

**SILÍCIO E CLORETO DE SÓDIO NA  
NUTRIÇÃO E PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA  
DO MARACUJAZEIRO AMARELO EM  
SOLUÇÃO NUTRITIVA**

**JOSÉ ROBERTO DE SÁ**

**2005**

JOSÉ ROBERTO DE SÁ

**SILÍCIO E CLORETO DE SÓDIO NA NUTRIÇÃO E PRODUÇÃO DE  
MATÉRIA SECA DO MARACUJAZEIRO AMARELO  
EM SOLUÇÃO NUTRITIVA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia, área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas, para a obtenção do título de "Doutor".

Orientadora

Prof.<sup>a</sup> Dra. Janice Guedes de Carvalho

LAVRAS  
MINAS GERAIS -  
2005

**JOSÉ ROBERTO DE SÁ**

**SILÍCIO E CLORETO DE SÓDIO NA NUTRIÇÃO E PRODUÇÃO DE  
MATÉRIA SECA DO MARACUJAZEIRO AMARELO  
EM SOLUÇÃO NUTRITIVA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia, área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas, para a obtenção do título de "Doutor".

APROVADA em 29 de Agosto de 2005

Prof. Dr. Carlos Alberto da Silva

DCS/UFLA

Prof. Dr. Ruy Carvalho

DQI/UFLA

Prof. Dr. Takahashi Muraoka

CENA/USP

Dr. Cláudio Roberto Fonsêca Sousa Soares

BOLSISTA  
PRODOC-CAPES/UFLA

  
Prof. Dra. Janice Guedes de Carvalho  
UFLA  
(Orientadora)

LAVRAS  
MINAS GERAIS – BRASIL

A Deus, pelo ensinamento de andar sempre na presença dele e pelo simples ensinamento de compreender a vida, diante dos desafios, saudade e dor. A mim, por acreditar em mim, na luta, na imperfeição e incerteza do meu lado humano, mas sobretudo na vontade de querer acertar. Aos que desejam denunciar a falta de justiça e não conseguem um “zoom” maior de oportunidade.

## **OFEREÇO**

Aos meus queridos pais Raimundo Celestino de Sá e Maria de Fátima Sá; às minhas irmãs: Maria dos Remédios, Perpetuo Socorro, Rosana, Rosilene, Ana Paula e Maria Aparecida. Ao meu irmão Romero Sá; aos meus sobrinhos Pedro Bismarck e Guilherme; a minha esposa Josefa Alves de Sá e ao meu filho que anunciou sua chegada, mas que desistiu; aos futuros filhos ou filhas que virão; às minhas avós: Izaura e Senhora Alves; aos meus avós Manoel e João Celestino (in memoriam); ao meu tio Zé de João (in memoriam) e a todos os agricultores e filhos de agricultores sofridos do sertão paraibano e de todo Brasil.

**DEDICO**

## **AGRADECIMENTOS**

### **Agradeço:**

A Deus pela proteção da vida e pela imperfeita e incerta psicografia da humanidade.

À querida professora Dr<sup>a</sup>. Janice Guedes de Carvalho, pela orientação neste trabalho e também em todo período do curso, pela amizade, sinceridade, paciência, experiência, sabedoria e compreensão de lidar com a forma de como cada um desempenha suas atividades dentro dos seus respectivos limites intelectuais.

Aos meus pais, cunhados, sobrinhos, irmãs e irmão, por confiarem em mim.  
A minha querida esposa Josefa Alves de Sá (Jôsy) pelo amor verdadeiro e companheirismo, ingredientes que me levaram a compreender melhor o sentido da vida e tê-la como a minha panacéia.

Ao Departamento de Ciência do Solo, à Universidade Federal de Lavras pela oportunidade da realização do curso de doutorado e ao PROIN-DCS-UFLA.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudo.

Ao prezado Professor Dr. Luiz Roberto Guimarães Guilherme pela fantástica recepção quando coordenador, ousando ser meu fiador e pala sua agilidade e dinamismo, frente à coordenação do curso, além dos ensinamentos técnicos da ciência.

Ao Professor Dr. Carlos Alberto Silva, pela participação preciosa em várias atividades do meu plano de curso e pelas sugestões na composição da tese.

Ao Dr. Cláudio Roberto Fonsêca Sousa Soares, pelo curso do sigmaplot e por auxiliar em muitas dúvidas sobre o uso do programa, quer seja ao telefone ou na sua própria residência e pelas sugestões precisas na composição da tese.

Ao professor Dr. Rui Carvalho, pela grande contribuição na correção, com sugestões preciosas na composição da tese.

Ao professor Dr. Takashi Muraoka pela brilhante participação na banca examinadora, com sugestões preciosas para a parte escrita desse trabalho.

Ao colegiado do curso de Pós-Graduação do DCS-UFLA, por decisões preciosas para o engrandecimento do nosso curso.

Ao Sr. Coordenador do curso, Dr. José Oswaldo Siqueira, pelo compromisso e forma de agir com o nosso programa de Pós-Graduação do DCS-UFLA.

A todos os professores do DCS, principalmente ao Professor Dr. Nilton Cury, pela sua brilhante participação nas aulas práticas de Gênese, honra em tê-lo como professor. Ao Professor emérito, Dr. Alfredo Scheid Lopes pela disponibilidade de material no período da minha qualificação.

À ex-funcinária Val do PROIN e ao atual funcionário do PROIN, Emerson dos Santos e sua namorada Daniela Soares, que, por várias vezes nos momentos mais difíceis, quando o meu computador travava, emprestavam-me o seu computador, além de irem a minha residência tentar consertar a máquina. Aos competentes funcionários da biblioteca Central-UFLA. A todos os funcionários do DCS, entre eles José Roberto (Pezão), Maria Alice, Joyce, Victor, Roberto, Roberta, Bosco, Daniel, Humberto Dimas Fenandes, Delanne, João e principalmente ao Adalberto pelo auxílio nas análises de laboratórios.

Ao grande cientista, Professor Dr. Daniel Furtado Pereira (DEX-UFLA) pelo programa SISVAR e pelos ensinamentos. Ao Professor Augusto Ramalho de Moraes (DEX-UFLA) pela simpática recepção em sua sala quando o procurava

Aos colegas do DCS: Orlando Sílvio Caíres Neves, Otacílio José Passos Rangel, Carlos Ribeiro Rodrigues, Daniela Zuliani, Márcio Neres dos Santos, Francisco Nildo da Silva, doutora Daniela Benedito e ao seu filho Luiz Felipe, José Geraldo, Renato Ferreira, Ana Rosa, Rafaela Nóbrega, Rodrigo Martins (Rodrigão), Alessandra Tokura, Jussara, Juliano March e sua esposa Edilene, Alexandre Barberi, Adélia Pozza, Mari Lúcia, Paulo Pinho, Antonio Claret, Felipe Campos Figueiredo, Fábio Aurélio, Túlio, Walfrido, Lucas, Emanuele, Bruno Oliveira Dias, Regilene, Daniela Miranda, Alessandra Monteiro e sua avó Dolores, Vnicius Voçora, Vinícius Polynove, Alexandre Araújo (Xandão), Gigi, Silvana, Sergio Gualberto, Gláucia, Robervone, aos colegas da última republica (Josinaldo Araújo e Leandro Flávio Carneiro), Flávio Pereira de Oliveira, Tácio Oliveira, a todos os demais colegas que são tantos. Aos amigos da primeira república da praça Augusto Silva, o comandante (Cícero Bezerra de Menezes↔Ceará, Frontino e Alexandre-São João Del Rey). Aos demais colegas da Pós-Graduação: Sandra, Vanessa, Tatiane, Aurélio Antas Miguel, Flávio Henrique Linhares Magalhães, José Airton, Germano Augusto Jerônimo do Nascimento, Edson Silva, Ricardo Cavalcanti, Sirlei de Oliveira e tantos outros colegas...

Aos estudantes de graduação (irmãos caçulas): Eric Victor de Oliveira Ferreira (bolsista de iniciação científica-CNPq), Natália Victor Pereira (bolsista do CNPq) e Rodrigo Pereira de Assis (bolsista-FAPEMIG) e Regina Batistela (Regininha).

As inolvidáveis irmãs do colégio Santa Rita-Areia-Paraíba, irmã Matilde, irmã Francisca Schimit, irmã Filipina e irmã Frida pela transferência de paz espiritual.

Ao Professor Dr. Lourival Ferreira Cavalcante, pela oportunidade de conceder-me acompanhar os projetos dos seus orientados, bolsistas PIBIC/CNPq, durante um ano na sua Fazenda experimental, Macaquinhos-Remígio-PB, resultando na minha monografia de graduação.

Ao Professor Dr. Genildo Bandeira Bruno, C.C.A Campus III, por incluir-me aos seus projetos, tornando-me bolsista do PIBIC/CNPq, durante um ano, período decisivo para minha história acadêmica.

Ao Professor. Dr. Fernando Felipe Ferreyra Hernandez, pela orientação no mestrado, na UFC-CE.

Ao Professor Joaquim Regis Malheiros Filho pela orientação durante um ano na monitoria da disciplina Forragicultura I do departamento de Zootecnia, C.C.A. Campus III-Areia-PB.

Ao Professor do C.C.A- Campus III-Areia-UFPB Francisco Assis de Oliveira pela disponibilidade de material no período do meu mestrado-UFC-CE, minha eterna gratidão. Ao professor Ivandro de França da Silva pela capacidade educadora de ser.

Aos Professores (UFC) Dr. Teogenes Senna de Oliveira, Dr. Boanerges Freire de Aquino e ao Dr. Francisco Aécio Guedes de Almeida pelas cartas de recomendações para o programa de pós-graduação a nível de doutorado do DCS-UFLA, minha eterna gratidão pela sinceridade desses professores.

À minha família espiritual lavrense: Albertina Pena Lima (senhora Tininha) e suas filhas Zeca, Marlene, Tita e seus filhos Marquinhos e Murilo. Arlete Pena Souza e seu esposo Almir e suas filhas Alexandra e Camila e seu filho Almir jr. À senhora Amélia Pena Cirilo e ao seu esposo Geraldo Cirilo.

Às amigas responsáveis pela limpeza do Departamento e pelo dois cafés de cada dia: Leninha, Ritinha, Eliane e Márcia.

## SUMÁRIO

RESUMO .....	i
ABSTRACT .....	ii
1 INTRODUÇÃO .....	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO .....	3
2.1 Caracterização e importância econômica do maracujá .....	3
2.2 Origem dos sais nos solos e seus problemas .....	4
2.3 Efeito da salinidade no crescimento das plantas .....	6
2.4 Efeito da salinidade e do sódio na disponibilidade dos nutrientes .....	8
2.5 Efeito dos sais sobre as plantas .....	9
2.6 Efeito da salinidade na nutrição das plantas.....	12
2.7 Efeito amenizante do silício sobre o estresse salino nas plantas.....	15
3 MATERIAL E MÉTODOS .....	21
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	23
4.1 Crescimento das plantas.....	23
4.2 Acúmulo dos nutrientes nas plantas.....	34
4.2.1 Efeito do NaCl e SiO <sub>2</sub> sobre o acúmulo de macronutrientes nas raízes de maracujazeiro amarelo. ....	34
4.2.2 Efeito do NaCl e SiO <sub>2</sub> sobre o acúmulo de macronutrientes no caule de maracujazeiro amarelo .....	43
4.2.3 Efeito do NaCl e do SiO <sub>2</sub> sobre o acúmulo de macronutrientes nas folhas de maracujazeiro amarelo.....	53
4.2.4 Efeito do NaCl e SiO <sub>2</sub> sobre o acúmulo de micronutrientes nas raízes de maracujazeiro amarelo. ....	61
4.2.5 Efeito do NaCl e SiO <sub>2</sub> sobre o acúmulo de micronutrientes no caule de maracujazeiro amarelo. ....	70

4.2.6 Efeito do NaCl e SiO <sub>2</sub> sobre o acúmulo de micronutrientes nas folhas de maracujazeiro amarelo .....	79
4.2.7 Efeito do NaCl e SiO <sub>2</sub> sobre o acúmulo de Na, SiO <sub>2</sub> e Cl nas raízes de maracujazeiro amarelo .....	88
4.2.8 Efeito do NaCl e SiO <sub>2</sub> sobre o acúmulo de Na, SiO <sub>2</sub> e Cl no caule de maracujazeiro amarelo .....	93
4.2.9 Efeito do NaCl e SiO <sub>2</sub> sobre o acúmulo de Na, SiO <sub>2</sub> e Cl nas folhas de maracujazeiro amarelo .....	99
4.3 Balanço iônico nas plantas .....	105
4.3.1 Efeito do NaCl e SiO <sub>2</sub> sobre as relações Na/K, Na/Ca, Na/Mg, nas raízes de maracujazeiro amarelo .....	105
4.3.2 Efeito do NaCl e SiO <sub>2</sub> sobre as relações Na/K, Na/Ca, Na/Mg, nas folhas de maracujazeiro amarelo.....	110
4.4 Transporte dos nutrientes nas plantas.....	114
4.4.1 Efeito do NaCl e SiO <sub>2</sub> sobre a translocação dos macronutrientes à parte aérea do maracujazeiro amarelo.....	114
4.4.2 Efeito do NaCl e SiO <sub>2</sub> sobre a translocação dos micronutrientes à parte aérea do maracujazeiro amarelo.....	123
4.4.3 Efeito do NaCl e SiO <sub>2</sub> sobre a translocação do Na, SiO <sub>2</sub> e Cl à parte aérea do maracujazeiro amarelo.....	131
5 CONCLUSÕES.....	138
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	139
ANEXOS .....	149

## RESUMO

SÁ, José Roberto de. **Silício e cloreto de sódio na nutrição e produção de matéria seca do maracujazeiro amarelo em solução nutritiva.** 2005. 163p. Tese (Doutorado em Agronomia/Solos e Nutrição de Plantas)-Universidade Federal de Lavras, Lavras - MG.\*

A inibição do crescimento das plantas, induzida pela salinidade, é consequência do efeito osmótico e do efeito específico dos íons, causando toxidez ou desordens nutricionais. Sendo assim, conduziram-se estudos para verificar o efeito do Si no controle do estresse salino no maracujazeiro amarelo (*Passiflora edulis Sims f. flavicarpa Degener.*) em solução nutritiva, em casa de vegetação do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras. Utilizaram-se o esquema fatorial e o delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições, e uma planta por vaso de 3 L de capacidade, em que o primeiro fator referiu-se às doses de NaCl de NaCl (0; 7,5; 15; 30 e 60 mmol L<sup>-1</sup>) e o segundo às doses de SiO<sub>2</sub> (0,0; 0,5; 1,0 e 1,5 mmol L<sup>-1</sup>) em solução de Hoagland e Arnon (1950) a 50% da concentração normal. As soluções foram renovadas em intervalos de 7 dias e, aos 35 dias. Após a aplicação dos tratamentos, as plantas foram colhidas, separadas em folhas, caule e raízes secas em estufa aerada a temperatura constante de 65°C. Determinou-se a produção de matéria seca, procedendo-se à moagem do material para determinação dos teores de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn, Zn, Na, Cl, e Si, para calcular o acúmulo dos nutrientes, as relações Na/K, Na/Ca e Na/Mg, a translocação de macro, micronutrientes, Na, Cl e Si. Nas concentrações 7,5, 15 e 30 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, o silício atenuou o estresse salino sobre o crescimento e o estado nutricional das plantas, promoveu maior diâmetro do caule das plantas e a produção de matéria seca das folhas. O silício exerceu efeito positivo no acúmulo e na translocação dos nutrientes, na presença dos níveis intermediários de NaCl. Com as baixas concentrações de NaCl não se observou efeito tóxico dos íons Na e Cl sobre as plantas e nem desequilíbrio nutricional, independente dos níveis de SiO<sub>2</sub> aplicados na solução. No entanto, com a maior concentração de NaCl, o Na e Cl causaram toxidez e desequilíbrio no estado nutricional das plantas.

