de carbono em mudas de maracujazeiro-amarelo



Fonte: Elaborada pela autora, 2024. A - médias seguidas das mesmas letras minúsculas não diferem entre cultivares, e das mesmas letras maiúsculas não diferem entre níveis de condutividade elétrica, pelo teste F; B - médias seguidas das mesmas letras minúsculas não diferem entre cultivares, pelo teste F, e das mesmas letras maiúsculas não diferem entre modos de aplicação de Si, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$); C - Médias seguidas das mesmas letras minúsculas não diferem entre níveis de condutividade elétrica, pelo teste F, e das mesmas letras maiúsculas não diferem entre modos de aplicação de Si, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Esses resultados indicam que a interação entre condutividade elétrica e aplicação de silício afeta os valores de carbono, com determinadas combinações proporcionando maiores médias. Conforme mencionado por Li et al. (2018), a aplicação de silício pode melhorar o acúmulo de carbono em plantas sob condições de estresses abióticos, como a salinidade. No entanto, as respostas das plantas podem variar de acordo com o genótipo, a dosagem de aplicação de Si e a intensidade do estresse abiótico.

Além disso, o papel do silício como atenuador de estresses em condições adversas tem sido amplamente estudado, destacando-se sua capacidade de fortalecer a parede celular, melhorar a eficiência do uso da água e promover uma maior resistência ao estresse oxidativo (Farouk et al., 2020; Singh et al., 2023). Em particular, o silício pode modular a abertura estomática, auxiliando na regulação da fotossíntese e, conseqüentemente, no acúmulo de carbono, mesmo em condições de alta salinidade.

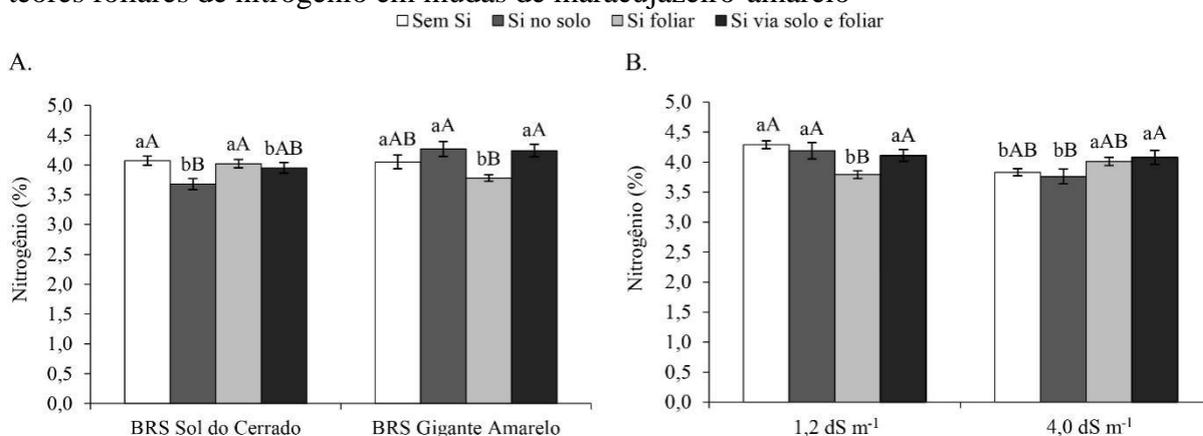
Outro aspecto relevante é a forma como o silício pode interagir com outros nutrientes essenciais que estão diretamente envolvidos nos processos de crescimento e acúmulo de biomassa, potencializando seu efeito benéfico no metabolismo das plantas (Muhammad et al., 2022). Isso sugere que o efeito positivo do silício no acúmulo de carbono pode não se limitar apenas à mitigação dos efeitos da salinidade, mas também ao aprimoramento geral da nutrição da planta.

Na Figura 21A, está apresentado o desdobramento da interação entre cultivares de maracujá x modos de aplicação de silício, sobre os teores de nitrogênio nas folhas. Verificou-se que, independentemente do modo de aplicação de silício (via solo, foliar ou combinado), não houve aumentos significativos no acúmulo de nitrogênio nas folhas de nenhuma das cultivares avaliadas. Em todas as formas de aplicação, os valores de nitrogênio foram similares ou inferiores aos das plantas que não receberam silício.

Os efeitos observados na interação entre níveis de condutividade elétrica da água e modos de aplicação de silício sobre os teores de nitrogênio no maracujazeiro-amarelo apresentaram tendências semelhantes (Figura 21B). Tanto com irrigação com água de salinidade mais baixa ($1,2 \text{ dS}^{-1}$) quanto sob condições de maior salinidade ($4,0 \text{ dS}^{-1}$), os modos de aplicação de silício não resultaram em aumentos significativos nos teores de nitrogênio das plantas. Conforme o teste de comparação de médias, em nenhuma das situações, as plantas tratadas com silício apresentaram teores de nitrogênio superiores aos das plantas controle, que não receberam aplicação de Si.

Segundo Rea et al. (2022), o silício afeta a disponibilidade de N no solo e o acúmulo de N nas plantas. Contudo, os resultados do presente estudo sugerem que o silício, neste estudo, não desempenhou um papel direto na absorção de nitrogênio pelo maracujazeiro-amarelo. É importante destacar que, embora o silício seja amplamente conhecido por seus benefícios na mitigação de estresses abióticos e na melhoria da eficiência no uso de água e nutrientes, sua influência sobre o acúmulo de nitrogênio pode variar conforme a espécie, o genótipo, as condições ambientais e a forma de aplicação (Greger et al., 2018; Rea et al., 2022). Fatores como a interação com outros nutrientes, a disponibilidade de nitrogênio no solo e a capacidade de absorção de cada cultivar podem ter contribuído para a ausência de efeitos significativos.

Figura 21 - Desdobramento das interações entre cultivares de maracujá x modos de aplicação de silício (A) e condutividade elétrica da água x modos de aplicação de silício (B), sobre os teores foliares de nitrogênio em mudas de maracujazeiro-amarelo



Fonte: Elaborada pela autora, 2024. A - Médias seguidas das mesmas letras minúsculas não diferem entre cultivares, pelo teste F, e das mesmas letras maiúsculas não diferem entre modos de aplicação, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$); B - Médias seguidas das mesmas letras minúsculas não diferem entre níveis de condutividade elétrica, pelo teste F, e das mesmas letras maiúsculas não diferem entre modos de aplicação de Si, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

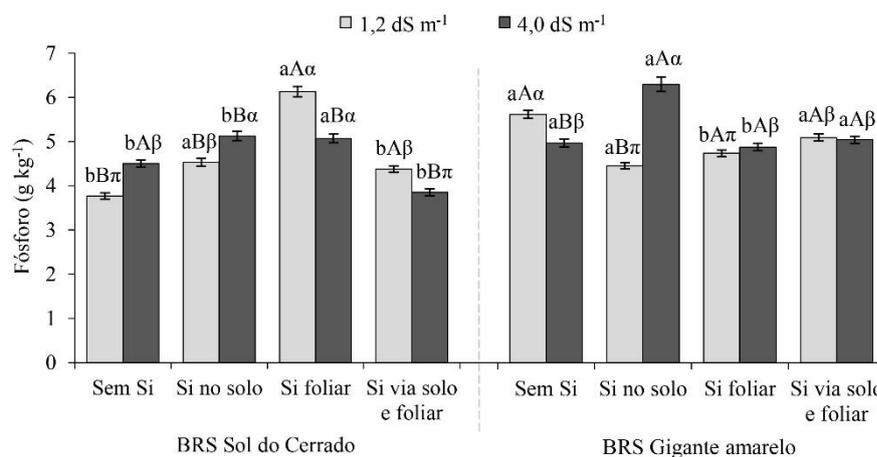
Para os teores de fósforo, o desdobramento da interação entre os três fatores analisados neste trabalho está apresentado na Figura 22. Quando os dois genótipos de maracujazeiro-amarelo foram irrigados com água de menor salinidade ($1,2 \text{ dS m}^{-1}$), observou-se uma diferenciação nos acúmulos de fósforo nas folhas das plantas em resposta aos modos de aplicação de silício.