---

\*Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Janice Guedes de Carvalho – UFLA

## ABSTRACT

SÁ, José Roberto de. **Silicon and sodium chloride on nutrition and dry matter yield yellow passion fruit plants (*Passiflora edulis sims f. flavicarpa degener*) cultivated in nutrient solution.** 2005. 163p. Thesis (Doctorate in Agronomy/Soils and Mineral Nutrition of Plants)-Federal University of Lavras, Lavras - MG.\*

The inhibition of plant growth induced by salinity is a consequence from the osmotic effect and from the specific effect of ions, causing toxicity or nutritional disorders. So, studies to verify the effect of Si on the control of salt stress in yellow passion fruit plants in nutrient solution under greenhouse conditions of the Soil Science Department of the Federal University of Lavras. The experiment followed a completely randomized factorial design, with four replications. In pots of 3 L capacity with one plant each, five levels of NaCl (0; 7.5; 15; 30 and 60 mmol L<sup>-1</sup>) were combined with four levels of SiO<sub>2</sub> (0.0; 0.5; 1.0 and 1.5 mmol L<sup>-1</sup>), in Hoagland and Arnon (1950) nutrient solution at 50% of the normal concentration. The solutions were renewed every 7 days and plants harvested after 35 days. Leaves, stems, and roots were separately dried, at constant temperature of 65°C. Dry matter yield and the contents of N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn, Zn, Na, Cl, and Si, were determined to calculate the accumulation of nutrients, the rations Na/K, Na/Ca and Na/Mg, the translocation of macro, micronutrients, Na, Cl and Si. At the levels 7,5, 15 e 30 mmol L<sup>-1</sup> of NaCl, the silicon attenuated salt stress on the growth and nutritional status of the plants, promoted larger diameter of the plants' stems and dry matter yield of leaves and total. Silicon promoted a positive effect on the accumulation and translocation of nutrients in the presence of the intermediary levels of NaCl. Under low concentrations of NaCl, no toxic effect of the ions Na and Cl on the plants and nor nutritional imbalance was found, regardless of the levels of SiO<sub>2</sub> applied in the solution. Nevertheless, under the high concentration of NaCl, Na and Cl caused toxicity on the plants and imbalance in the nutritional status of the plants.

---

\*Adviser: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Janice Guedes de Carvalho - UFLA

# 1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor de maracujá do mundo. As principais regiões produtoras de maracujá no país são o Nordeste e Sudeste com 46 e 37%, respectivamente, com a produção concentrada nos Estados da Bahia, São Paulo, Sergipe e Minas Gerais (Agrianual, 2005). Quando a comercialização do maracujá era dependente apenas do mercado de frutas frescas, o cultivo do maracujazeiro amarelo passava por ciclos de retração e expansão da área cultivada. Entretanto, motivado pelo elevado crescimento da demanda de frutas frescas, principalmente pela abertura da atividade agroindustrial de produção de suco, o cultivo de maracujazeiro evoluiu rapidamente no Brasil.

A cultura do maracujazeiro no Brasil é de grande importância social, por ser uma fruteira cultivada com visão de comércio para exportação e predominantemente cultivada por pequenos produtores. O cultivo do maracujazeiro gera emprego e fixa a mão-de-obra no campo, ocorrendo também geração de emprego na indústria e nos serviços de comercialização, pois o suco de maracujá é o terceiro mais produzido no Brasil.

Na região semi-árida do Nordeste brasileiro, por se caracterizar com uma elevada evapotranspiração, há sérios problemas com o fornecimento de água através da irrigação. Nessas áreas semi-áridas do Brasil, a salinidade é um dos fatores que mais restringe o potencial produtivo do maracujazeiro amarelo. Devido a esse fato, ocorre um grande consumo de água pelas culturas. Em função disso, uma pequena quantidade de água permanece no solo e concentrações de sais vão se acumulando, e como consequência salinizando os solos. O maracujazeiro amarelo apresenta redução no seu desenvolvimento a uma condutividade elétrica acima de  $1,3 \text{ dSm}^{-1}$ , sendo assim considerado como sensível aos sais (Maas, 1984; Cavalcante et al., 2002b).

A salinidade reduz o crescimento das plantas, em consequência do efeito osmótico, provocando déficit hídrico e, pelo efeito dos íons específicos, causando toxidez e desordens nutricionais. O acúmulo da sílica na epiderme das folhas reduz a perda de água por transpiração. Essa condição confere ao silício a eficiência na redução da exigência de água pelas plantas, reduzindo o estresse salino. Além disso, a sílica acumulada nas folhas das plantas retarda o processo de senescência foliar. Com isso, o objetivo deste trabalho foi avaliar o  $\text{SiO}_2$  como atenuador do efeito salino provocado pelo NaCl sobre o crescimento, e o estado nutricional do maracujazeiro amarelo.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Caracterização e importância econômica do maracujá

O maracujá pertence à ordem Passiflorales, família Passifloraceae, gênero *Passiflora*. Existe cerca de 580 espécies, distribuídas pelas regiões tropicais e subtropicais do mundo. No Brasil, as principais espécies cultivadas nas áreas plantadas são: a *Passiflora alata Dryand.*, popularmente chamada de maracujá doce, a *Passiflora edulis Sims*, conhecida como maracujá roxo e a *Passiflora edulis Sims f. flavicarpa Degener.*, conhecida como maracujazeiro amarelo ou azedo, responsável por 95% da área cultivada comercialmente no Brasil (Ruggiero et al., 1998).

O gênero *Passiflora* caracteriza-se por englobar plantas trepadeiras herbáceas ou lenhosas, geralmente com gavinhas, raramente ervas eretas, espécies arbustivas ou pequenas árvores. Os caules das plantas desse gênero são cilíndricos ou quadrangulares, muito ramificados e, em algumas espécies, podem apresentar-se pilosos e atingir de 5 a 10 m de comprimento (Cunha & Barbosa, 2002).

O maracujazeiro apresenta grande importância no setor agrícola, devido às características físico-químicas das frutas, farmaco-terapêuticas das frutas, alta produtividade e grande aceitação no mercado mundial. Das 150 espécies de maracujá nativo do Brasil, mais de 60 produzem frutas, que podem ser aproveitadas direta ou indiretamente como alimento. A cultura do maracujazeiro ganhou destaque no Brasil a partir do início da década de 70, embora nos anos 50 já existissem indústrias processadoras de suco de maracujá. A crescente importância deste cultivo, aumentando a área plantada, é devido à abertura de novos mercados (Nefrut-UFLA, 2005). A área colhida de maracujá na região Nordeste é de 17.984 hectares, seguida da região Sudeste que apresenta 9,973

hectares, destacando-se essas duas regiões como maior área plantada com maracujá no Brasil (Agrianual, 2005).

A demanda de nutrientes pela planta de maracujá aumenta em proporção ao seu acúmulo de matéria seca. Inicialmente a demanda nutricional pelas plantas é mais intensa a partir dos 120 dias, com maior exigência em N, K e Ca (Haag et al., 1973). Haag et al. (1973) observaram que os nutrientes absorvidos em maior quantidade pelo maracujazeiro são:  $N > K > Ca > S > P > Mg$ . Em relação aos micronutrientes, a demanda decrescente é da seguinte ordem:  $Fe > Zn > Mn > B > Cu$ . O maracujazeiro amarelo é uma planta muito exigente no equilíbrio nutricional, principalmente a partir do início do florescimento, momento em que deverá receber as doses anuais de fertilizantes, baseando-se na análise da fertilidade do solo e da produtividade esperada (Quaggio & Piza Júnior, 1998).

## **2.2 Origem dos sais nos solos e seus problemas**

A salinização dos solos é um problema mundial, atingindo cerca de 25% das áreas irrigadas do globo terrestre. Nesses solos, ocorre o acúmulo de sais solúveis em níveis capazes de prejudicar o crescimento e o desenvolvimento das plantas ou alterar de forma negativa as propriedades do solo. Esses efeitos combinados contribuem para a redução da produtividade das culturas, ocasionando elevados prejuízos sócio-econômicos (Gheyi, 2000).

Nobre et al. (2004) relatam que a salinização do solo nas regiões semi-áridas tem se intensificado nas últimas décadas, devido aos fatores edafoclimáticos e à ação antrópica. No Brasil, esse problema se concentra na região Nordeste, pela baixa precipitação e elevada taxa de evaporação, que promovem o acúmulo de sais nas camadas superficiais do solo, prejudicando o crescimento das plantas. Esse problema se agrava nas áreas onde se pratica a

agricultura irrigada devido ao manejo por vezes inadequado, apesar do aumento na produtividade que esta técnica proporciona.

As principais fontes naturais de sais no solo são o intemperismo mineral, a precipitação atmosférica e os sais fósseis, ou seja, remanescentes de ambientes marinhos ou lacustres. Os sais podem ser adicionados ao solo através de atividades humanas, incluindo o uso de águas de irrigação com qualidade imprópria para o uso agrícola (Bohn et al., 1985). Ayers & Westcot (1999), observaram que o acúmulo dos sais no solo depende da qualidade da água, do manejo da irrigação e da deficiência de drenagem dos solos.

Os sais, quando se acumulam na zona radicular em elevada concentração, causam redução na produção das culturas. Estes sais são, geralmente, provenientes dos íons contidos nas águas de irrigação ou nas águas do lençol freático alto. Quando a concentração de sais no solo é muito elevada mesmo sob condições ideais de umidade no solo, haverá déficit hídrico nas plantas devido ao consumo de água necessária a solvatação dos cátions metálicos. No caso do NaCl, por exemplo, cada cátion  $\text{Na}^+$  e cada ânion  $\text{Cl}^-$  hidratam-se com seis moléculas de água (Mahan, 2003). Esse consumo de água de solvatação foi chamado diminuição da energia livre de água no solo (Bernstein, 1975).

Em geral, as plantas têm comportamentos diferentes diante dos problemas de salinidade e sodicidade. Nem todas as culturas respondem semelhantemente à salinidade, algumas produzem rendimentos aceitáveis em níveis altos e outras são sensíveis em níveis relativamente baixos. Essas respostas dependem da presença de íons tóxicos, principalmente o  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  (Ayers & Westcot, 1999).

### **2.3 Efeito da salinidade no crescimento das plantas**

A salinidade representa os efeitos do complexo salino (cátions e ânions) da água às plantas, que atuam desde a germinação até a fase reprodutiva, processo este conhecido por pressão osmótica. A sodicidade é representada, em maior parte, pelo excesso de sódio trocável que depaupera as propriedades físicas do solo como: infiltração, condutividade hidráulica, estrutura, drenagem e aeração. O efeito tóxico da salinidade às plantas é ocasionada por alguns íons como: cloreto, sódio, boro, sulfato e outros (Epstein, 1975; Malavolta, 1980; Rhoades, 1984). Esses efeitos combinados contribuem para a redução da produtividade das culturas, ocasionando elevados prejuízos sócio-econômicos (Rhoades et al., 2000).

Montes et al. (2004), avaliando o crescimento e teores minerais em duas cultivares de bananeira (pacovan e maçã), submetidas a estresse salino em solução nutritiva, com as concentrações de 0; 9,93; 19,85; 29,78 e 39,70 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, observaram que os níveis de NaCl principalmente os mais elevados reduziram a produção de matéria seca da parte aérea e das raízes das plantas.

Távora et al. (2004), avaliando a composição mineral nas plantas de graviola submetidas em solução nutritiva, com as concentrações 0, 30, 60, 120 e 150 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, observaram que a matéria seca da parte aérea e da raiz decresceu com o aumento dos níveis de NaCl, aplicados na solução.

A redução no crescimento das plantas devido à salinidade pode ser consequência de efeitos osmóticos, provocando déficit hídrico e, ou de efeitos específicos de íons, que podem acarretar toxidez ou desordens nutricionais. O grau de tolerância à salinidade depende da capacidade das plantas de minimizarem os efeitos da salinidade através de mecanismos específicos de adaptação (Lacerda et al., 2003; Munns, 2002).

Soares (2001), ao avaliar o efeito de diferentes níveis de salinidade da água de irrigação, com condutividades elétricas de (0,0, 2,0, 3,0, 4,0, 6,0, 7,0 e

8,0 dSm<sup>-1</sup>), observou que o estresse salino se intensificou com a idade da planta, onde, na fase de muda aos 32 dias de semeadura, o valor crítico da condutividade elétrica do extrato de saturação(CE<sub>s</sub>) foi de 5,61 dSm<sup>-1</sup> e de 2,73 dSm<sup>-1</sup>, aos 77 dias. O autor observou ainda que o efeito foi mais intenso na parte aérea que no sistema radicular.