No caso da cultivar BRS Sol do Cerrado, os teores de fósforo foram beneficiados pela aplicação de silício. Em condições de menor salinidade, houve aumentos de 20%, 63% e 16% nos teores de P das plantas tratadas com as aplicações S2 (Si no solo), S3 (Si foliar) e S4 (Si no solo e foliar), respectivamente, em comparação com as plantas sem silício. Sob irrigação com água de maior salinidade, o teor de fósforo dessa cultivar foi beneficiado pelas aplicações S2 e S3, que proporcionaram ganhos médios de 14% na variável, em relação às plantas que não receberam aplicação de silício. Esses resultados indicam que, para o genótipo BRS Sol do Cerrado, a suplementação com silício foi eficaz em promover a absorção de fósforo. A aplicação foliar, em particular, mostrou-se uma abordagem mais eficiente para melhorar a nutrição fosfatada, possivelmente ao otimizar a disponibilidade de fósforo e a capacidade da planta de utilizar esse nutriente essencial.

Por outro lado, a cultivar BRS Gigante Amarelo apresentou uma resposta inversa quando irrigada com água de menor salinidade ($1,2 \text{ dS m}^{-1}$). Nessa condição, em todos os modos de aplicação de Si, os teores de P nas plantas foram inferiores aos observados nas plantas que não receberam aplicação de silício (Figura 22). Esse resultado sugere que, para este genótipo

específico, nas condições de mais baixa salinidade, as aplicações de silício podem ter causado um efeito antagônico, interferindo na absorção ou no metabolismo do fósforo, o que pode estar relacionado às características intrínsecas da cultivar ou à interação entre o silício e outros nutrientes no solo.

Figura 22 - Desdobramento da interação entre cultivares x condutividade elétrica da água x modos de aplicação de silício, sobre os teores foliares de fósforo em mudas de maracujazeiro-amarelo



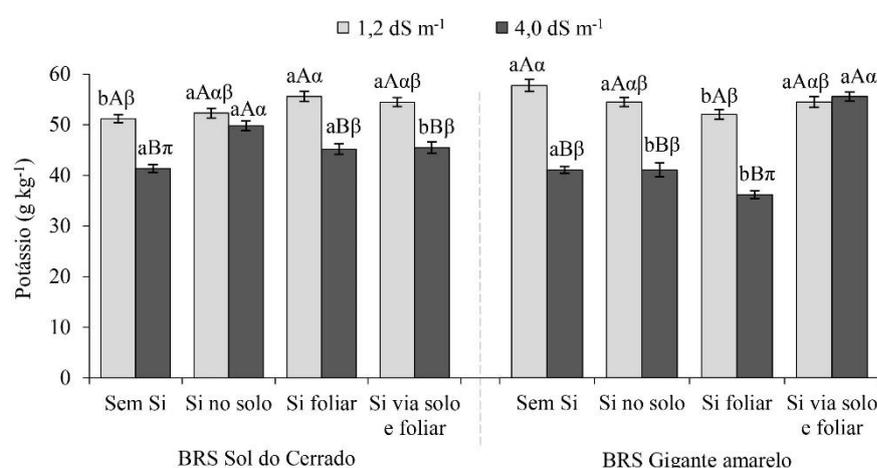
Fonte: Elaborada pela autora, 2024. Médias seguidas das mesmas letras minúsculas não diferem entre cultivares, e das mesmas letras maiúsculas não diferem entre níveis de condutividade elétrica da água, pelo teste F; e médias seguidas das mesmas letras gregas não diferem entre modos de aplicação de Si, pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$).

Entretanto, quando a cultivar BRS Gigante Amarelo foi submetida a uma condição de maior salinidade (4,0 dS m⁻¹), a aplicação de silício no solo mostrou-se bastante eficaz, promovendo um aumento de 27% no teor de fósforo nas folhas, em comparação com as plantas que não receberam silício. Isso indica que, sob estresse salino, o silício pode exercer um papel protetor, melhorando a capacidade da planta de absorver e utilizar fósforo de forma mais eficiente. Esse comportamento contrastante reforça a ideia de que a resposta ao silício é fortemente dependente das condições ambientais, como a salinidade, e do genótipo da planta. No caso da cultivar BRS Gigante Amarelo, o silício parece atuar de forma benéfica em condições de maior estresse, como a salinidade elevada, enquanto em condições mais brandas, seu impacto pode ser menos positivo ou até prejudicial para a absorção de certos nutrientes, como o fósforo.

Com relação aos teores de potássio nas folhas do maracujazeiro-amarelo, a representação gráfica do desdobramento da interação entre cultivares x condutividade elétrica da água x modos de aplicação de silício está ilustrada na Figura 23. Observou-se que, na cultivar BRS Sol do Cerrado, as três formas aplicação de silício promoveram aumentos do acúmulo de potássio nas plantas sob estresse salino, com maior destaque para a aplicação diretamente via

solo. Com esse método de aplicação, os teores de potássio não diferiram estatisticamente entre os dois níveis de salinidade estudados. Adicionalmente, nas plantas sob a salinidade mais elevada, as formas de aplicação via solo, via foliar e combinadas propiciaram acréscimos de 21%, 9% e 10%, respectivamente, no acúmulo de potássio, em comparação com as plantas que não receberam silício.

Figura 23 - Desdobramento da interação entre cultivares x condutividade elétrica da água x modos de aplicação de silício, sobre os teores foliares de potássio em mudas de maracujazeiro-amarelo



Fonte: Elaborada pela autora, 2024. Médias seguidas das mesmas letras minúsculas não diferem entre cultivares, e das mesmas letras maiúsculas não diferem entre níveis de condutividade elétrica da água, pelo teste F; e médias seguidas das mesmas letras gregas não diferem entre modos de aplicação de Si, pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$).

Na cultivar BRS Gigante Amarelo, também foi observado um aumento no acúmulo de potássio nas plantas sob estresse salino em resposta à aplicação de silício, porém apenas quando este elemento foi aplicado de forma combinada (via solo e foliar). Com essa estratégia, não houve diferença estatisticamente significativa entre os níveis de salinidade testados, e o acúmulo de potássio aumentou em 35% em comparação com as plantas submetidas ao estresse salino sem a aplicação de silício. Esses resultados indicam que a aplicação combinada de silício é uma abordagem eficaz para melhorar a absorção de potássio em condições de estresse, contribuindo para a resiliência desse genótipo frente à salinidade.

Esses resultados indicam que o silício, variando a forma de aplicação, tem um papel significativo na mitigação dos efeitos do estresse salino, promovendo um maior acúmulo de potássio. Conforme relatado por Tuna et al. (2008), embora os mecanismos ainda não estejam completamente esclarecidos, o silício parece desempenhar um papel fundamental na absorção e transporte de potássio em plantas sob estresse salino. Esse efeito ocorre, possivelmente, por

meio da ativação da bomba de prótons (H^+ -ATPase) nas membranas plasmáticas, que cria o gradiente eletroquímico necessário para o transporte de íons, como o potássio, para dentro das células. A ativação dessa bomba de prótons facilita a entrada de potássio e contribui para a manutenção do equilíbrio iônico, essencial para a sobrevivência das plantas em condições de salinidade elevada (Tuna et al., 2008).

Esse aumento no acúmulo de potássio é crucial para a sobrevivência de plantas em condições de estresse salino, já que uma relação adequada entre K^+/Na^+ é fundamental para uma série de processos vitais, como os movimentos estomáticos, a ativação enzimática, a síntese de proteínas, a osmorregulação, o controle do metabolismo oxidativo, a eficiência da fotossíntese e a manutenção do turgor celular (Abbasi et al., 2016). Esses processos são essenciais para garantir o equilíbrio fisiológico da planta, permitindo que ela tolere de maneira mais eficiente as condições de estresse.

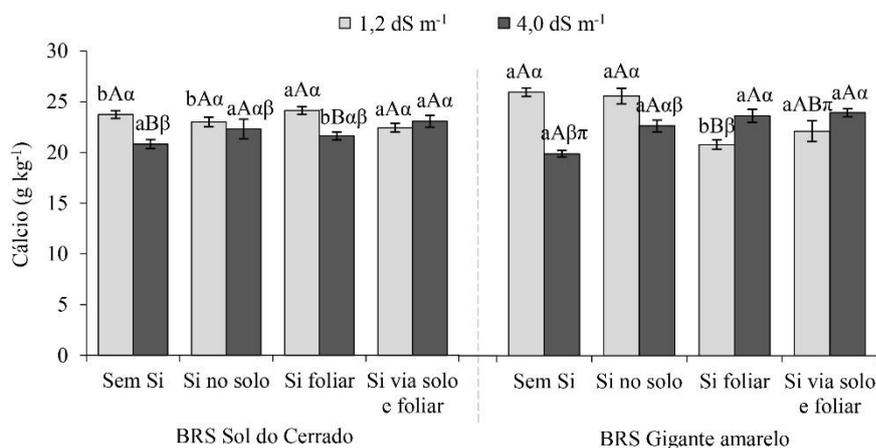
O desdobramento da interação tripla entre os fatores analisados, no que diz respeito aos teores de cálcio nas folhas, é apresentado na Figura 24. Quando as cultivares foram irrigadas com água de baixa salinidade ($1,2 \text{ dS m}^{-1}$), as diferentes formas de aplicação de silício não beneficiaram o acúmulo de cálcio nas plantas, uma vez que nenhum dos tratamentos propiciou valores mais elevados na variável do que o controle. No entanto, sob condições de estresse salino, o cenário foi distinto, com o acúmulo de cálcio nas folhas aumentando de acordo com os modos de aplicação de silício em ambas as cultivares.

Na cultivar BRS Sol do Cerrado, sob alta salinidade, a aplicação combinada de silício (via solo e via foliar) destacou-se, promovendo um aumento de 11% no teor foliar de cálcio em comparação com as plantas estressadas que não receberam silício (Figura 24). Na cultivar BRS Gigante Amarelo, sob estresse salino, todas as formas de aplicação de silício mostraram-se eficazes em elevar o acúmulo de cálcio nas folhas, com a aplicação combinada (solo + foliar) e a aplicação exclusivamente via foliar apresentando os maiores ganhos, de 20% e 19%, respectivamente. A aplicação via solo também trouxe um aumento considerável de 14%, em comparação com as plantas sob alta salinidade que não receberam silício.

Os resultados observados são indícios do papel importante do silício na mitigação dos efeitos do estresse salino, contribuindo para a manutenção do equilíbrio iônico e a integridade das estruturas celulares, especialmente nas condições mais adversas de salinidade. Adicionalmente, pode-se inferir que a resposta das cultivares ao cálcio varia significativamente com a condutividade elétrica da água de irrigação e o modo de aplicação de silício. A cultivar BRS Sol do Cerrado mostrou uma maior eficácia da aplicação S4 sob alta salinidade, enquanto

a BRS Gigante Amarelo beneficiou-se mais das aplicações S2, S3 e S4 sob as mesmas condições.

Figura 24 - Desdobramento da interação entre cultivares x condutividade elétrica da água x modos de aplicação de silício, sobre os teores foliares de cálcio em mudas de maracujazeiro-amarelo



Fonte: Elaborada pela autora, 2024. Médias seguidas das mesmas letras minúsculas não diferem entre cultivares, e das mesmas letras maiúsculas não diferem entre níveis de condutividade elétrica da água, pelo teste F; e médias seguidas das mesmas letras gregas não diferem entre modos de aplicação de Si, pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$).

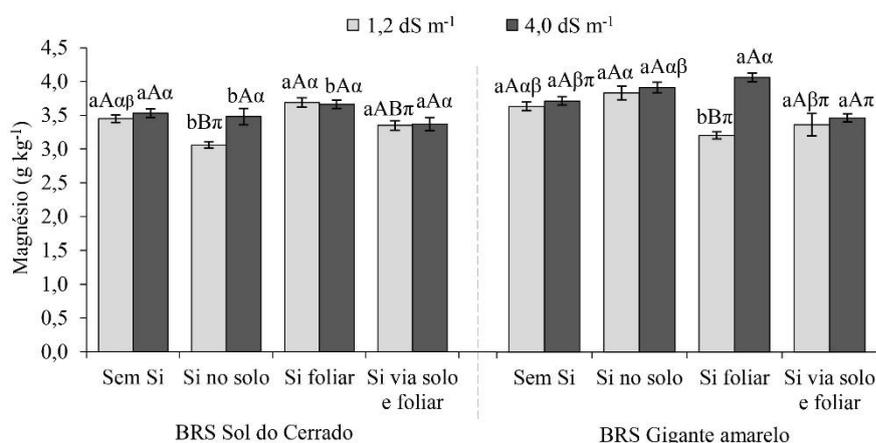
A absorção de cálcio pode ser prejudicada em condições de alta salinidade devido ao elevado teor de sódio no solo, que compete com o cálcio pelas vias de absorção. Entretanto, a suplementação com silício tem mostrado capacidade de mitigar esse efeito, promovendo uma maior absorção de Ca pelas plantas, o que é essencial para a manutenção da integridade estrutural das membranas celulares e para processos fisiológicos das plantas, como divisão e alongamento celular (Liu et al., 2019). Além disso, conforme esses autores, o aumento dos níveis de cálcio mediado pelo silício pode induzir a expressão de genes de tolerância ao estresse, tornando-se um fator importante para a adaptação das plantas em ambientes salinos.

Com relação aos teores de magnésio nas folhas do maracujazeiro-amarelo (Figura 25), verificou-se que, sob condições de baixa salinidade, a aplicação de silício, em qualquer forma, não resultou em aumentos significativos nos teores foliares de magnésio em ambas as cultivares. Todavia, sob condições de alta salinidade, as respostas foram distintas entre as cultivares, reforçando a influência genótipo-dependente na absorção de nutrientes.

Na BRS Sol do Cerrado, o silício, independentemente do método de aplicação, não promoveu alterações significativas no acúmulo de magnésio, indicando que, para essa cultivar, o magnésio pode não ter sua absorção ou transporte diretamente influenciado pelo silício em condições de estresse salino. Por outro lado, a BRS Gigante Amarelo apresentou uma resposta positiva à aplicação foliar de silício, com um aumento de 9% no teor de magnésio comparado

ao teor das plantas que não receberam silício (Figura 25). Esse incremento pode ser atribuído à capacidade do silício de melhorar a eficiência de transporte e redistribuição de magnésio sob condições de estresse, especialmente em cultivares mais sensíveis ao ambiente salino, como é o caso da BRS Gigante Amarelo. Isso sugere uma possível interação benéfica entre o silício e o magnésio nessa cultivar, promovendo uma maior resiliência ao estresse salino.

Figura 25 - Desdobramento da interação entre cultivares x condutividade elétrica da água x modos de aplicação de silício, sobre os teores foliares de magnésio em mudas de maracujazeiro-amarelo



Fonte: Elaborada pela autora, 2024. Médias seguidas das mesmas letras minúsculas não diferem entre cultivares, e das mesmas letras maiúsculas não diferem entre níveis de condutividade elétrica da água, pelo teste F; e médias seguidas das mesmas letras gregas não diferem entre modos de aplicação de Si, pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$).

Esse efeito positivo do silício sobre os teores de magnésio é especialmente relevante, considerando que o magnésio atua como ativador da enzima Rubisco, fundamental para a fixação de carbono no processo fotossintético, além de desempenhar um papel crucial na síntese de DNA, RNA e proteínas (Li et al., 2015). A suplementação com silício, portanto, mostra-se promissora na mitigação dos efeitos adversos do estresse salino na cultivar BRS Gigante Amarelo, ao promover a absorção e o transporte de magnésio, o que potencializa uma fotossíntese mais eficiente. Esse fato é corroborado pelos maiores índices do parâmetro A/E (eficiência instantânea do uso da água - Figura 19) observados nessa cultivar, como discutido anteriormente no tópico sobre trocas gasosas, indicando melhor desempenho fisiológico sob condições de salinidade.

De acordo com o resumo das análises de variância (Tabela 9), houve efeito significativo da interação entre os fatores cultivares de maracujá (Cul), condutividade elétrica da água (CE) e métodos de aplicação de silício (Si) sobre os teores foliares de ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn) e silício (Si).