Cavalcante et al. (2002a), ao avaliarem a germinação de sementes e o crescimento de plantas de maracujá, irrigadas com água salina com condutividade elétrica de (0,5; 1,0; 2,0; 3,0; 4,5 e 6,0 dSm<sup>-1</sup>), em diferentes volumes de substrato, observaram que independente da cultivar, o estresse salino foi maior nas plantas submetidas no substrato com menor volume. No entanto, os genótipos avaliados sofreram mais o efeito do estresse salino durante o crescimento que na germinação das sementes (Cavalcante et al., 2002a).

A inibição do crescimento das plantas pelo estresse salino pode ser causada pela redução do potencial osmótico, ou pela acumulação excessiva de íons. Em função disso, ocorre indução da toxicidade iônica e desequilíbrio nutricional ou até mesmo os dois, ao mesmo tempo (Boursier & Lauchli, 1990).

Ferreira et al. (2001), avaliando os efeitos do estresse salino, cujas concentrações foram 0; 25; 50; 75; 100 e 150 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl sobre o crescimento e composição química das raízes, caule e folhas de goiabeira, observaram que o estresse salino reduziu a matéria seca total e a relação parte aérea/raiz. Com o aumento da concentração de NaCl, os níveis de Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup> aumentaram, com maior acúmulo nas folhas, seguido das raízes. Os teores de Ca foram estáveis nas raízes, mas decresceram no caule e folhas, observando um desequilíbrio nutricional nas plantas (Ferreira et al., 2001).

Neves (2003), avaliando a nutrição mineral e crescimento de mudas de umbuzeiro em solução nutritiva, cujas concentrações foram 0, 20, 40, 60, 80 e 100 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, observou que houve redução de produção da matéria seca em todas as partes das plantas, porém a matéria seca das raízes foi mais

afetada pelo NaCl em relação à parte aérea. Com o aumento dos níveis de NaCl, a relação Na/K aumentou em todas as partes da planta e os elevados teores de  $\text{Cl}^-$  e  $\text{Na}^+$  provocaram um desbalanço nutricional nas plantas de umbuzeiro (Neves, 2003).

#### **2.4 Efeito da salinidade e do sódio na disponibilidade dos nutrientes**

Em solos salinos, o excesso de sais solúveis reduz a absorção de água e nutrientes pelas raízes das plantas, em função dos efeitos do potencial osmótico e da interação entre os íons pelos sítios de absorção. A elevada condutividade elétrica dos solos salinos eleva o potencial osmótico da solução do solo e restringe a absorção dos nutrientes pelas plantas (Bernstein, 1975).

Santos & Muraoka (1997) observaram que no solo salino-sódico, além do efeito osmótico que restringe a absorção de água e nutrientes, nesses solos ocorre também teores elevados de Na, que ocasiona problemas na estruturação do solo. Devido à predominância de Na, trocável no complexo sortivo, estes solos apresentam problemas químicos e físicos, que, além da toxicidade dos íons sobre as plantas, reduzem a decomposição da matéria orgânica e a disponibilidade dos nutrientes. O efeito da salinidade sobre o teor de N parece depender da duração em que a planta é submetida ao estresse salino e, de maior importância, dos diferentes graus de tolerância entre as espécies ou genótipos (Peres-Alfocea et al., 1993).

Lindsay (1979) observou que, em solos sódicos, ocorre redução da disponibilidade de Fe, para cada aumento de uma unidade de pH, alcançando valor mínimo ao redor de pH 9. Além do elevado pH, outros fatores, que restringem a disponibilidade do Fe, são o excesso de  $\text{CaCO}_3$  e de  $\text{HCO}_3^-$ . O B e o Mo são mais solúveis em solos sódicos que em solos com pH neutro. Todavia, alterações no pH e a complexação por compostos orgânicos têm uma maior influência sobre a sua disponibilidade (Lindsay, 1979).

## 2.5 Efeito dos sais sobre as plantas

[Biggar (1984) avaliou que o excesso de sódio resulta em danos, principalmente nas folhas mais velhas, como queimaduras ao longo das bordas, que podem espalhar-se até o centro da folha causando necrose.] [O íon  $\text{Na}^+$  é considerado o íon predominante em ambientes salinos, sendo essencial para algumas espécies de plantas e potencialmente tóxico para a maioria das plantas (Lacerda et al., 2003).]

[Nem todas as culturas respondem igualmente à salinidade. Algumas espécies não têm seu crescimento reduzido a maiores concentrações de sais e outras são sensíveis a baixas concentrações em solução, em função da sua capacidade de adaptação osmótica entre as culturas. Esta capacidade de adaptação é útil, por permitir seleção de culturas tolerantes, capazes de produzir economicamente viável, quando não se pode corrigir a salinidade do solo.] Os limites entre as tolerâncias relativas, mesmo que arbitrários, são de grande utilidade na comparação das culturas e no planejamento geral. Com base em critério técnico das experiências e observações de campo, (Maas, 1984) classificou as plantas quanto à tolerância em sensíveis, moderadamente sensíveis, moderadamente tolerantes e tolerante, em função do limite de salinidade do solo, (Quadro 1).

O Maracujazeiro, por exemplo, é considerada como uma cultura sensível aos sais, restringindo sua produção em solo, que apresente condutividade elétrica acima de  $1,3 \text{ dSm}^{-1}$  (Maas, 1984). Essas considerações também foram obtidas por Cavalcante et al., (2002a), ao observarem que o maracujazeiro sofreu declínio da produção e da qualidade dos frutos na presença de água, com salinidade superior a  $0,9 \text{ dSm}^{-1}$  e quando submetido em solo com condutividade elétrica superior a  $1,3 \text{ dSm}^{-1}$ .

**TABELA 1** Tolerância das culturas em condições de salinidade do solo.

Grupos de tolerância relativa	Salinidade limiar (dSm <sup>-1</sup> )
Sensíveis	< 1,3
Moderadamente sensíveis	1,3 – 3,0
Moderadamente tolerantes	3,0 – 6,0
Tolerantes	6,0 – 10,0
Não adequado à maioria das culturas	> 10,0

Maas (1984) modificado por Ayers & Westcot (1999)

Soares (2001), avaliando os efeitos da salinidade da água de irrigação na cultura do maracujazeiro amarelo, observou que o vigor das plântulas decresceu linearmente, sendo o sistema radicular a parte mais sensível. Os efeitos se intensificaram, com o aumento da condutividade elétrica e com a idade das plantas. Na fase de crescimento e desenvolvimento, foi observado que a salinidade afetou o desenvolvimento como também a produção, em condições de casa de vegetação.

A fotossíntese é limitada, em condições de salinidade, não somente devido ao fechamento estomático, mas também pelo efeito do sal sobre os cloroplastos, em particular sobre o transporte de íons. Quando o acúmulo de NaCl no solo é alto, a absorção de nutrientes minerais, especialmente NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, K<sup>+</sup> e Ca<sup>2+</sup>, é reduzida (Larcher, 2000).

Os efeitos tóxicos e osmóticos dos sais às plantas atuam simultaneamente, daí a dificuldade de diagnosticar qual é o sal mais agressivo. O efeito tóxico afeta diretamente o processo fisiológico e metabólico, enquanto o osmótico atua indiretamente, diminuindo a pressão osmótica da solução do solo, induzindo quedas da absorção de água e nutrientes às plantas. Em ambientes salinos, o NaCl é o sal predominante e o que tem causado maior dano às plantas. Os efeitos sobre a nutrição mineral são decorrentes, principalmente,

da toxicidade de íons, por causa da absorção excessiva de  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$ , e do desequilíbrio nutricional, causado pelos distúrbios na absorção ou distribuição dos nutrientes (Yahya, 1998).

A alta concentração de sais é um fator de estresse para as plantas, pois apresenta atividade osmótica retendo a água, além da ação dos íons sobre o protoplasma. A água é osmoticamente retida em uma solução salina, de forma que o aumento da concentração dos sais torna a água cada vez menos disponível para a planta. O excesso de sódio e, sobretudo, cloreto no protoplasma ocasionam distúrbios em relação ao balanço iônico ( $\text{K}^+$  e  $\text{Ca}^{2+}$  em relação ao  $\text{Na}^+$ ), bem como o efeito específico dos íons sobre as enzimas e membranas. Os efeitos osmóticos ou a ação dos íons específicos, quando absorvidos excedendo o nível de tolerância da planta, provocam distúrbios funcionais e injúrias (Flores, 1990).

Plantas crescendo em solos salinos não podem livrar-se totalmente dos efeitos dos sais, desenvolvendo um grau de tolerância para sua sobrevivência. A tolerância à salinidade é a habilidade tanto de evitar, por meio de uma regulação salina, que excessivas quantidades de sais, provenientes do substrato, alcancem o protoplasma, como de tolerar os efeitos tóxicos e osmóticos, associados ao aumento na concentração de sais (Jeschke et al., 1992).

Taiz & Zeiger (2004) observaram que as plantas minimizam o dano causado pelo sal, ao excluí-lo do meristema, em particular na parte aérea, e de folhas que estão se expandindo de forma ativa e fotossintetizando. Em plantas sensíveis ao sal, a resistência a níveis moderados de salinidade no solo depende, em parte, da capacidade das raízes de impedir que os íons potencialmente prejudiciais alcancem as partes aéreas.

## 2.6 Efeito da salinidade na nutrição das plantas

A suplementação de Ca em plantas, sob estresse salino, reduz a acumulação líquida de Na e mantém os níveis de K e metabólitos fosfatados no tecido radicular (Colmer et al. (1994). Estudos referentes às concentrações de Mg em plantas submetidas sob estresse salino, são bastante limitados. Em experimento com sorgo, observaram concentração constante de Mg na parte aérea (Azevedo Neto et al., 1995). No entanto, Kawasaki et al. (1983) observaram diminuição dos teores de Mg na parte aérea e nas raízes, com o aumento do estresse salino.

Azevedo Neto & Tabosa (2000), ao avaliarem o efeito do estresse salino cujas concentrações foram 0, 25, 50, 75 e 100 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl sobre a distribuição de nutrientes em cultivares de milho, observaram aumento na concentração de Na<sup>+</sup> e redução de K<sup>+</sup>, em todas as partes das plantas. Neste mesmo estudo houve acumulação preferencial de Na<sup>+</sup> nos tecidos do colmo e bainha, redução nos teores de Ca<sup>2+</sup> na raiz, colmo e limbo das plantas. A redução do Mg<sup>2+</sup> ocorreu na raiz e no colmo. A salinidade incrementou as relações Na/K, Na/Ca e Na/Mg em todas as partes das plantas (Azevedo Neto & Tabosa, 2000).

A sobrevivência das plantas em ambiente salino pode resultar de processos adaptativos, envolvendo absorção, transporte e distribuição de íons nos vários órgãos da planta e sua compartimentalização dentro das células (Munns & Termaat, 1986). Cheeseman (1988) observou que os íons inorgânicos desempenham importante papel na preservação do potencial hídrico vegetal. O mecanismo em plantas, conduzindo ao excesso de absorção iônica e exclusão de Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup> de tecidos metabolicamente ativos da parte aérea, pode ser responsável pela tolerância das culturas ao estresse salino. Esta exclusão pode ser efetuada através da acumulação preferencial de íons, em tecidos relativamente tolerantes da raiz ou da parte aérea (Cheeseman, 1988).

O antagonismo iônico em ambiente salino é usualmente seguido pela deficiência nutricional. Em condições de salinidade, foi observado aumento nas concentrações de Na nas raízes, colmo, bainha e limbo de plântulas de milho (Cramer et al., 1994). O aumento do Na, nos tecidos de espécies glicófitas, geralmente, associa-se a uma diminuição na concentração de K (Greenway & Munns, 1980).

Cramer et al. (1985) observaram que o aumento da concentração de Na, no sistema radicular, pode inibir o influxo de K devido à relação competitiva entre cátions. O estresse salino promove aumento no efluxo citossólico de K nas raízes das plantas. Esta perda pode ser o resultado direto de trocas osmoticamente induzidas, na permeabilidade do plasmalema, como também da substituição de Ca por Na na membrana, abrindo canais para K (Cramer et al., 1985).

O aumento na concentração de Na na solução nutritiva ocasionou queda simultânea nos teores de Ca, tanto na parte aérea como nas raízes de milho, independente das características adaptativas das cultivares (Cramer et al., 1994). Elevadas concentrações de Na em solução nutritiva deslocam o Ca da plasmalema das células radiculares, resultando em uma perda da integridade da membrana e efluxo citossólico de solutos orgânicos e inorgânicos (Cramer et al., 1985).

O Na exerce efeito antagônico sobre a absorção de K pelas raízes das plantas, podendo ocorrer substituição deste quando se encontra deficiente no solo, de maneira que, em condições salinas, pode tornar-se um problema às plantas cultivadas (Richards, 1954). Para Naidu & Rengasamy (1993), a presença do Na tende ainda a restringir a taxa de mineralização do N, já que, com o aumento de sua concentração no solo, em geral, a mineralização do N orgânico é reduzida.

Fernandes et al. (2002) ao avaliarem a nutrição mineral das plantas de pupunheira sob diferentes níveis de NaCl (0,0 Na e 0,5 Cl; 1 Na e 0,5 Cl; 5,0; 15; 30; 60 e 120 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl), observaram variação nos teores dos macronutrientes, com o P e K apresentando seus teores reduzidos nas raízes. No entanto, observaram que o K e o Ca nas folhas e o S reduziram nas diferentes partes, enquanto o Na e o Cl aumentaram nas diferentes partes das plantas. Os autores observaram também aumento das relações Na/K, Na/Ca e Na/Mg causando um desbalanço nutricional nas plantas (Fernandes et al., 2002).

Montes et al. (2004), ao avaliarem o crescimento e teores minerais em duas cultivares de bananeira (pacovan e maçã), submetidas a estresse salino, em solução nutritiva, observaram que os níveis de NaCl não afetaram os teores de N e P nas duas cultivares. Porém, reduziram os teores de K, Ca e S e aumentaram os teores de Na e Cl e as relações Na/K e Na/Ca.

Távora et al. (2004), avaliando a composição mineral nas plantas de graviola submetidas em solução nutritiva com NaCl, observaram que os teores de Na e Cl aumentaram em todas as partes das plantas, concentrando-se mais nas raízes. Os autores observaram redução dos teores de K nas raízes e redução menos acentuadas do Ca e Mg, com o Ca concentrando-se mais nas folhas e o Mg nas raízes.

O efeito inibitório do Na<sup>+</sup>, sobre os cátions K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup>, parece resultar de semelhanças e diferenças entre seus raios iônicos de Pauling 0,95, 1,33, 0,99 e 0,65 Å respectivamente (Mahan, 2003). Em condição de baixa concentração, dificilmente o Na<sup>+</sup> competiria com o K<sup>+</sup> ou Mg<sup>2+</sup>, já que seus raios iônicos são discrepantes, o que não ocorre com o Ca<sup>2+</sup>. Entretanto, em ambiente sódico, as relações de tamanho perdem a importância em relação a concentrações, passando essa última a controlar o papel químico do Na<sup>+</sup>.

## **2.7 Efeito amenizante do silício sobre o estresse salino nas plantas**

O Si encontra-se em quase todos os organismos vivos e mesmo não sendo essencial do ponto de vista fisiológico para o crescimento e desenvolvimento das plantas, a sua absorção traz inúmeros benefícios. Chagas (2004) ao avaliar fontes de Si nas culturas do arroz e milho, notou que o Si esteve presente nos tecidos das plantas, mesmo quando submetidas em solução nutritiva sem sílica gel, devido a sua abundância na natureza (reserva da semente e impureza de reagentes) sendo muito difícil eliminá-lo totalmente do meio.

Quanto ao mecanismo de absorção de Si pelas plantas, ocorre por absorção passiva, ou seja, através do fluxo de massa, proporcionalmente a absorção de água pela planta (Jones & Handreck, 1967). Segundo Epstein (1994) o teor de  $\text{SiO}_2$  em algumas culturas está correlacionado com a absorção de água e com concentração de  $\text{H}_4\text{SiO}_4$ , na solução do solo, porém existem diferenças consideráveis entre espécies. Espécies acumuladoras de Si tendem a absorver ativamente contra um gradiente de concentração e absorção de Si é maior do que a quantidade que seria absorvida juntamente com a água.

Os efeitos benéficos do Si nas plantas são reconhecidos em função da sua eficiência na formação da parede celular, aumentando a rigidez das folhas e o crescimento radicular (Malavolta 1980). Santos et al. (2003) observaram que o Si promoveu a formação de uma dupla camada de sílica na epiderme das plantas, mantendo-as mais eretas.

A deposição foliar de Si proporciona maior atividade fotossintética, aumentando a produção de matéria seca (Marschner, 1995). Com a deposição de Si, as células epidérmicas ficam mais grossas e, com um grau maior de lignificação, formando uma barreira mecânica que apresenta a função de limitar a perda de água.

NaCl sobre o acúmulo de matéria seca da raiz e parte aérea do milho e nem nas raízes do sorgo. Resultados atenuantes também não foram observados nos teores de P nas plantas de sorgo e milho e nem nos teores de K, nas plantas de sorgo, cultivadas com os níveis crescentes de NaCl. Porém, os teores de N na parte aérea das plantas de sorgo, aumentaram com o NaCl e diminuíram com o SiO<sub>2</sub>.

Liang et al. (1996), ao avaliarem o efeito de Si em duas cultivares de cevada, tolerantes à salinidade, concluíram que o Si surtiu efeito positivo na redução de Na, somente nas plantas tolerantes, devido à diminuição da permeabilidade da membrana ao Na. Foi observado também que a relação K/Na aumentou com a adição de Si em soluções, contendo elevados e baixos níveis de NaCl, conferindo uma menor absorção de Na e uma maior absorção de K.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras, no período de janeiro a abril de 2004. As sementes de maracujazeiro amarelo (*Passiflora edulis sims f. flavicarpa Degener*), foram semeadas para germinar em bandejas plásticas contendo vermiculita, cuja umidade foi mantida com água destilada, contendo  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$   $0,01 \text{ mmol L}^{-1}$ . Num período de 7 dias, as sementes germinaram e foram transferidas para um recipiente com capacidade para 36 litros a 25% da concentração normal da solução, durante 7 dias e 50% da solução de Hoagland & Arnon (1950) compreendendo um período de 15 dias de aclimação. Após o período de aclimação, as mudas foram cultivadas com 50% da concentração da solução de Hoagland & Arnon (1950), em recipiente com capacidade de 3L às quais foram aplicados os níveis de Si provenientes da fonte  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  e os níveis de NaCl. O Na, adicionado através do silicato, foi subtraído dos níveis originais de NaCl. O  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  apresenta uma percentagem de 18% de  $\text{Na}_2\text{O}$  e 63% de  $\text{SiO}_2$ .

O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial  $5 \times 4$ , com quatro repetições por tratamento, e uma planta por vaso. Os fatores referiram-se as concentrações de NaCl (0,0; 7,5; 15; 30 e  $60 \text{ mmol L}^{-1}$ ) e de  $\text{SiO}_2$  (0,0; 0,5; 1,0 e  $1,5 \text{ mmol L}^{-1}$ ). A condutividade elétrica da solução a 50% variou de 0,87 a  $7,8 \text{ dSm}^{-1}$ . As doses de NaCl foram obtidas, baseadas na condutividade elétrica proposta por Maas (1984) que considerou a condutividade limiar ao crescimento do maracujazeiro a  $1,3 \text{ dSm}^{-1}$ . Os níveis de  $\text{SiO}_2$  foram baseados em concentrações propostas pelos autores citados no referencial teórico. As concentrações foram aplicadas simultaneamente e de forma combinada, em solução nutritiva, a qual foi renovada em intervalos de 7

dias, coletando-se as plantas após 35 dias da aplicação dos tratamentos. As plantas foram separadas em folhas, caule e raízes e levadas à estufa com circulação forçada de ar a 65°C, para secagem até peso constante. Posteriormente, determinou-se a produção de matéria seca e procedeu-se à moagem do material para fins de análises químicas. No extrato obtido por digestão nítrico-perclórica, foram determinados: os teores de P, por colorimetria; Ca e Mg, Cu, Fe, Mn e Zn por espectrofotometria de absorção atômica; K e Na, por fotometria de emissão em chama, e S, por turbidimetria do sulfato de bário (Malavolta et al., 1997). Os teores de N total foram determinados pelo método semimicro Kjeldahl (Malavolta et al., 1997), sendo a destilação e a titulação efetuadas, segundo Bremner & Edwards (1965). Os teores de B, após a digestão seca (incineração), foram determinados por colorimetria (método da curcumina) os teores de Cl foram determinados por titulometria do nitrato de prata (Malavolta et al., 1997) e os de Si, pelo método colorimétrico do “azul-de-molibdênio” (Furlani & Galo, 1978).

A partir dos teores dos nutrientes, e com base na matéria seca, determinou-se o acúmulo dos nutrientes nas raízes, caule e folhas. Determinou-se também, com base nos teores dos nutrientes nas raízes e folhas, as relações Na/K, Na/Ca e Na/Mg. A translocação de nutrientes foi determinada em função do acúmulo de nutriente na parte aérea/ acúmulo de nutriente na planta x 100. As análises de variância e de regressão foram realizadas com o auxílio do programa estatístico SISVAR (Ferreira, 2000), cujas equações foram ajustadas em função dos fatores isolados ou da interação entre os mesmos.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Crescimento das plantas

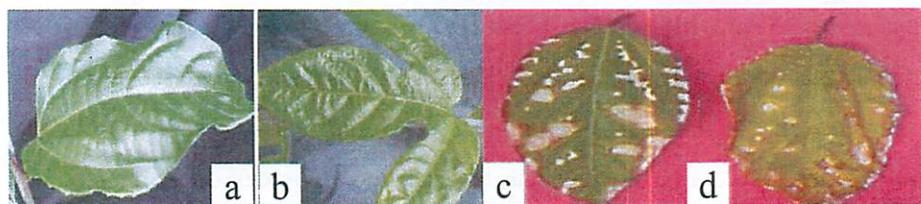
Ambiente salino provoca redução no crescimento e na produção das culturas, devido à seca fisiológica provocada pela redução do potencial osmótico, desbalanço nutricional, efeito tóxico dos íons específicos e pela elevada concentração de sais, principalmente o sódio, que inibe a absorção dos nutrientes essenciais às plantas. A concentração excessiva de sais, na solução, modifica o crescimento das plantas, por reduzir as atividades metabólicas das células, no processo de alongamento radicular. Os sais também causam a diminuição na permeabilidade do sistema radicular, reduzindo a absorção de água e nutrientes, controlando a abertura e fechamento dos estômatos, reduzindo o processo fotossintético.

Observou-se, através da morfologia da folha, nos tratamentos em que foi adicionados 15 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl e 1,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, cuja condutividade elétrica da solução foi 2,68 dSm<sup>-1</sup>, que as folhas apresentaram uma cor verde mais intensa, quando comparadas com as folhas das plantas submetidas na solução com 15 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl sem SiO<sub>2</sub> (Figuras 1a e b). Esses resultados confirmam as observações de Agarie et al. (1998a) ao confirmarem o efeito do Si em prevenir o progresso da senescência foliar, devido sua capacidade hidrofílica mantendo a turgidez celular, favorecendo ao processo fotossintético e conseqüentemente prolongando a vida útil da folha.

Nas folhas das plantas, submetidas à solução com 60 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl e 1,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, apesar de apresentarem sintomas de toxicidade, como queimaduras, não houve progresso dessa ao longo das bordas das folhas com tanta intensidade, causando necrose no centro da folha (Figura c). Provavelmente, o SiO<sub>2</sub> atenuou o efeito tóxico dos íons específicos e favoreceu

um estado nutricional das plantas mais equilibrado, promovendo maior turgidez celular, evitando o déficit hídrico, reduzindo o estresse salino. Além disso, o  $\text{SiO}_2$ , polimerizado na epiderme das folhas pode ter aumentado a rigidez da parede celular, favorecendo maior taxa fotossintética, aumentando a vida útil da folha, retardando o processo de senescência da folha. No entanto, (Figura 1 d) observou-se que os sintomas de toxidez prejudicaram com mais rapidez, deslocando ao longo das bordas, surgindo necrose excessiva acompanhada de queda prematura das folhas.

No nível de  $60 \text{ mmol L}^{-1}$  de  $\text{NaCl}$ , as plantas apresentaram sintomas visuais de toxidez dos íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  disponíveis na solução, que além do efeito tóxico, induziu deficiência de outros nutrientes, causando desbalanço nutricional nos tecidos vegetais, caracterizados por clorose, seguida de necrose nas bordas e no ápice das folhas respectivamente (Figura 1 c e d). Essas observações reforçam as constatações de Ayers & Westcot (1999), ao relatarem que as concentrações de sódio nas folhas alcançam níveis tóxicos, depois de vários dias ou semanas.



**FIGURA 1** Folhas de maracujazeiro amarelo cultivado com Si (a), sem Si (b), folha com sintomas de toxidez dos íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  na presença de Si (c) e folha com sintomas de toxidez dos íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  na ausência de Si (d).

A interação entre os fatores  $\text{NaCl}$  e  $\text{SiO}_2$  avaliados influenciou no diâmetro das plantas, apenas na ausência e na presença de  $0,5$  e  $1,0 \text{ mmol L}^{-1}$  de

SiO<sub>2</sub>. O diâmetro das plantas, submetidas na solução na ausência de SiO<sub>2</sub> e com a aplicação de 0,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, decresceu linearmente com os níveis de NaCl, adicionados na solução. Na presença de 1,0 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, as plantas atingiram diâmetro máximo de 0,65 mm, quando estas foram submetidas a concentrações estimadas de 17,59 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, reduzindo com os maiores níveis de NaCl, ajustando a um modelo de regressão quadrático. Independente dos níveis de SiO<sub>2</sub> aplicados, durante o período avaliado o estresse salino reduziu o caule das plantas apenas na presença de 60 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, cuja condutividade elétrica foi de 7,8 dSm<sup>-1</sup>(Figura 2).

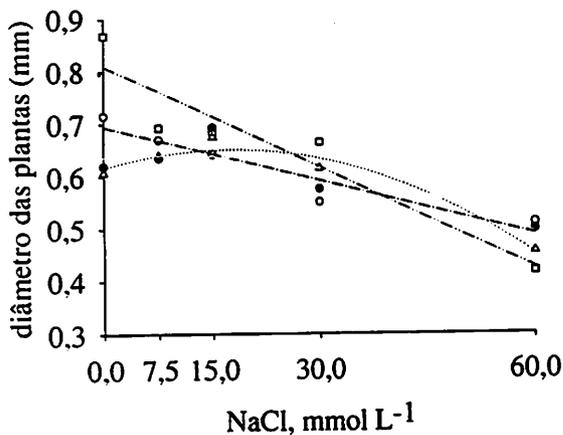
Observou-se (Figura 2) que na ausência de NaCl, com a aplicação de 0,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, o diâmetro do caule das plantas foi maior, apresentando valor médio de 0,80mm. Porém, com a aplicação de 1,0 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, as plantas atingiram diâmetro de 0,65 mm na presença de uma concentração estimada de 17,59 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl. Embora os níveis de SiO<sub>2</sub> não tenham promovido controle do estresse salino, observa-se que a redução do diâmetro das plantas submetidas na solução na presença de 1,0 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub> foi menos acentuada. Esses resultados assemelham-se as observações de Bradbury & Ahmad (1990), ao relatarem que apesar do SiO<sub>2</sub> apresentar possibilidade de amenizar o estresse salino, os autores não observaram eficiência do SiO<sub>2</sub> em reduzir o estresse salino em plantas de algaroba.

Inferese também que as plantas não apresentaram mecanismo para tolerar o estresse salino causado pelas maiores concentrações de NaCl aplicadas, reduzindo o diâmetro das plantas. Fernandes et al. (2002) avaliaram resultados semelhantes com as plantas de pupunheira, submetidas em solução com diferentes níveis de NaCl. Cavalcante et al. (2002b) também observaram redução do diâmetro do caule das plantas de maracujá, cultivadas em substrato com diferentes volumes em função do aumento da condutividade elétrica da

água de irrigação, com redução mais acentuada nas plantas cultivadas no substrato de menor volume, a partir da condutividade elétrica de 4,5 dSm<sup>-1</sup>.