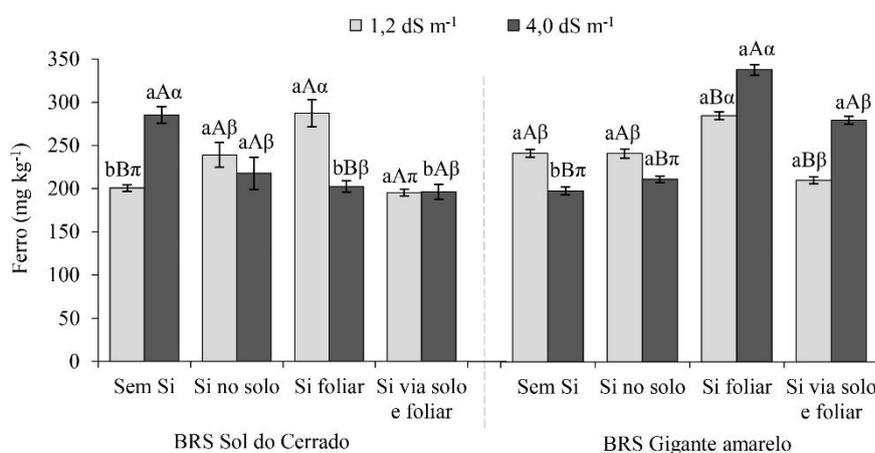
Tabela 9 - Resumo das análises de variância para os teores foliares de ferro (Fe), zinco (Zn), manganês (Mn) e silício (Si), em mudas de maracujazeiro-amarelo, em função da combinação entre cultivares, condutividades elétricas da água de irrigação e modos aplicação de silício

FV	GL	Fe	Zn	Mn	Si
Cul	1	10113,07**	1,77 ^{ns}	2075,09**	1464887,71 **
CE	1	256,36 ^{ns}	296,68 **	5,09 ^{ns}	545120,57**
Si	3	13913,58**	78,84**	138,39**	69688,14**
Cul x CE	1	1529,76 ^{ns}	33,72 ^{ns}	309,99**	402167,48**
Cul x Si	3	8965,30**	30,28 ^{ns}	671,88**	554815,07**
CE x Si	3	4189,30**	35,72 *	840,27**	28661,29**
Cul x CE x Si	3	16271,63**	69,31**	824,54**	942972,27**
Resíduo	64	383,61	11,13	11,54	1999,06
CV (%)		8,18	5,00	4,89	5,81

Fonte: Elaborada pela autora, 2024. ns e ** e *: não significativo, significativo a 1% e 5% de probabilidade, pelo teste F, respectivamente. GL: grau de liberdade. FV: fonte de variação. Cul: cultivares de maracujazeiro-amarelo. CE: condutividade elétrica da água de irrigação. Si: formas de aplicação de silício. CV: coeficiente de variação

O desdobramento da interação entre cultivares, condutividade elétrica da água e modos de aplicação de silício, sobre os teores foliares de ferro em mudas de maracujazeiro-amarelo está ilustrado na Figura 26. Na cultivar BRS Sol do Cerrado, observou-se que, sob irrigação com água de menor salinidade, o acúmulo de ferro na massa seca aumentou de maneira significativa com as aplicações de silício via foliar e via solo, que proporcionaram incrementos de 43% e 19% na variável, respectivamente, em comparação com as plantas sem silício. Nas plantas sob alta salinidade, porém, a resposta foi diferente.

Figura 26 - Desdobramento da interação entre cultivares x condutividade elétrica da água x modos de aplicação de silício, sobre os teores foliares de ferro em mudas de maracujazeiro-amarelo



Fonte: Elaborada pela autora, 2024. Médias seguidas das mesmas letras minúsculas não diferem entre cultivares, e das mesmas letras maiúsculas não diferem entre níveis de condutividade elétrica da água, pelo teste F; e médias seguidas das mesmas letras gregas não diferem entre modos de aplicação de Si, pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$).

Quando a BRS Sol do Cerrado foi submetida à salinidade de $4,0 \text{ dS m}^{-1}$, todos os modos de aplicação de silício reduziram os teores de ferro nas plantas. Isso sugere uma interação negativa entre o silício e o ferro em ambientes com altos níveis de sais. O silício aumenta a capacidade de oxidação das raízes, convertendo o ferro solúvel (Fe^{2+}) em sua forma insolúvel (Fe^{3+}), limitando a absorção de ferro e evitando toxicidade, já que altos níveis de ferro podem ser prejudiciais às plantas (Delavar et al., 2018; Rao et al., 2017).

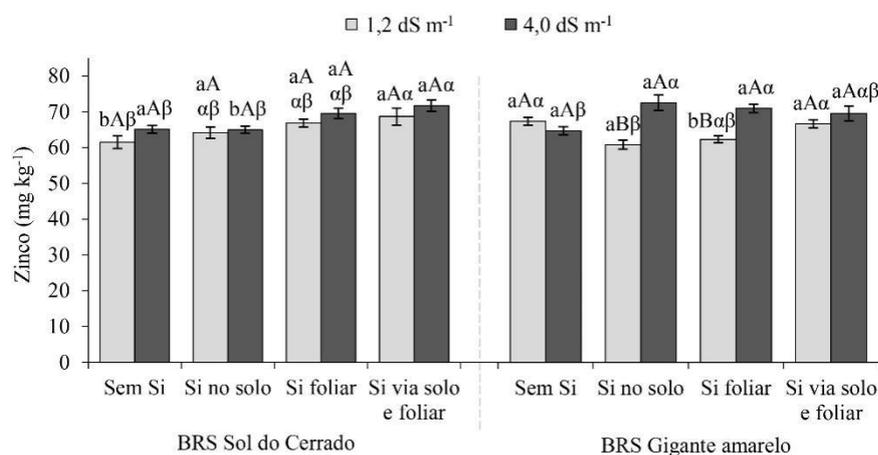
Por outro lado, na BRS Gigante Amarelo, a aplicação de silício via foliar teve um impacto positivo no acúmulo de ferro, independentemente da salinidade (Figura 26). Com condutividade elétrica de $1,2 \text{ dS m}^{-1}$, a suplementação foliar aumentou os teores de ferro em 18%. Sob CE de $4,0 \text{ dS m}^{-1}$, o aumento foi ainda mais significativo, atingindo 71%. Esses resultados indicam que a aplicação foliar de silício é eficaz em promover a absorção de ferro nessa cultivar, melhorando a eficiência fisiológica da planta. Além disso, sob alta salinidade, a aplicação combinada de silício (solo + foliar) aumentou os teores de ferro em 41%, destacando a importância de estratégias combinadas para otimizar a nutrição mineral em condições de estresse. Esses resultados mostram que tanto a BRS SC1 quanto a BRS GA1 respondem de maneira diferente à aplicação de silício e à condutividade elétrica.

Para os teores de zinco, conforme ilustrado na Figura 27, observou-se que a cultivar BRS Sol do Cerrado, nos dois níveis de salinidade estudados, apresentou benefícios significativos com a suplementação de silício, quando aplicado de forma combinada (via foliar e via solo). Em condições de salinidade de $1,2 \text{ dS m}^{-1}$, essa abordagem resultou em um incremento de 12% nos teores de zinco nas folhas, em comparação com plantas que não receberam silício. Sob uma salinidade mais elevada ($4,0 \text{ dS m}^{-1}$), o aumento foi de 10%, indicando que a aplicação combinada de silício foi eficaz em promover a absorção de zinco mesmo em condições adversas de salinidade. Esses aumentos são relevantes, pois o zinco desempenha um papel crucial em diversos processos fisiológicos, incluindo a ativação de enzimas e a participação na síntese de auxinas, proteínas, entre outros benefícios (Mahmoud et al., 2019; Ahmad et al., 2023).

Na cultivar BRS Gigante Amarelo, a resposta dos teores de zinco à aplicação de silício variou com o nível de salinidade (Figura 27). Sob condições de mais baixa salinidade, as aplicações via solo e foliar demonstraram eficácia, promovendo acréscimos de 12% e 10% nos teores de zinco, respectivamente, em comparação com as plantas que não foram suplementadas. Esses resultados sugerem que a aplicação de silício pode ser uma estratégia valiosa para melhorar a absorção de micronutrientes pelas plantas em ambientes de alta salinidade,

destacando a importância de considerar tanto a cultivar quanto o método de aplicação na otimização da suplementação.

Figura 27 - Desdobramento da interação entre cultivares x condutividade elétrica da água x modos de aplicação de silício, sobre os teores foliares de zinco em mudas de maracujazeiro-amarelo



Fonte: Elaborada pela autora, 2024. Médias seguidas das mesmas letras minúsculas não diferem entre cultivares, e das mesmas letras maiúsculas não diferem entre níveis de condutividade elétrica da água, pelo teste F; e médias seguidas das mesmas letras gregas não diferem entre modos de aplicação de Si, pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$).

Em relação aos teores de manganês (Figura 28), constatou-se que, na cultivar BRS Sol do Cerrado irrigada com água de $1,2 \text{ dS m}^{-1}$, os métodos de aplicação de silício não beneficiaram essa variável. No entanto, quando essa cultivar foi irrigada com água de $4,0 \text{ dS m}^{-1}$, a aplicação de silício diretamente no solo resultou em aumento de 14% no teor de manganês, baseando-se nas plantas sem silício.

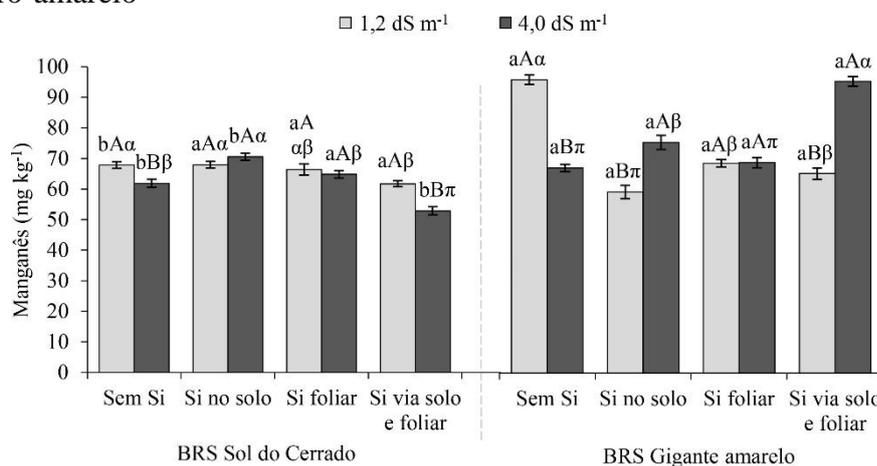
Por outro lado, para a cultivar BRS Gigante Amarelo, a resposta à aplicação de silício variou substancialmente com o nível de salinidade (Figura 28). Sob irrigação com água de salinidade mais baixa, observou-se uma redução expressiva nos teores de manganês: 38% com a aplicação via solo, 28% com a aplicação foliar e 32% com a aplicação combinada (solo e folhas). Esses resultados indicam que, para esta cultivar e sob condições de baixa salinidade, a aplicação de silício pode ter causado um efeito adverso, possivelmente por interferir na dinâmica de absorção de manganês ou por interações complexas com outros nutrientes.

No entanto, quando a cultivar BRS Gigante Amarelo foi irrigada com água de alta salinidade, a situação mudou. A aplicação de silício combinada (solo e folhas) e a aplicação apenas no solo promoveram aumentos significativos nos teores de manganês, com acréscimos de 42% e 12%, respectivamente, em comparação com as plantas não suplementadas. Esse resultado sugere que, em condições de estresse salino, a suplementação com silício pode ter um

efeito positivo, potencialmente ajudando a planta a manter níveis adequados de manganês, um micronutriente crucial para vários processos metabólicos.

Esses achados reforçam a ideia de que a eficácia da aplicação de silício na modulação dos teores de manganês, assim como de outros nutrientes, é dependente tanto da cultivar quanto das condições de salinidade. A aplicação de silício pode atenuar os efeitos negativos da salinidade em algumas situações, mas a eficácia varia dependendo da cultivar e da aplicação específica. Essa variação ressalta a importância de ajustar a estratégia de aplicação de silício de acordo com o tipo de cultivar e as condições ambientais para otimizar a absorção de nutrientes e potencializar a tolerância ao estresse salino.

Figura 28 - Desdobramento da interação entre cultivares x condutividade elétrica da água x modos de aplicação de silício, sobre os teores foliares de manganês em mudas de maracujazeiro-amarelo



Fonte: Elaborada pela autora, 2024. Médias seguidas das mesmas letras minúsculas não diferem entre cultivares, e das mesmas letras maiúsculas não diferem entre níveis de condutividade elétrica da água, pelo teste F; e médias seguidas das mesmas letras gregas não diferem entre modos de aplicação de Si, pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$).

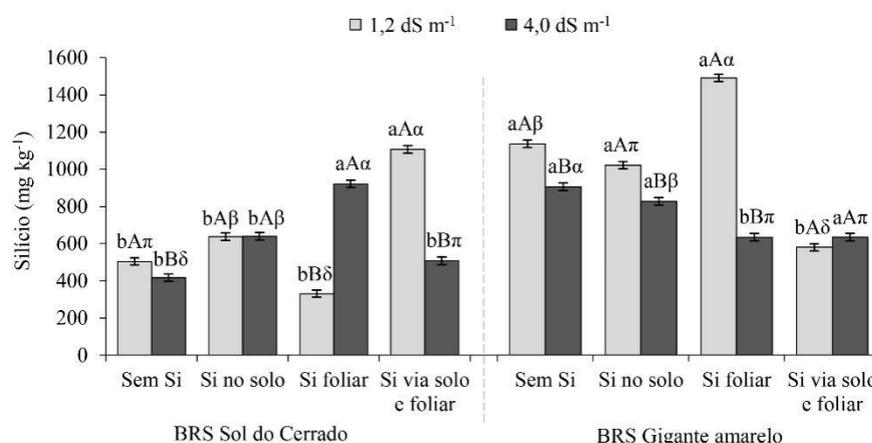
Segundo Back e Petry (2024), os teores de nutrientes considerados adequados em folhas de maracujazeiro-azedo são: N (42,5-52,5 g kg⁻¹), P (1,5-2,5 g kg⁻¹), K (20-30 g kg⁻¹), Ca (17,5-27,5 g kg⁻¹), Mg (3,0-4,0 g kg⁻¹), Fe (100-200 mg kg⁻¹), Mn (100-500 mg k⁻¹) e Zn (50-80 mg kg⁻¹). Neste estudo, os teores encontrados estão acima desses valores, com exceção do Mn, cujos teores ficaram abaixo do recomendado.

A Figura 29 contém a representação gráfica do desdobramento da interação tripla sobre os teores de silício nos tecidos do maracujazeiro-amarelo. Verificou-se que, na cultivar BRS Sol do Cerrado, sob irrigação com água de salinidade mais baixa, as formas de aplicação de silício via solo e combinada (solo e folhas) promoveram maior acúmulo de Si nos tecidos vegetais, resultando em acréscimos de 26% e 120% nos teores de silício, em comparação com

as plantas que não foram suplementadas. Sob condições de estresse salino, todos os métodos de aplicação de silício elevaram os níveis do elemento na cultivar. A aplicação foliar destacou-se com um incremento de 121%, enquanto as aplicações via solo e combinada promoveram aumentos de 53% e 22%, respectivamente, em relação às plantas que não receberam a suplementação. Estes resultados indicam que a aplicação de silício, especialmente em combinação, pode ser mais eficiente na promoção do acúmulo de Si nos tecidos vegetais quando a salinidade é baixa, o que sugere uma possível sinergia entre as formas de aplicação e as condições de irrigação.

Para a cultivar BRS Gigante Amarelo irrigada com água de condutividade elétrica de 1,2 dS m⁻¹, somente a aplicação de silício via foliar resultou em um aumento no acúmulo de silício nos tecidos vegetais, que foi de 31%, em comparação com as plantas que não receberam o elemento. Em contraste, sob irrigação com água de condutividade elétrica de 4,0 dS m⁻¹, os níveis de silício nas plantas que receberam os três métodos de aplicação do elemento foram inferiores aos observados no controle, que não recebeu suplementação.