Esses resultados assemelham-se também aos resultados obtidos por Neves (2003), ao avaliar plantas de umbu com níveis de NaCl em solução nutritiva. No entanto, Soares (2001), observou que a salinidade da água de irrigação não exerceu efeito expressivo sobre o diâmetro do caule das plantas de maracujazeiro amarelo, em condições de campo.

- 0,0 SiO<sub>2</sub> y = 0,694562 - 0,003425x R<sup>2</sup> = 0,91\*\*
- 0,5 SiO<sub>2</sub> y = 0,808125 - 0,006383x R<sup>2</sup> = 0,88\*\*
- △— 1,0 SiO<sub>2</sub> y = 0,616962 + 0,003869x - 0,000110x<sup>2</sup> R<sup>2</sup> = 0,96\*
- 1,5 SiO<sub>2</sub> y = NS



**FIGURA 2** Diâmetro do caule de maracujazeiro amarelo em função dos níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub>. (\*\*) significativo a 1%, (\*) significativo a 5% (ns) não significativo.

A interação entre os fatores NaCl e SiO<sub>2</sub> avaliados não influenciou na altura das plantas. Apenas os níveis de NaCl, influenciaram na altura das plantas. A altura máxima das plantas foi de 182,42 cm a uma concentração estimada de 8,7 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, reduzindo com os maiores níveis de NaCl aplicados na solução, com redução mais acentuada na presença de 60 mmol L<sup>-1</sup>

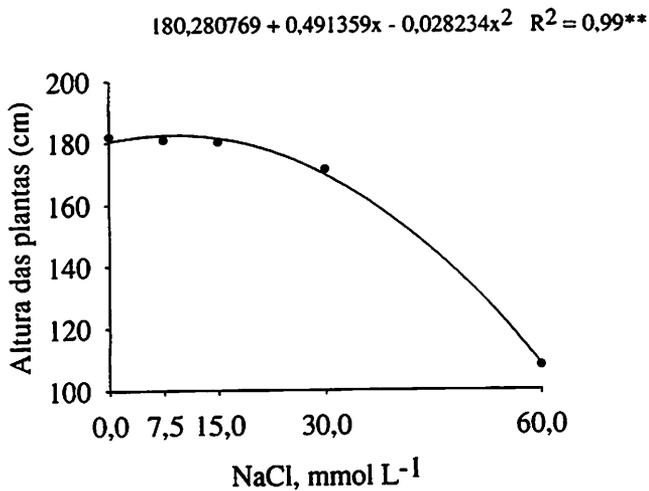
de NaCl, cuja condutividade elétrica foi de  $7,8 \text{ dSm}^{-1}$ . Porém, até uma condutividade elétrica de  $4,3 \text{ dSm}^{-1}$ , durante o período em que as plantas foram submetidas ao estresse salino, não se observou redução significativa da altura das plantas, quando comparada com as plantas submetidas na solução sem NaCl, cuja condutividade elétrica foi de  $0,87 \text{ dSm}^{-1}$  (Figura 3). Os níveis de  $\text{SiO}_2$  não contribuíram para o aumento da altura das plantas, não controlando o estresse salino sobre o crescimento das plantas. Esses resultados são semelhantes às observações de Bradbury & Ahmad (1990), ao relatarem que apesar do  $\text{SiO}_2$  apresentar possibilidade de amenizar o estresse salino, os autores não observaram eficiência do  $\text{SiO}_2$  em reduzir o estresse salino em plantas de algaroba.

Cavalcante et al. (2002b) também observaram redução da altura das plantas de maracujá, cultivadas em substrato com diferentes volumes em função do aumento da condutividade elétrica da água de irrigação, com redução mais acentuada nas plantas cultivadas no substrato de menor valor, a partir da condutividade elétrica de  $4,5 \text{ dSm}^{-1}$ .

Neves (2003) também observou redução da altura das plantas de umbu, em resposta aos níveis de NaCl em solução nutritiva. Alencar et al. (2003) também ao avaliarem o crescimento de plantas de melão, em resposta a níveis de salinidade da água, observaram que a altura das plantas tendeu a sofrer maior redução com a salinidade, do início para o final do crescimento. Esses resultados estão de acordo com (Munns, 2002) que atribui a redução no crescimento das plantas à presença de estresse salino em função aos efeitos osmóticos, provocando déficit hídrico, além dos efeitos específicos dos íons, podendo acarretar toxidez ou desordens nutricionais.

Os resultados obtidos demonstram que as plantas de maracujazeiro amarelo, além de serem sensíveis aos sais, não são acumuladoras de  $\text{SiO}_2$ , não sendo observado efeito estimulante do  $\text{SiO}_2$  no crescimento das plantas.

Segundo Maas & Hoffman (1977), à medida que a concentração salina da solução do solo aumenta, acima de um limite tolerável, a taxa de crescimento da maioria das espécies vegetais diminui progressivamente. No caso do maracujazeiro a redução de produção ocorre quando a condutividade elétrica excede  $1,3 \text{ dSm}^{-1}$  (Maas, 1984; Cavalcante et al., 2002a).



**FIGURA 3** Altura do maracujazeiro amarelo em função dos níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub>. (\*\*) significativo a 1%.

A interação entre os fatores NaCl e SiO<sub>2</sub> avaliados influenciou na matéria seca das raízes das plantas, apenas na ausência e na presença de 0,5 e 1,0 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>. A matéria seca da raiz, tanto na ausência de SiO<sub>2</sub> como com a aplicação de 0,5 e 1,0 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, reduziu linearmente com os níveis de NaCl apenas na ausência e na presença de 0,5 e 1,0 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>. No entanto, maior redução ocorreu nas plantas submetidas à solução com 60 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl cuja condutividade foi de  $7,8 \text{ dSm}^{-1}$  (Figura 4).

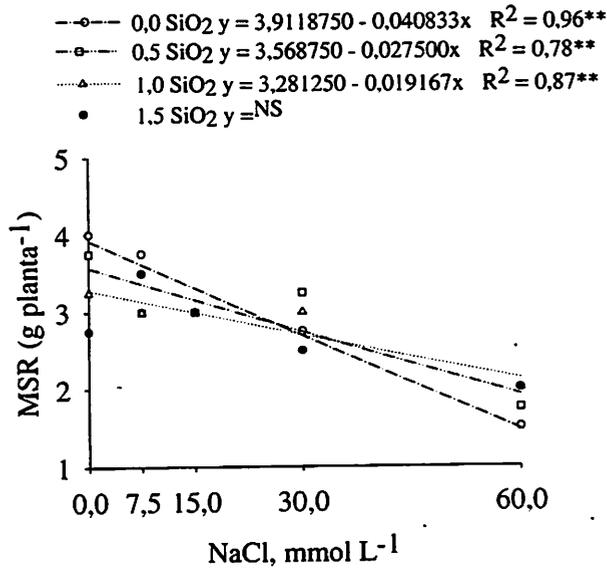
Apesar dos níveis de SiO<sub>2</sub> não exercerem o controle do estresse salino sobre a matéria seca da raiz (Figura 4), observou-se que, na presença de SiO<sub>2</sub>, a redução da matéria seca foi menos acentuada com o aumento da concentração

salina. Esses resultados assemelham-se as observações de Bradbury & Ahmad (1990), ao relatarem que apesar do SiO<sub>2</sub> apresentar possibilidade de amenizar o estresse salino, os autores não observaram eficiência do SiO<sub>2</sub> em reduzir o estresse salino em plantas de algaroba. Miranda (2000), ao avaliar clones de cajueiro, considerados tolerantes e sensíveis aos sais, não encontrou efeito do SiO<sub>2</sub> sobre a produção de matéria seca das raízes, independentemente da suscetibilidade das plantas à salinidade.

Miranda (2002) encontrou resultados semelhantes, com redução da produção de matéria seca das raízes das plantas de moringa, em resposta aos níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub>, sendo influenciada apenas pelo NaCl, decrescendo linearmente com o aumento das concentrações de NaCl na solução. Cavalcante et al., (2002b) observaram redução da produção de matéria seca das raízes das plantas de maracujá, cultivadas em substrato com diferentes volumes, cuja redução mais acentuada ocorreu na presença da água, com condutividade elétrica de 6,5 dSm<sup>-1</sup>.

Montes et al. (2004) ao avaliarem cultivares de bananeiras, em resposta a níveis de NaCl em solução nutritiva, também observaram redução da matéria seca das raízes. Távora et al.(2004) encontraram resultados semelhantes, ao avaliar plantas de graviola, submetidas ao estresse salino, observando redução acentuada da matéria seca das raízes em resposta ao aumento do NaCl aplicado na solução.

A interação entre os fatores NaCl e SiO<sub>2</sub> avaliados influenciou na matéria seca do caule das plantas, tanto na ausência como na presença dos níveis de SiO<sub>2</sub>. Na ausência de SiO<sub>2</sub> e com a aplicação de 0,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, a matéria seca do caule reduziu linearmente com os níveis de NaCl, aplicados na solução (Figura 5).



**FIGURA 4** Matéria seca das raízes (MSR) de maracujazeiro amarelo em função dos níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub>. (\*\*) significativo a 1%. (ns) não significativo.

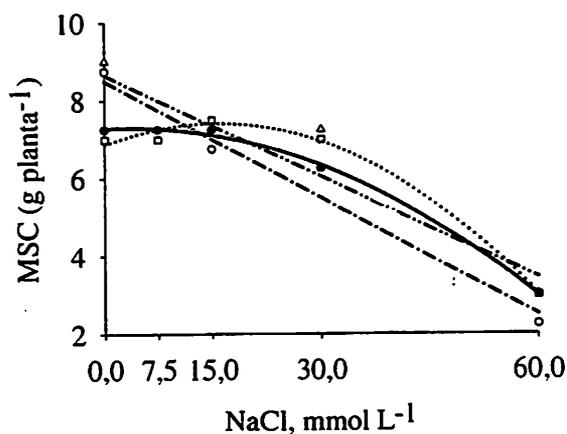
Com a aplicação de 1,0 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, a maior produção de matéria seca do caule foi de 7,41 g planta<sup>-1</sup>, nas plantas submetidas a concentrações estimadas de 15,67 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, cuja condutividade elétrica foi de 2,68 dSm<sup>-1</sup>, reduzindo-se com os maiores níveis de NaCl, com redução mais acentuada na presença de 60 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, cuja condutividade elétrica foi de 7,8 dSm<sup>-1</sup> ajustando-se a um modelo de regressão quadrático (Figura 5). Com a aplicação de 1,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, a matéria seca do caule, atingiu uma produção máxima de 7,34 g planta<sup>-1</sup>, com as plantas submetidas a concentrações estimadas de 4,98 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, reduzindo-se com os maiores níveis de NaCl, ajustando-se um modelo de regressão quadrático (Figura 5).

Observou-se (Figura 5) que, mesmo na ausência de NaCl, os níveis de SiO<sub>2</sub> aplicados não contribuíram com aumento na matéria seca do caule. Com a aplicação de 1,0 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, na presença de uma concentração estimada

de 15,67 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, a matéria seca da raiz apresentou produção máxima inferior à obtida na ausência de SiO<sub>2</sub> e NaCl. Com esses resultados, infere-se que acima de 15,67 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl a produção de matéria seca do caule reduziu. Apesar dos níveis de SiO<sub>2</sub> não terem controlado o estresse salino sobre a matéria seca do caule, observou-se que, na presença do SiO<sub>2</sub>, a redução foi menor com o aumento na concentração salina. Esses resultados assemelham as observações de Bradbury & Ahmad (1990), ao relatarem que, apesar do SiO<sub>2</sub> apresentar possibilidade de amenizar o estresse salino, os autores não observaram eficiência do SiO<sub>2</sub> em reduzir o estresse salino em plantas de algaroba.

Independente dos níveis de SiO<sub>2</sub>, a matéria seca do caule reduziu com a concentração de NaCl. Esses resultados obtidos da produção de matéria seca do caule foram semelhantes aos resultados obtidos por Miranda (2002), que observou redução quadrática na ausência de SiO<sub>2</sub> e com a aplicação de 1,0 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub> e uma redução linear, com os demais níveis de SiO<sub>2</sub> nas plantas de moringa. Resultados semelhantes foram obtidos por Távora et al. (2004) ao avaliarem plantas de graviola, submetidas ao estresse salino, causando redução acentuada na produção de matéria seca do caule, em resposta ao aumento do NaCl aplicado na solução. Ferreira (1998), também estudando o efeito da salinidade em goiabeira submetida em solução nutritiva, observou que a matéria seca do caule decresceu rapidamente com os 30 dias de estresse ao aplicar 50 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl.

$\text{---}\blacktriangle\text{---}$  0,0SiO<sub>2</sub>  $y = 8,500000 - 0,100000x$   $R^2 = 0,95^{**}$   
 $\text{---}\blacktriangle\text{---}$  0,5 SiO<sub>2</sub>  $y = 8,650000 - 0,086667x$   $R^2 = 0,85^{**}$   
 $\text{---}\square\text{---}$  1,0 SiO<sub>2</sub>  $y = 6,861538 + 0,070190x - 0,002239x^2$   $R^2 = 0,99^{**}$   
 $\text{---}\blacklozenge\text{---}$  1,5 SiO<sub>2</sub>  $y = 7,307692 + 0,014392x - 0,001445x^2$   $R^2 = 0,99^{**}$



**FIGURA 5** Matéria seca do caule (MSC) de maracujazeiro amarelo em função dos níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub>. (\*\*) significativo a 1%.

A interação entre os fatores NaCl e SiO<sub>2</sub> avaliados influenciou na matéria seca das folhas das plantas na ausência e na presença dos níveis de SiO<sub>2</sub>. A produção da matéria seca das folhas reduziu linearmente tanto na ausência de SiO<sub>2</sub>, como na presença de 0,5, 1,0 e 1,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, com reduções mais intensas quando se aplicou 60 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl (Figura 6). Na presença de 1,0 e 1,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, a produção máxima da matéria seca das folhas foi de 15,97 e 15,10 g planta<sup>-1</sup> a uma concentração estimada de 11,94 e 9,45 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, reduzindo com os maiores níveis de NaCl, ajustando-se a um modelo de regressão quadrático respectivamente (Figura 6).

Observou-se que, com a aplicação de 0,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, ocorreu maior produção de matéria seca das folhas na ausência de NaCl, com média máxima estimada de 19,02 g planta<sup>-1</sup>. No entanto, até uma concentração de 11,94 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, a aplicação de 1,0 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub> promoveu



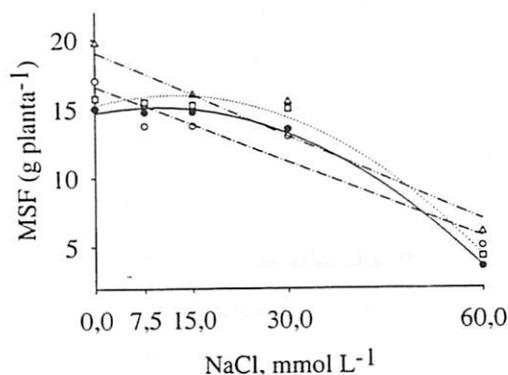
aumento na produção de matéria seca das folhas, semelhante à produção obtida na ausência de NaCl (Figura 6). Esses resultados assemelham-se às observações de Bradbury & Ahmad (1990) sobre a possibilidade do SiO<sub>2</sub> na redução dos efeitos negativos do NaCl, em baixa concentração sobre a produção vegetal de algumas espécies.

Sobre a redução da matéria seca das folhas, em função da concentração de NaCl na solução, Távora et al.(2004), ao avaliarem plantas de graviola submetidas ao estresse salino, observaram redução acentuada na produção de matéria seca das folhas, em resposta ao aumento do NaCl, aplicado na solução. Cavalcante et al. (2002b) também observaram redução da produção da matéria seca da parte aérea das plantas de maracujá, cultivadas em substrato correspondente 0,34 e 1,41 L de areia lavada, irrigadas com água de condutividade elétrica a partir de 2,5 dSm<sup>-1</sup>.

No entanto, Cavalcante et al. (2002b), observaram redução mais acentuada nas plantas submetidas ao substrato de menor volume, irrigadas com água de condutividade elétrica em torno de 6,5 dSm<sup>-1</sup>. Ferreira (1998) também, estudando o efeito da salinidade em goiabeira submetida à solução nutritiva, observou que a matéria seca das folhas decresceu rapidamente com os 30 dias de estresse ao aplicar 50 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl.

Contudo, Miranda (2000), ao avaliar plantas de cajueiro anão precoce, observou redução na produção da matéria seca das folhas com a aplicação de 0,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub> e maior produção, com a aplicação de 1,0 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, em níveis superiores a 30 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl. Porém, ao avaliar moringa, planta considerada tolerante aos sais, o NaCl reduziu linearmente a produção de matéria seca das folhas, na presença de 1,0 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>. No entanto, na presença de 1,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, menor produção ocorreu em torno de 84,2 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, com ajuste quadrático.

- - - 0.0 SiO<sub>2</sub> y = 16.568750 - 0.180833x R<sup>2</sup> = 0.92\*\*  
 - - - 0.5 SiO<sub>2</sub> y = 19.018750 - 0.200833x R<sup>2</sup> = 0.87\*\*  
 - - - 1.0 SiO<sub>2</sub> y = 15.253846 + 0.119992x - 0.005023x<sup>2</sup> R<sup>2</sup> = 0.98\*\*  
 - - - 1.5 SiO<sub>2</sub> y = 14.700000 + 0.085269x - 0.004516x<sup>2</sup> R<sup>2</sup> = 0.99\*\*



**FIGURA 6** Matéria seca das folhas de maracujazeiro amarelo em função dos níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub>. (\*\*) significativo a 1%.

## 4.2 Acúmulo dos nutrientes nas plantas

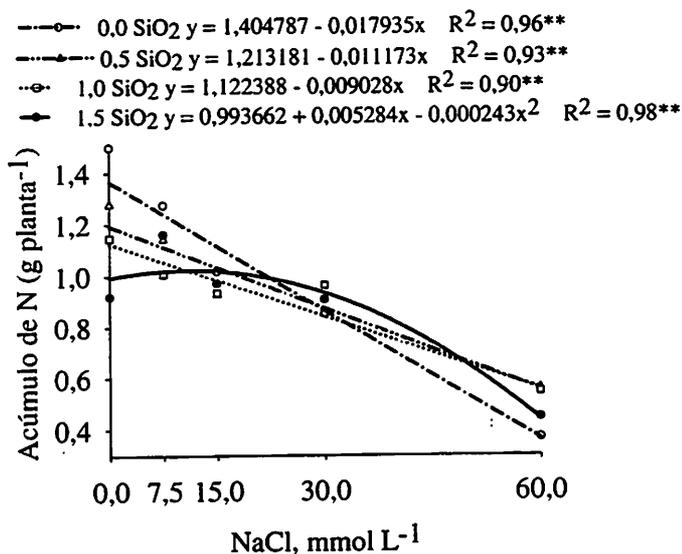
O acúmulo dos nutrientes nos tecidos vegetais diferem conforme as espécies de plantas, acúmulos radiculares de SiO<sub>2</sub>, têm sido detectados principalmente em dicotiledôneas, que geralmente apresentam teor de SiO<sub>2</sub> nas raízes superiores aos teores encontrados na parte aérea. No entanto, nas monocotiledôneas, o acúmulo de SiO<sub>2</sub>, ocorre principalmente em órgãos aéreos.

### 4.2.1 Efeito do NaCl e SiO<sub>2</sub> sobre o acúmulo de macronutrientes nas raízes de maracujazeiro amarelo

A interação, entre os fatores NaCl e SiO<sub>2</sub>, influenciou o acúmulo de N nas raízes, na ausência e na presença dos níveis de SiO<sub>2</sub>. O acúmulo de N nas raízes, tanto na ausência de SiO<sub>2</sub>, como com a aplicação de 0,5 e 1,0 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, decresceu linearmente com os níveis de NaCl aplicados na solução, com redução mais acentuada no maior nível de NaCl. Porém, com a aplicação de 1,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, o acúmulo máximo de N foi de 1,02 g planta<sup>-1</sup>, nas

raízes das plantas submetidas a concentrações estimadas de 10,87 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, decrescendo com os maiores níveis de NaCl, ajustando-se a um modelo de regressão quadrático (Figura 7). Observou-se (Figura 7) que na ausência de NaCl, o SiO<sub>2</sub> não favoreceu aumento do acúmulo de N nas raízes. Porém, foi observado que com a aplicação de 1,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, o acúmulo de N obtido nas plantas submetidas à solução com 10,87 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl foi semelhante ao acúmulo de N, obtido nas plantas submetidas na solução sem NaCl. Além disso, observou-se também que com a aplicação de 0,5 e 1,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub> a redução de N nas raízes foi menos acentuada, com os maiores níveis de NaCl. No entanto, observa-se que o acúmulo de N nas raízes reduziu na presença de 60 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl.

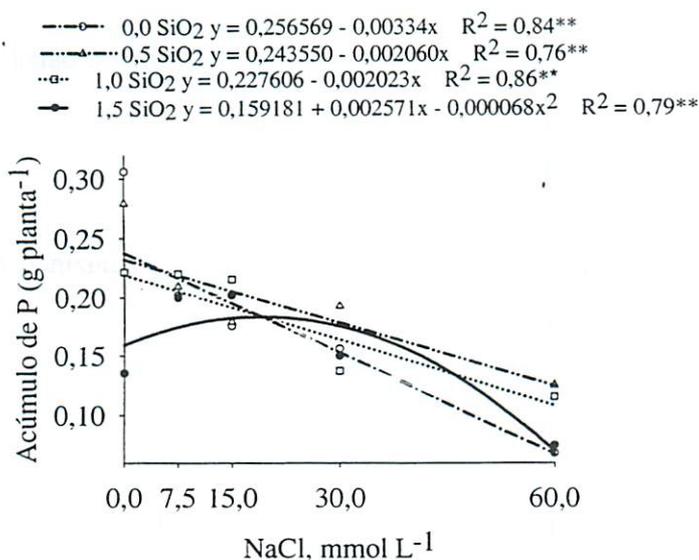
Esses resultados referentes à redução de N, em função das concentrações de NaCl na solução, estão de acordo com as observações de Al-Harbi (1995), ao relatar que o efeito salino sobre os teores de N parece estar associado ao nível de salinidade, ao período em que a planta é submetida ao estresse salino e, principalmente, dos diferentes graus de tolerância das espécies e genótipos. Miranda (2000) não observou efeito da interação entre o NaCl e SiO<sub>2</sub> no acúmulo de N, nas raízes das plantas de cajueiro anão precoce sensível aos sais, mas, nas tolerantes, o SiO<sub>2</sub> promoveu aumento linear. Neves (2003), avaliando plantas de umbuzeiro, em solução nutritiva, com a aplicação de NaCl, também observou redução do acúmulo de N nas diferentes partes das plantas. Chagas (2004) observou que a absorção de SiO<sub>2</sub> pelas plantas de arroz e milho, submetidas em solução nutritiva não alterou significativamente os teores dos macronutrientes nas folhas das plantas.



**FIGURA 7** Acúmulo de N (a) nas raízes de maracujazeiro amarelo em função dos níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub> na solução nutritiva. (\*\*) significativo a 1%.

A interação entre os fatores NaCl e SiO<sub>2</sub> influenciou o acúmulo de P nas raízes, na ausência e na presença dos níveis de SiO<sub>2</sub>. O acúmulo de P decresceu linearmente na ausência de SiO<sub>2</sub> e com a aplicação de 0,5 e 1,0 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>. No entanto, com a aplicação de 1,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, o acúmulo máximo de P foi de 0,18 g planta<sup>-1</sup> nas raízes das plantas, submetidas a concentrações estimadas de 19,90 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, reduzindo com os maiores níveis de NaCl, ajustando-se a um modelo de regressão quadrático (Figura 8). Observou-se (Figura 8) que, na ausência de NaCl, os níveis de SiO<sub>2</sub> não aumentaram o acúmulo de P nas raízes das plantas. Observou-se ainda que com os níveis de SiO<sub>2</sub>, a redução do acúmulo de P foi menos acentuada com a concentração de NaCl na solução. Porém, não foi eficiente para controlar o estresse salino sobre o acúmulo de P, nas plantas submetidas à solução com 60 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl cuja condutividade elétrica foi de 7,8 dSm<sup>-1</sup>. A redução do acúmulo de P com os

maiores níveis de NaCl foi menos acentuada com a aplicação dos níveis de SiO<sub>2</sub> na solução. Miranda (2000) também observou redução linear de P com os níveis de NaCl e com a aplicação de 0,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub> e aumento quando aplicou 1,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, a partir da aplicação de 58,9 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl. Esses resultados estão de acordo com as observações de Al-Karaki (1997), ao afirmar que os teores de P decresceram com o aumento do NaCl, provavelmente em função da baixa atividade de fosfato na solução induzida pelos elevados teores de Cl nos tecidos das plantas.



**FIGURA 8** Acúmulo de P nas raízes das plantas de maracujazeiro amarelo em função dos níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub> na solução nutritiva. (\*\*) significativo a 1%.

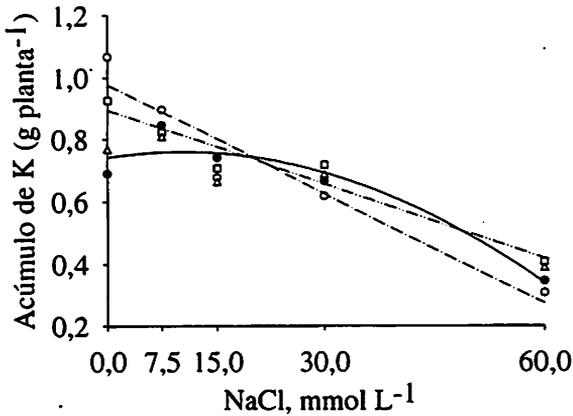
A interação entre os fatores NaCl e SiO<sub>2</sub> influenciou o acúmulo de K nas raízes, apenas na ausência e na presença de 0,5 e 1,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>. O acúmulo de K decresceu linearmente, com os níveis de NaCl na ausência e com a aplicação de 0,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>. Ao aplicar 1,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, o

acúmulo máximo de K foi de  $0,76 \text{ g planta}^{-1}$ , nas raízes das plantas submetidas à concentração estimada de  $10,16 \text{ mmol L}^{-1}$  de NaCl, decrescendo acentuadamente com o maior nível de NaCl. Porém, observou-se que com a aplicação dos níveis de  $\text{SiO}_2$ , a redução do acúmulo de K foi menos acentuada, quando comparado ao acúmulo de K nas raízes das plantas submetidas na solução sem  $\text{SiO}_2$ . Porém, observou-se que, com a aplicação dos níveis de  $\text{SiO}_2$  a redução do acúmulo de K foi menos acentuada, quando comparado ao acúmulo de K nas raízes das plantas, submetidas à solução sem  $\text{SiO}_2$ . Não se observou efeito atenuante do  $\text{SiO}_2$  em concentrações elevadas de NaCl (Figura 9).

Esse resultado sobre o acúmulo de K foi devido a baixa concentração dos menores níveis de NaCl não interferir na disponibilidade desse nutriente durante os 35 dias de avaliação. Os resultados discordam das observações de Liang et al. (1996), ao observarem que o  $\text{SiO}_2$  reduz a permeabilidade da membrana para o Na e aumenta a absorção de K, reduzindo os efeitos do estresse salino. Miranda (2000), avaliando níveis de NaCl e  $\text{SiO}_2$ , também observou que o  $\text{SiO}_2$  não foi capaz de reduzir o efeito inibitório do Na sobre a absorção e acúmulo de K, em plantas sensíveis e tolerantes, de cajueiro anão precoce.