Figura 29 - Desdobramento da interação entre cultivares x condutividade elétrica da água x modos de aplicação de silício, sobre os teores foliares de silício em mudas de maracujazeiro-amarelo



Fonte: Elaborada pela autora, 2024. Médias seguidas das mesmas letras minúsculas não diferem entre cultivares, e das mesmas letras maiúsculas não diferem entre níveis de condutividade elétrica da água, pelo teste F; e médias seguidas das mesmas letras gregas não diferem entre modos de aplicação de Si, pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$).

Sá et al. (2021) observaram que altos níveis de salinidade podem reduzir a capacidade das plantas de absorver e acumular silício. Condições de baixa salinidade favorecem a máxima absorção de silício pelas plantas. Entre as concentrações de 0 e 30 mmol L⁻¹ de NaCl, o acúmulo médio de SiO₂ nas folhas variou de 0,58 a 0,68 g planta⁻¹. Mesmo na presença de níveis moderados de sais, as plantas ainda podem acumular quantidades substanciais de silício. Costa

et al. (2016) verificaram que o maracujá é um acumulador intermediário de silício nas raízes e um não acumulador nas folhas e no caule.

Considerando os resultados apresentados, é evidente que a interação entre cultivares de maracujá, condutividade elétrica da água e métodos de aplicação de silício exerce um impacto significativo na nutrição mineral das plantas. A suplementação com silício mostrou-se promissora na mitigação dos efeitos do estresse salino, promovendo uma melhor absorção de diversos nutrientes essenciais. No entanto, a resposta das plantas ao silício é complexa e depende de diversos fatores, incluindo o genótipo, a forma de aplicação e a intensidade do estresse. Os resultados deste estudo demonstram a necessidade de pesquisas mais aprofundadas para elucidar os mecanismos de ação do silício nas plantas e para otimizar as estratégias de aplicação desse elemento em sistemas de produção de maracujazeiro, visando aumentar a produtividade e a qualidade dos frutos sob condições de salinidade.

6 CONCLUSÃO

A cultivar BRS Sol do Cerrado apresentou maior tolerância à salinidade, enquanto a BRS Gigante Amarelo respondeu melhor à aplicação de silício, especialmente nas formas foliar e combinada (solo + foliar). A aplicação de silício promoveu melhorias significativas na qualidade das mudas, favorecendo o crescimento, parâmetros fisiológicos, reduzindo o vazamento de eletrólitos e aumentando a eficiência no uso da água, principalmente em condições de estresse salino.

A suplementação com silício se mostrou promissora na mitigação dos efeitos do estresse salino, estimulando a absorção de alguns nutrientes essenciais. No entanto, as respostas variam de acordo com o genótipo e a forma de aplicação. Estudos futuros são necessários para elucidar os mecanismos de ação do silício e aperfeiçoar sua aplicação no cultivo do maracujazeiro, visando otimizar a produção de mudas sob condições de salinidade.

REFERÊNCIAS

- ABBASI, H.; JAMIL, M.; HAQ, A.; ALI, S.; AHMAD, R.; MALIK, Z.; PARVEEN, Z. Salt stress manifestation on plants, mechanism of salt tolerance and potassium role in alleviating it: a review. **Zemdirbyste-Agriculture**, v. 103, n. 2, p. 229-238, 2016.
- AHMAD, Z.; KHALIQ, A.; WARAICH, E. A.; ARTYSZAK, A.; ZAMAN, Q. U.; ABBASI, A.; IQBAL, M. A.; ALHARBY, H. F.; ALMAGHAMSI, A. A.; QAMAR, M. J.; BAMAGOOS, A. Exogenously Applied Silicon and Zinc Mitigates Salt Stress by Improving Leaf Pigments and Antioxidant Activities in Canola Cultivars. **Silicon**, v. 15, p. 5435–5444, 2023.
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. 2. ed. Campina Grande: UFPB, 1999. 153 p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 29).
- BACK, A. J.; PETRY, H. B. Manual do programa para recomendação de adubação da cultura do maracujazeiro: AdubaMaracujá 1.0. **Boletim Técnico**, n. 218, 2024.
- BEZERRA, F. S. **Silício nos aspectos fisiológicos e produção de mudas de maracujazeiro amarelo sob salinidade hídrica**. 2020. Orientador: Dr. Walter Esfrain Pereira e coorientação: Dr. Lourival Ferreira Cavalcante. 85 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2020.
- BEZERRA NETO, E.; BARRETO, L. P. **Análises químicas e bioquímicas em plantas**. Recife: Editora Universitária da UFRPE, 2011.
- BEZERRA, J. D.; PEREIRA, W. E.; SILVA, J. M. DA; RAPOSO, R. W. C. Crescimento de dois cultivares de maracujazeiro-amarelo sob condições de Salinidade. **Revista Ceres**, v. 63, n. 4, p. 502–508, 2016.
- BISWAS, S.; MISHRA, R.; BIST, A. S. Passion to profession: a review of Passion fruit processing. **Aptisi Transactions on Technopreneurship**, v. 3, n. 1, p. 48-57, 2021.
- CAIRO, P. A. R. **Relações hídricas de plantas**. Vitória da Conquista: UESB, 1995.
- CAMARGO, M. S. Efeito do silício na tolerância das plantas aos estresses bióticos e abióticos. **Informações Agronômicas**, v. 155, p. 1-9, 2016.
- CAMPOS DE SÁ, L.; LAZAROTTO, M.; AVRELLA, E. D.; HILGERT, M. A.; FIOR, C. S. Estresse hídrico e salino no crescimento inicial de mudas de *Toona ciliata* var. *australis*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 43, 2023.
- CAVALCANTE, L.F.; SOUSA, G.G.; GONDIM, S.C.; FIGUEIREDO, F.L.; CAVALCANTE, Í. H. L.; DINIZ, A. A. Crescimento inicial do maracujazeiro amarelo manejado em dois substratos irrigados com água salina. **Irriga**, v. 14, n. 4, p. 504-517, 2009.
- CASSEL, J. L.; GYSI, T.; ROTHER, G. M.; PIMENTA, B. D.; LUDWIG, R. L.; SANTOS, D. B. dos. Benefícios da aplicação de silício em plantas / Benefits of the application of silicon in plants. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 4, n. 4, p. 6601–6615, 2021.

COSTA, B. N. S.; COSTA, I. de J. S.; DIAS, G. de M. G.; ASSIS, F. A. de; PIO, L. A. S.; SOARES, J. D. R.; PASQUAL, M. Morpho-anatomical and physiological alterations of passion fruit fertilized with silicone. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, n. 2, p. 163–171, fev. 2018.

COSTA, B. N. S.; DIAS, G. de M. G.; COSTA, I. de J. S.; ASSIS, F. A. de; SILVEIRA, F. A. da; PASQUAL, M. Effects of silicon on the growth and genetic stability of passion fruit. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 38, n. 4, p. 503-511, 2 set. 2016.

CRUZ, J. L.; PELACANI, C. R.; COELHO, E. F.; CALDAS, R. C.; ALMEIDA, A. Q.; QUEIROZ, J. R. Influência da salinidade sobre o crescimento, absorção e distribuição de sódio, cloro e macronutrientes em plântulas de maracujazeiro-amarelo. **Bragantia**, v. 65, n. 2, p. 275-284, 2006.

DELAVAR, K.; GHANATI, F.; BEHMANESH, M.; ZARE-MAIVAN, H. Physiological parameters of silicon-treated maize under salt stress conditions. **Silicon**, v. 10, p. 2585–2592, 2018.

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

DINIZ, G. L.; NOBRE, R. G.; LIMA, G. S. de; SOUZA, L. de P.; SOARES, L. A. dos A.; GHEYI, H. R. Phytomass and quality of yellow passion fruit seedlings under salt stress and silicon fertilization. **Comunicata Scientiae**, v. 11, p. 3400, 2020.

DINIZ, G. L.; NOBRE, R. G.; LIMA, G. S.; SOARES, L. A. A.; GHEYI, H. R. Irrigation with saline water and silicate fertilization in the cultivation of ‘Gigante Amarelo’ passion fruit. **Revista Caatinga**, v. 34, n. 1, p. 199-207, 2021.