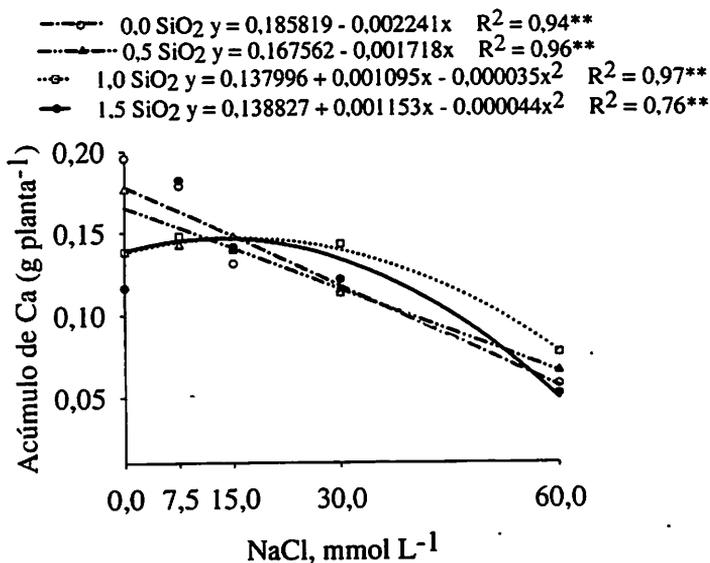
A interação entre os fatores NaCl e  $\text{SiO}_2$  influenciou o acúmulo de Ca nas raízes, na ausência e na presença dos níveis de  $\text{SiO}_2$ . O acúmulo de Ca nas raízes das plantas, submetidas à solução sem  $\text{SiO}_2$ , reduziu linearmente com os níveis de NaCl, resposta semelhante ocorreu com o acúmulo de Ca nas raízes das plantas, submetidas à solução com  $0,5 \text{ mmol L}^{-1}$  de  $\text{SiO}_2$ . Com a aplicação de  $1,0 \text{ mmol L}^{-1}$  de  $\text{SiO}_2$ , o acúmulo máximo de Ca foi de  $0,15 \text{ g planta}^{-1}$  nas raízes das plantas submetidas à concentração estimada de  $15,64 \text{ mmol L}^{-1}$  de NaCl, porém reduzindo com o maior nível de NaCl, ajustando-se a um modelo de regressão quadrático (Figura 10).

- 0,0 SiO<sub>2</sub>  $y = 0,977294 - 0,011724x$   $R^2 = 0,92^{**}$
- 0,5 SiO<sub>2</sub>  $y = 0,894919 - 0,007921x$   $R^2 = 0,91^{**}$
- △ 1,0 SiO<sub>2</sub>  $y = \text{NS}$
- 1,5 SiO<sub>2</sub>  $y = 0,742308 + 0,003436x - 0,000169x^2$   $R^2 = 0,91^{**}$



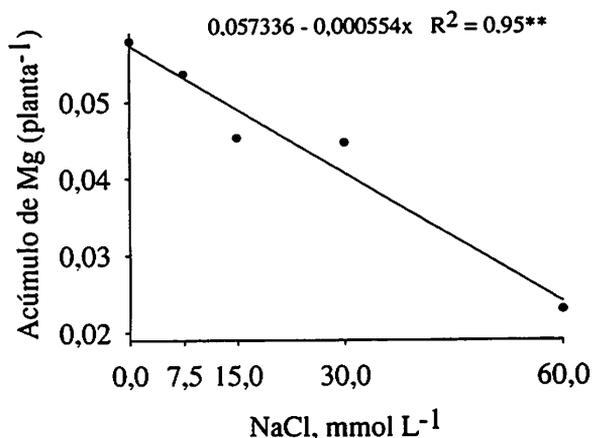
**FIGURA 9** Acúmulo de K nas raízes de maracujazeiro amarelo em função dos níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub> na solução nutritiva. (\*\*) significativo a 1%. (ns) não significativo.

Observou-se (Figura 10) que com a aplicação dos níveis de SiO<sub>2</sub>, a redução do acúmulo de Ca foi menos acentuada quando comparada a redução do acúmulo de Ca nas raízes das plantas submetidas à solução sem SiO<sub>2</sub>. No entanto, não foi eficiente para reduzir o efeito do estresse salino das plantas na presença de 60 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl. Esse resultado explica que, apenas com a aplicação de 60 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl o maracujazeiro amarelo sofreu efeito negativo do estresse salino. Esses resultados estão de acordo com as observações de Liang (1996), ao relatar que a interação entre SiO<sub>2</sub> e Ca varia com as espécies de plantas. Miranda (2000) observou, também, nas plantas de cajueiro anão precoce sensível e tolerante à salinidade, redução linear do acúmulo de Ca nas raízes.



**FIGURA 10** Acúmulo de Ca nas raízes de maracujazeiro amarelo em função dos níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub> na solução nutritiva. (\*\*) significativo a 1%.

A interação entre os fatores NaCl e SiO<sub>2</sub> não influenciou o acúmulo de Mg nas raízes. Apenas os níveis de NaCl, influenciaram no acúmulo de Mg nas raízes das plantas, causando redução de 0,057 g planta<sup>-1</sup> para 0,024 g planta<sup>-1</sup> nas raízes das plantas, submetidas à solução com 60 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, cuja condutividade elétrica foi de 7,8 dSm<sup>-1</sup> (Figura 11). Esses resultados estão de acordo com as observações de Hu & Schmedhalter (1997) que atribuem ao elevado nível de Na inibir a absorção de Mg, relacionando a uma competição iônica do Na com o Mg. Miranda (2000) também observou redução linear do acúmulo de Mg nas raízes das plantas de cajueiro anão precoce, tolerante aos sais, com os níveis de NaCl na ausência de SiO<sub>2</sub> e na presença de 1,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub> e aumento linear na presença de 0,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>.



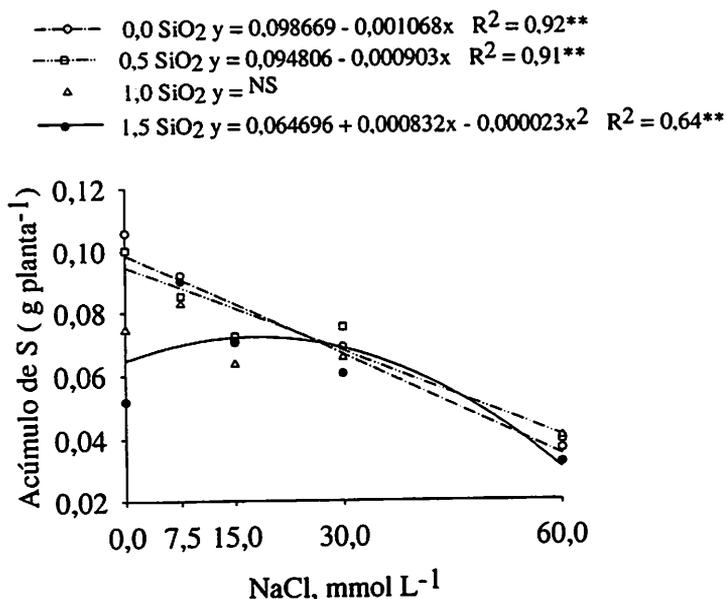
**FIGURA 11** Acúmulo de Mg nas raízes de maracujazeiro amarelo em função dos níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub> na solução nutritiva. (\*\*) significativo a 1%.

A interação entre os fatores NaCl e SiO<sub>2</sub> influenciou o acúmulo de S nas raízes, apenas na ausência e na presença dos níveis de SiO<sub>2</sub>. O acúmulo de S reduziu linearmente com os níveis de NaCl na ausência de SiO<sub>2</sub>. Na presença de 1,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, o acúmulo máximo de S foi de 0,07 g planta<sup>-1</sup>, nas raízes das plantas, submetidas a concentrações estimadas de 18,09 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, reduzindo com os maiores níveis de NaCl, aplicados na solução, ajustando-se a um modelo de regressão quadrático (Figura 12).

Com a aplicação dos níveis de SiO<sub>2</sub> aplicados (Figura 12) observou-se que o SiO<sub>2</sub> na ausência de NaCl, não reduziu o efeito do Cl sobre o acúmulo de S, porém, exerceu papel amenizante, promovendo menor redução do acúmulo do S, nas raízes das plantas, submetidas à solução com NaCl, quando comparado com o acúmulo de S obtido nas raízes das plantas submetidas na solução na ausência de SiO<sub>2</sub>. Esses resultados estão de acordo as observações de Bradbury & Ahamad (1990) sobre a possibilidade do SiO<sub>2</sub> em reduzir a salinidade e o estresse hídrico. Porém, em concentrações elevadas em culturas

sensíveis aos sais, como o maracujazeiro, na presença de 60 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, o SiO<sub>2</sub> não foi eficiente em controlar o estresse salino.

Miranda (2000) também observou redução do acúmulo de S nas raízes das plantas de cajueiro anão precoce sensível à salinidade, com os níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub> avaliados.



**FIGURA 12** Acúmulo de S nas raízes de maracujazeiro amarelo em função dos níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub> na solução nutritiva. (\*\*) significativo a 1%. (ns) não significativo.

No maracujazeiro amarelo, na presença de 60 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl e 1,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, cuja condutividade elétrica foi de 7,8 dSm<sup>-1</sup>, ocorreu elevado acúmulo de Na e Cl nas raízes, por não ser uma planta acumuladora de SiO<sub>2</sub> e por ser incluída no grupo das plantas consideradas sensíveis a salinidade. Esse elevado acúmulo dos íons Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup> nas raízes, resultou em desequilíbrio no

estado nutricional das plantas, devido a uma menor absorção dos nutrientes essenciais ao crescimento das plantas, reduzindo a produção de matéria seca das raízes e, conseqüentemente, o acúmulo dos macronutrientes nas raízes.

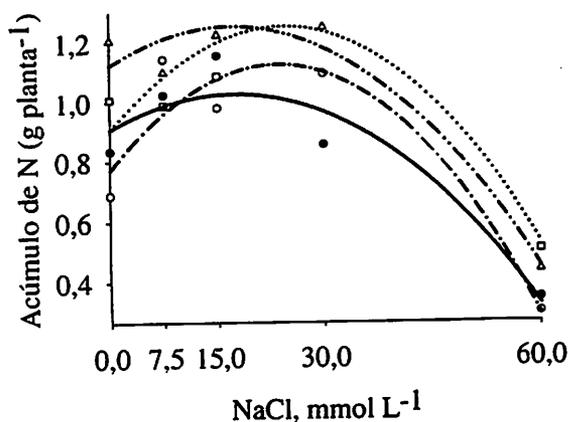
#### **4.2.2 Efeito do NaCl e SiO<sub>2</sub> sobre o acúmulo de macronutrientes no caule de maracujazeiro amarelo**

A interação entre os fatores NaCl e SiO<sub>2</sub> influenciou o acúmulo de N no caule, tanto na ausência como na presença dos níveis de SiO<sub>2</sub>. Na ausência de SiO<sub>2</sub>, o acúmulo máximo de N no caule foi de 1,12 g planta<sup>-1</sup>, nas plantas submetidas a concentrações estimadas de 23,66 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, porém ocorrendo redução acentuada com o maior nível de NaCl, ajustando-se a um modelo de regressão quadrático. Com a aplicação de 0,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub> o acúmulo máximo de N no caule foi de 1,25 g planta<sup>-1</sup> nas plantas submetidas a concentrações estimadas de 17,05 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, porém ocorrendo redução acentuada com o maior nível de NaCl, ajustando-se a um modelo de regressão quadrático (Figura 13).

Na presença de 1,0 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, o acúmulo de N no caule foi de 1,25 g planta<sup>-1</sup>, nas plantas submetidas a concentrações estimadas de 24,51 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, reduzindo com os maiores níveis de NaCl, com redução mais acentuada com a aplicação de 60 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, cuja condutividade elétrica da solução foi de 7,8 dSm<sup>-1</sup>, ajustando-se a um modelo de regressão quadrático. Com a aplicação de 1,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, o acúmulo máximo de N no caule foi de 1,03 g planta<sup>-1</sup>, nas plantas submetidas a concentrações estimadas de 17,56 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, reduzindo com os maiores níveis de NaCl, com redução mais acentuada nas plantas submetidas a concentrações de 60 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, ajustando-se a um modelo de regressão quadrático (Figura 13).

Com a aplicação de  $1,0 \text{ mmol L}^{-1}$  de  $\text{SiO}_2$  (Figura 13) observa-se que o  $\text{SiO}_2$  exerceu papel positivo em aumentar o acúmulo de N no caule das plantas até a concentração estimada de  $24,51 \text{ mmol L}^{-1}$  de NaCl. No entanto, com a aplicação de  $1,5 \text{ mmol L}^{-1}$  de  $\text{SiO}_2$  a redução do acúmulo de N no caule foi mais acentuada. Com esses resultados, afirma-se que o maracujazeiro não apresenta mecanismo de excluir Na e Cl, concordando com as observações de Grattan & Grieve (1999) sobre o reduzido crescimento das plantas glicófitas em função dos teores de Na e Cl nos seus tecidos, que além de reduzir o crescimento das plantas causam desequilíbrio na disponibilidade dos nutrientes essenciais. Miranda (2000), avaliando os fatores NaCl e  $\text{SiO}_2$  com plantas de cajueiro anão precoce, sensíveis à salinidade, também observou que o acúmulo de N diminuiu e aumentou linearmente na ausência e na presença de  $1,5 \text{ mmol L}^{-1}$  de  $\text{SiO}_2$  respectivamente.

$$\begin{aligned} \text{---}\bullet\text{---} & 0,0 \text{ SiO}_2 \quad y = 0,770844 + 0,030002x - 0,000634x^2 \quad R^2 = 0,89^{**} \\ \text{---}\blacktriangle\text{---} & 0,5 \text{ SiO}_2 \quad y = 1,124746 + 0,014833x - 0,000435x^2 \quad R^2 = 0,94^{**} \\ \text{---}\circ\text{---} & 1,0 \text{ SiO}_2 \quad y = 0,905285 + 0,028284x - 0,000577x^2 \quad R^2 = 0,87^{**} \\ \text{---}\blacktriangledown\text{---} & 1,5 \text{ SiO}_2 \quad y = 0,906873 + 0,013731x - 0,000391x^2 \quad R^2 = 0,90^{**} \end{aligned}$$



**FIGURA 13** Acúmulo de N no caule de maracujazeiro amarelo em função dos níveis de NaCl e  $\text{SiO}_2$  na solução nutritiva. (\*\*) significativo a 1%

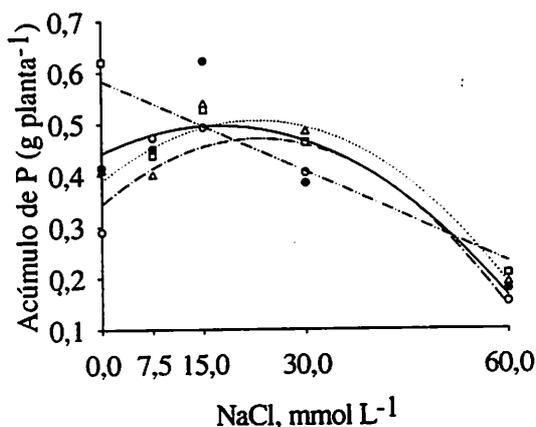
A interação entre os fatores NaCl e SiO<sub>2</sub> influenciou o acúmulo de P no caule, na ausência e na presença dos níveis de SiO<sub>2</sub>. Na ausência de SiO<sub>2</sub> o acúmulo máximo de P no caule das plantas foi de 0,47 g planta<sup>-1</sup> até uma concentração estimada de 23,04 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, reduzindo acima dessa concentração, ajustando-se a um modelo de regressão quadrático, com redução mais acentuada na presença de 60 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, cuja condutividade elétrica foi de 7,8 dSm<sup>-1</sup>. No entanto, o acúmulo de P no caule das plantas submetidas à solução com 0,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, decresceu linearmente com os níveis de NaCl (Figura 14).