DUTRA, A. F.; LEITE, M. R. L.; MELO, C. C. D. F. et al. Soil and foliar Si fertilization alters elemental stoichiometry and increases yield of sugarcane cultivars. **Scientific Reports**, v. 13, p. 16040, 2023.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Maracujá**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/mandioca-e-fruticultura/cultivos/maracuja>. Acesso em: 14 set. 2024.

FAGUNDES, A. V. W. **Produção de mudas de cultivares de maracujazeiro (*Passiflora spp.*) em função de fontes e doses de silício**. 2023. 55 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2023.

FALEIRO, F. G.; JUNQUEIRA, N. T. V.; JUNGHANS, T. G.; JESUS, O. N. de; MIRANDA, D.; OTONI, W. C. Advances in passion fruit (*Passiflora spp.*) propagation. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 41, n. 2, p. 155, 2019.

FALEIRO, F. G.; JUNQUEIRA, T. V. **Maracujá: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília, DF: Embrapa, 2016.

FALEIRO, F. G. Maracujá fruta nativa do Brasil para o mundo. **Anuário Campo & Negócios Hortifrutí**, v. 11, p. 79-81, 2022.

FALEIRO, F. G.; JUNQUEIRA, N. T. V.; COSTA, A. M. **Ações de pesquisa e desenvolvimento para o uso diversificado de espécies comerciais e silvestres de maracujá (*Passiflora* spp.)**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2015. 26 p. (Documentos, 329).

FAROUK, S.; ELHINDI, K. M.; ALOTAIBI, M. A. Silicon supplementation mitigates salinity stress on *Ocimum basilicum* L. via improving water balance, ion homeostasis, and antioxidant defense system. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 206, p. 111396, 2020.

FREIRE, J. L. de O.; NASCIMENTO, G. de S. Produção de mudas de maracujazeiros amarelo e roxo irrigadas com águas salinas e uso de urina de vaca. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, p. 981-988, 2018.

GAUR, S.; KUMAR, J.; KUMAR, D.; CHAUHAN, D. K.; PRASAD, S. M.; SRIVASTAVA, P. K. Fascinating impact of silicon and silicon transporters in plants: A review. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 202, n. March, p. 110885, 2020.

GREGER, M.; LANDBERG, T.; VACULÍK, M. Silicon Influences Soil Availability and Accumulation of Mineral Nutrients in Various Plant Species. **Plants**, v. 7, n. 2, p. 41, 2018.

HURTADO, A. C.; CHICONATO, D. A.; PRADO, R. de M.; JUNIOR, G. da S. S.; GRATÃO, P. L.; FELISBERTO, G.; VICIEDO, D. O.; SANTOS, D. M. M. Different methods of silicon application attenuate salt stress in sorghum and sunflower by modifying the antioxidative defense mechanism. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 203, 2020.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção de maracujá**. 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/maracuja/br>. Acesso em: 19 jul. 2023.

JAM, B. J.; SHEKARI, F.; ANDALIBI, B.; FOTOVAT, R.; JAFARIAN, V.; DOLATABADIYAN, Á. The Effects of Salicylic acid and Silicon on Seed Yield, Oil Content, and Fatty Acids Composition in Safflower under Salinity Stress. **PREPRINT (Version 1) available at Research Square**, v. 10, 2022.

JUNGHANS, T. G. **Espécies de maracujazeiro: uma riqueza do Brasil**. Cruz das Almas, BA: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2022. 203 p.

KHAN, A.; KHAN, A. L.; MUNEEB, S.; KIM, Y. H.; AL-RAWAHI, A.; AL-HARRASI, A. Silicon and Salinity: Crosstalk in Crop-Mediated Stress Tolerance Mechanisms. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, p. 1429, 2019.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes, 1928. Wall-map 150 cm x 200 cm.

LI, H.; ZHU, Y.; HU, Y.; HAN, W.; GONG, H. Beneficial effects of silicon in alleviating salinity stress of tomato seedlings grown under sand culture. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 37, n. 71, 2015.

LI, Z.; SONG, Z.; YAN, Z.; HAO, Q.; SONG, A.; LIU, L.; YANG, X.; XIA, S.; LIANG, Y. Silicon enhancement of estimated plant biomass carbon accumulation under abiotic and biotic stresses. A meta-analysis. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 38, n. 26, 2018.

LIMA, G. S. de; SOUZA, W. B. B. de; PAIVA, F. J. da S.; SOARES, L. A. dos A.; TORRES, R. A. F.; SILVA, S. T. de A.; GHEYI, H. R.; LOPES, K. P. Tolerance of sour passion fruit cultivars to salt stress in a semi-arid region. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 27, n. 10, p. 785–794, 2023a.

LIMA, G. S. de; PINHEIRO, F. W. A.; SOUZA, W. B. B. de; SOARES, L. A. dos A.; GHEYI, H. R.; NOBRE, R. G.; QUEIROGA, R. C. F. de; FERNANDES, P. D. Physiological indices of sour passion fruit under brackish water irrigation strategies and potassium fertilization. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 27, n. 5, p. 383–392, 2023b.

LIMA, G. S. de; ANDRADE, J. N. F. de; MEDEIROS, M. N. V. de; SOARES, L. A. dos A.; GHEYI, H. R.; NOBRE, R. G.; FERNANDES, P. D.; LACERDA, C. N. de. Gas exchange, growth, and quality of passion fruit seedlings cultivated with saline water. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 42, n. 1, p. 137–154, 2021.

LINHARES, G. A. N. Maracujazeiro azedo adubado com fontes de silício: absorção e translocação de silício e caracterização fisiológica. **In: Fontes de silício em mamoeiro e maracujazeiro: crescimento, fisiologia e indução de resistência**. 107 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ, 2019.

LIU, B.; SOUNDARARAJAN, P.; MANIVANNAN, A. Mechanisms of Silicon-Mediated Amelioration of Salt Stress in Plants. **Plants**, v. 8, n. 9, p. 307, 2019.

MAHMOUD, A. W. M.; ABDELDAYM, E. A.; ABDELAZIZ, S. M.; EL-SAWY, M. B. I.; MOTTALEB, S. A. Synergetic Effects of Zinc, Boron, Silicon, and Zeolite Nanoparticles on Confer Tolerance in Potato Plants Subjected to Salinity. **Agronomy**, v. 10, n. 19, 2020.

MELETTI, L. M. M. **Avanços na cultura do maracujá no Brasil**. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, p. 83-91, 2011.

MENEGALE, M. L. C.; CASTRO, G. S. A.; MANCUSO, M. A. C. Silício: interação com o sistema solo-planta. **Journal of Agronomic Sciences**, Umuarama, v. 4, n. especial, p. 435-454, 2015.

MENEGHETTI, A. M. **Manual de procedimentos de amostragem e análise química de plantas, solo e fertilizantes**. Curitiba: EDUTFPR, 2018. 251 p.

MESQUITA, F. O.; BATISTA, R. O.; ALVES, J. M.; SOUTO, A. G. L.; PEDROSA, T. D.; MESQUITA, E. F. Uso de biofertilizantes y aguas salinas en la formación de plántulas de frutas de pasión amarilla. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 16, n. 2, p. e8768, 2023.

MOURA, R. S.; GHEYI, H. R.; CRUZ, A. L.; NASCIMENTO, B. S.; MENEZES, E. P.; COELHO FILHO, M. A. Propagation of yellow passion fruit seedlings by cutting, grafting and seeds under salt stress. **Bioscience Journal**, v. 38, p. 38062, 2022.

MUHAMMAD, H. M. D.; ABBAS, A.; AHMAD, R. Fascinating role of silicon nanoparticles to mitigate adverse effects of salinity in fruit trees: a mechanistic approach. **Silicon**, v. 14, p. 8319-8326, 2022.

NASCIMENTO, E. S.; CAVALCANTE, L. F.; GONDIM, S. C.; SOUZA, J. T. A.; BEZERRA, F. T. C.; BEZERRA, M. A. F. Formação de mudas de maracujazeiro amarelo irrigadas com águas salinas e biofertilizantes de esterco bovino. **Revista Agropecuária Técnica**, Areia-PB, v. 38, n. 1, p. 1-8, 2017.

NOBRE, R. G.; ARAÚJO, J. B.; CARVALHO, K. M. P.; BEZERRA, I. L.; SILVA, L. A.; SOUZA, M. S. M.; RODRIGUES FILHO, R. A. Quality of yellow passion fruit seedlings under saline water irrigation and salicylic acid concentrations. **Revista Caatinga**, v. 37, p. 11879, 2024.

PAIVA, F. J. da S.; LIMA, G. S. de; LIMA, V. L. A. de; DE SOUZA, W. B. B.; SOARES, L. A. dos A.; DA SILVA, F. A.; DE FÁTIMA, R. T.; TORRES, R. A. F. Mineral composition of sour passion fruit cultivated under irrigation with saline water and potassium fertilization. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 37, p. 12477, 2024.

PAIVA, F. J. da S.; LIMA, G. S. de; LIMA, V. L. A. de; NUNES, K. G.; FERNANDES, P. D. Trocas gasosas e produção de maracujazeiro em função da natureza catiônica da água de irrigação. **Revista Caatinga**, v. 34, p. 926-936, 2021.

PEREIRA, M. B.; NÓBREGA, J. S.; FÁTIMA, R. T.; LOPES, M. F. Q.; FERREIRA, J. T. A.; RIBEIRO, J. E. S.; FIGUEIREDO, F. R. A.; PEREIRA, W. E.; LIMA, G. S.; SOARES, L. A. A. Effect of saline stress, and nitrogen and potassium fertilization on morphophysiology of *Passiflora edulis* Sims. f. flavicarpa Dreg. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 19, n. 2, p. 3696, 2024.

PINHEIRO, F. W. A.; LIMA, G. S. de; GHEYI, H. R.; SOARES, L. A. dos A.; OLIVEIRA, S. G. de; SILVA, F. A. da. Gas exchange and yellow passion fruit production under irrigation strategies using brackish water and potassium. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 53, p. 1-11, 2022.

RAO, G. B.; PI, P. Y.; SYRIAC, E. K. Silicon nutrition in rice: A review. **J Pharmacogn Phytochem**, v. 6, n. 6, p. 390-392, 2017.

REA, R. S.; ISLAM, M. R.; RAHMAN, M. M.; NATH, B.; MIX, K. Growth, Nutrient Accumulation, and Drought Tolerance in Crop Plants with Silicon Application: A Review. **Sustainability**, v. 14, n. 8, p. 4525, 2022.

SÁ, J. R. de; TOLEDO, F. H. S. F. de; MARIÑO, 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**, Jaboticabal, v. 43, n. 1, p. 057, 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**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.

SANTOS, L. C. dos; SILVA, G. A. M. da; ABRANCHES, M. de O.; ROCHA, J. L. A.; SILVA, S. T. de A.; RIBEIRO, M. D. S.; GOMES, V. R.; SEVERO, P. J. da S.; BRILHANTE, C. L.; SOUSA, F. Q. de. O papel do silício nas plantas. **Investigação, Sociedade e Desenvolvimento**, v. 10, n. 7, p. e3810716247, 2021.

SANTOS, M. R. dos; BRITO, C. F. B. Irrigação com água salina, opção agrícola consciente. **Revista Agrotecnologia**, Ipameri, v. 7, n. 1, p. 33-41, 2016.

SHARMA, S.; JOSHI, J.; KATARIA, S.; VERMA, S. K.; CHATTERJEE, S.; JAIN, M.; PATHAK, K.; RASTOGI, A.; BRESTIC, M. Regulation of the Calvin cycle under abiotic stresses: an overview. In: TRIPATHI, D. K.; SINGH, V. P.; CHAUHAN, D. K.; SHARMA, S.; PRASAD, S. M.; DUBEY, N. K.; RAMAWAT, N. (Eds.). **Plant life under changing environment**. Academic Press, 2020. Cap. 7, p. 681-717.

SHENG, H.; CHEN, S. Plant silicon-cell wall complexes: identification, model of covalent bond formation and biofunction. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 155, p. 13-19, 2020.

SILVA, F. C. da (Ed.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. rev. ampl. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627 p.

SILVA, F. D. F.; ROCHA, M. D. S.; BRITO NETO, J. F. de; SOFIATTI, V.; BELTRAO, N. D. M. Extravasamento de eletrólitos em algodão herbáceo submetido a alta temperatura e elevado nível de CO₂. In: **Anais do Congresso Brasileiro do Algodão, Cotton Expor**, Campina Grande, PB, Brasil, 8, p. 528-533, 2011.

SILVA, I. J. da; SILVA, F. de A. da; FERNANDES, P. D.; DIAS, M. dos S.; LACERDA, C. N. de; SILVA, A. A. R. da; MARCELINO, A. D. A. de L.; MELO, A. R. de; REIS, L. S.; LIMA, R. F. de. Produção de mudas de maracujazeiro-amarelo sob salinidade da água de irrigação. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, v. 10, n. 9, p. e29810918178, 2021.

SINGH, P.; KUMAR, V.; SHARMA, A. Interaction of silicon with cell wall components in plants: a review. **Journal of Applied and Natural Science**, v. 15, n. 2, p. 480-497, 2023.

SOBRINHO, T. G.; SILVA, A. A. R. da; LIMA, G. S. de; LIMA, V. L. A. de; BORGES, V. E.; NUNES, K. G.; SOARES, L. A. de A.; SABOYA, L. M. F.; GHEYI, H. R.; GOMES, J. P. Aplicações foliares de ácido salicílico no aumento da tolerância ao estresse salino em maracujá azedo em dois ciclos de cultivo. **Plantas**, v. 12, n. 10, 2023.

SOURI, Z.; KHANNA, K.; KARIMI, N.; AHMAD, P. Silicon and plants: current knowledge and future prospects. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 40, p. 906-925, 2021.

SOUZA, B. N. de. **Silício no desenvolvimento morfofisiológico de mudas de maracujazeiro amarelo**. 2015. 79 p. Dissertação (Mestrado Acadêmico) – Universidade Federal de Lavras, 2015.

SOUZA, T. M. A. D.; MENDONÇA, V.; SÁ, F. V. D. S.; SILVA, M. J. D.; DOURADO, C. S. T. Calcium silicate as salt stress attenuator in seedlings of yellow passion fruit cv. BRS GA1. **Revista Caatinga**, v. 33, n. 2, p. 509-517, 2020.

TAIZ, L.; MOLLER, E. Z. I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888 p.

TAVARES, R. F. de M. **Silício no maracujazeiro azedo: aspectos morfológicos, fisiológicos e nutricionais**. 2021. 111 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 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: Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174 p. (Boletim Técnico de Solos, 5).

TORRES, R. A. F.; PAIVA, F. J. da S.; LIMA, G. S. de; SOARES, L. A. dos A.; ALMEIDA, A. K. C. de; OLIVEIRA, V. K. N.; SILVA, S. S. da; MENDONÇA, A. J. T. Indução de tolerância ao ácido salicílico em maracujá azedo irrigado com água de diferentes composições catiônicas. **Comunicata Scientiae**, v. p. e3898, 2022.

TUNA, A. L.; KAYA, C.; HIGGS, D.; MURILLO-AMADOR, B.; AYDEMIR, S.; GIRGIN, A. R. Silicon improves salinity tolerance in wheat plants. **Environmental and Experimental Botany**, v. 62, n. 1, p. 10-16, 2008.

VIEIRA, L. A.; CARVALHO, V. da S. A.; PIMENTEL, V. da S.; MOREIRA, E. M.; VIEIRA, A. C.; SILVA, F. R. da S. e; RIBEIRO, J. M. R.; GURGEL, F. de L.; ANDRADE NETO, R. de C.; ARÉVALO, M. R.; ROSSI, C. Q.; VIEIRA, D. D. S. S. **Avaliação do desenvolvimento de cultivares de maracujazeiro amarelo (*Passiflora edulis*) em diferentes substratos**. In: SILVA, L. F. da; OLIVEIRA, V. C. de (org.). Ciências agrárias: estudos sistemáticos e pesquisas avançadas 4. Ponta Grossa: Atena, 2023. cap. 3, p. 29-46.