Com a aplicação de 1,0 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, o acúmulo máximo de P no caule foi de 0,50 g planta<sup>-1</sup> nas plantas submetidas a concentrações estimadas de 22,68 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, reduzindo com os maiores níveis de NaCl, ajustando a um modelo de regressão quadrático. Com a aplicação de 1,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, o acúmulo máximo de P no caule foi de 0,49 g planta<sup>-1</sup>, nas plantas submetidas a concentrações estimadas de 17,26 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, reduzindo com os maiores níveis de NaCl, ajustando-se a um modelo de regressão quadrático (Figura 14).

Na presença de 1,0 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, (Figura 14) observou-se que o SiO<sub>2</sub> exerceu papel positivo em aumentar o acúmulo de P no caule das plantas, até a concentração estimada de 22,68 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl. Observou-se ainda que a redução do acúmulo de P, no caule das plantas, submetidas à solução na presença de SiO<sub>2</sub> foi menos acentuada, no entanto, não controlando o estresse salino sobre as plantas submetidas na solução na presença de 60 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl. Esses resultados estão de acordo com as observações de Grattan & Grieve (1999), ao observarem que o transporte de P à parte aérea, é limitado pela salinidade em função do excesso de Cl. Contudo, Miranda (2000) observou que no caule das plantas de cajueiro anão precoce, sensíveis à salinidade, o acúmulo de P decresceu linearmente com o NaCl e com a aplicação de 0,5

mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>. No entanto, com a aplicação de 1,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub> ocorreu menor acúmulo de P com a aplicação de 58,9 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl.

○— 0,0 SiO<sub>2</sub>  $y = 0,343012 + 0,011106x - 0,000241x^2$   $R^2 = 0,86^{**}$   
 □— 0,5 SiO<sub>2</sub>  $y = 0,583394 - 0,005864x$   $R^2 = 0,82^{**}$   
 △— 1,0 SiO<sub>2</sub>  $y = 0,388562 + 0,010298x - 0,000227x^2$   $R^2 = 0,92^{**}$   
 ●— 1,5 SiO<sub>2</sub>  $y = 0,442535 + 0,006249x - 0,000227x^2$   $R^2 = 0,75^{**}$



**FIGURA 14** Acúmulo de P no caule de maracujazeiro amarelo em função dos níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub> na solução nutritiva. (\*\*) significativo a 1%.

A interação entre os fatores NaCl e SiO<sub>2</sub> influenciou o acúmulo de K no caule das plantas, na ausência e na presença dos níveis de SiO<sub>2</sub>. Na ausência de SiO<sub>2</sub>, o acúmulo máximo de K no caule das plantas foi de 0,87 g planta<sup>-1</sup> nas plantas, submetidas à solução a uma concentração estimada de 24,47 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, reduzindo acima dessa concentração, com redução mais acentuada na presença de 60 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, ajustando-se a um modelo de regressão quadrático. No entanto, o acúmulo de K no caule das plantas submetidas à solução com 0,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, reduziu linearmente com os níveis de NaCl. Com a aplicação de 1,0 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, o acúmulo máximo de K no caule foi

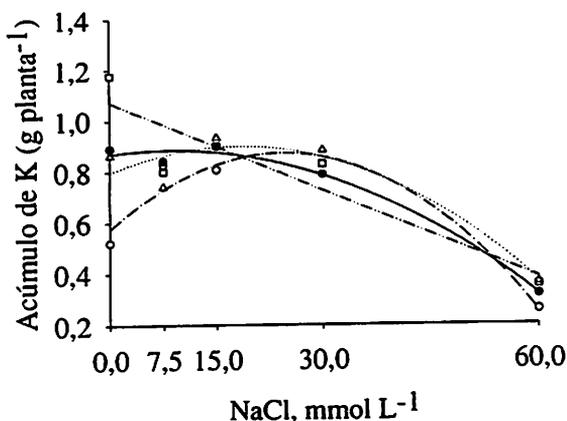
de  $0,89 \text{ g planta}^{-1}$ , nas plantas submetidas a concentrações estimadas de  $18,22 \text{ mmol L}^{-1}$  de NaCl, porém decrescendo com os maiores níveis de NaCl, ajustando-se a um modelo de regressão quadrático. Com a aplicação de  $1,5 \text{ mmol L}^{-1}$  de  $\text{SiO}_2$ , o acúmulo máximo de K no caule foi de  $0,88 \text{ g planta}^{-1}$ , nas plantas submetidas a concentrações estimadas de  $8,56 \text{ mmol L}^{-1}$  de NaCl, cuja condutividade elétrica da solução foi em torno de  $1,60 \text{ dSm}^{-1}$ , reduzindo com os maiores níveis de NaCl, ajustando-se a um modelo de regressão quadrático (Figura 15).

Com a aplicação de  $1,0 \text{ mmol L}^{-1}$  de  $\text{SiO}_2$ , (Figura 15) observou-se que o  $\text{SiO}_2$  exerceu papel positivo em aumentar o acúmulo de K no caule das plantas até a concentração estimada de  $18,22 \text{ mmol L}^{-1}$  de NaCl. Além disso, com esse nível de  $\text{SiO}_2$  aplicado, observa-se que a redução do acúmulo de K é menos acentuada. No entanto, na ausência de NaCl, o menor nível de  $\text{SiO}_2$  foi mais eficiente em promover maior acúmulo de K no caule das plantas. Observou-se também que os níveis de NaCl até uma concentração estimada de  $24,47 \text{ mmol L}^{-1}$  de NaCl, não interferiu no acúmulo de K no caule, porém, reduzindo acima dessa concentração. Esses resultados estão de acordo com as observações de Marschner (1995) ao observar que o aumento da concentração de Na na solução causou declínio nos teores de K, retratando uma menor absorção de K, resultante do aumento salino. Miranda (2000) observou resultados semelhantes, com o estresse salino reduzindo o acúmulo de K no caule das plantas de cajueiro anão precoce, sensíveis à salinidade, independente do  $\text{SiO}_2$ .

A interação entre os fatores NaCl e  $\text{SiO}_2$  influenciou o acúmulo de Ca no caule das plantas, na ausência e na presença dos níveis de  $\text{SiO}_2$ . Na ausência de  $\text{SiO}_2$ , o acúmulo máximo de cálcio no caule foi de  $0,40 \text{ g planta}^{-1}$  nas plantas, submetidas a uma concentração estimada de  $21,04 \text{ mmol L}^{-1}$  de NaCl, reduzindo com as maiores concentrações de NaCl, com redução mais acentuada na

presença de 60 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, ajustando-se a um modelo de regressão quadrático (Figura 16).

---○--- 0,0 SiO<sub>2</sub>  $y = 0,575962 + 0,024180x - 0,000494x^2$  R<sup>2</sup> = 0,94\*\*  
 ---□--- 0,5 SiO<sub>2</sub>  $y = 1,070063 - 0,011445x$  R<sup>2</sup> = 0,83\*\*  
 ---△--- 1,0 SiO<sub>2</sub>  $y = 0,797154 + 0,0111129x - 0,000214x^2$  R<sup>2</sup> = 0,98\*\*  
 ---●--- 1,5 SiO<sub>2</sub>  $y = 0,868762 + 0,003666x - 0,000214x^2$  R<sup>2</sup> = 0,98\*\*



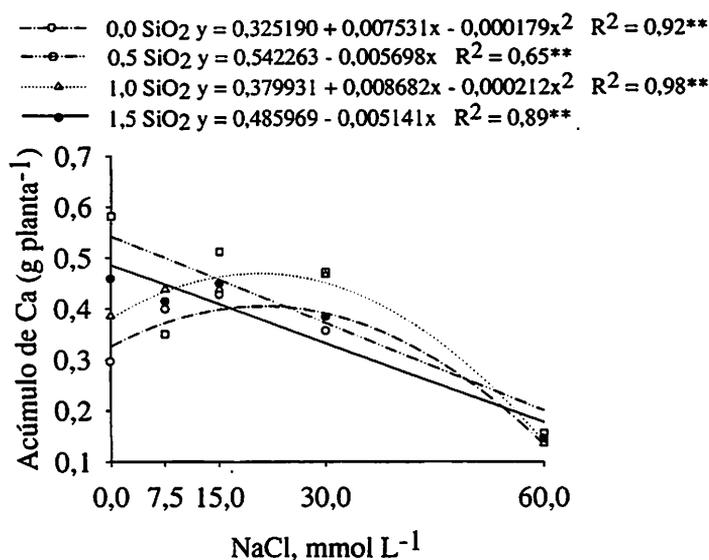
**FIGURA 15** Acúmulo de K no caule de maracujazeiro amarelo em função dos níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub> na solução nutritiva. (\*\*) significativo a 1%.

No entanto, o acúmulo de Ca no caule das plantas, submetidas a concentrações de 0,5 e 1,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub> reduziu linearmente com os níveis de NaCl. No entanto, na presença de 1,0 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, o acúmulo máximo de Ca no caule foi de 0,47 g planta<sup>-1</sup> nas plantas, submetidas a concentrações estimadas de 20,48 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, reduzindo com os maiores níveis de NaCl, ajustando a um modelo de regressão quadrático (Figura 16).

Com a aplicação de 1,0 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub> (Figura 16) observou-se que o SiO<sub>2</sub> exerceu papel positivo em aumentar o acúmulo de Ca no caule das plantas, submetidas à concentração estimada de 20,48 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl. Além disso,

com a aplicação desse nível de SiO<sub>2</sub>, observa-se que o estresse salino sobre o acúmulo de Ca no caule das plantas foi mais atenuado. Porém, na ausência de NaCl, maior acúmulo de Ca no caule das plantas ocorreu quando estas foram submetidas à solução na presença de 0,5 e 1,0 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>.

Esses resultados estão de acordo com as observações de Grattan & Grieve (1992) e Alam (1994), ao observarem que elevadas concentrações de Na no meio externo podem reduzir a atividade do Ca na solução, resultando em decréscimo do acúmulo de Ca, disponível às plantas. Miranda (2000) também observou no caule das plantas de cajueiro anão precoce sensíveis à salinidade, acúmulo máximo de Ca na presença de 34 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl e na ausência de SiO<sub>2</sub> e mínimo com a aplicação de 0,5 e 1,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub> e 77 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl.



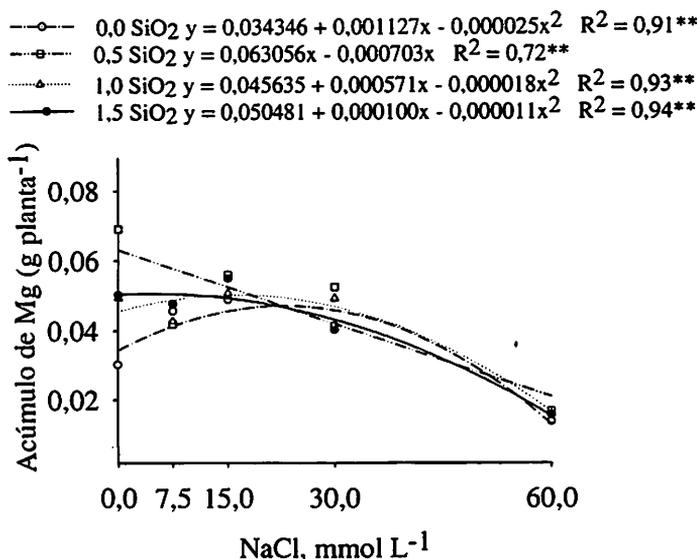
**FIGURA 16** Acúmulo de Ca no caule de maracujazeiro amarelo em função dos níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub> na solução nutritiva. (\*\*) significativo a 1%.

A interação entre os fatores NaCl e SiO<sub>2</sub> influenciou o acúmulo de Mg no caule das plantas, na ausência e na presença dos níveis de SiO<sub>2</sub>. Na ausência de SiO<sub>2</sub>, o acúmulo máximo de Mg no caule das plantas foi de 0,047 g planta<sup>-1</sup>, até uma concentração estimada de 22,54 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, reduzindo com as maiores concentrações de NaCl, com redução mais acentuada na presença de 60 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, ajustando-se a um modelo de regressão quadrático. No entanto, o acúmulo de Mg no caule, com a aplicação de 0,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, reduziu linearmente com os níveis de NaCl aplicados na solução (Figura 17).

Com a aplicação de 1,0 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, o acúmulo máximo de Mg no caule foi de 0,050 g planta<sup>-1</sup> das plantas, quando submetidas a concentrações estimadas de 15,86 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, cuja condutividade elétrica da solução foi de 2,68 dSm<sup>-1</sup>, reduzindo acentuadamente com o maior nível de NaCl, cuja condutividade elétrica da solução foi de 7,8 dSm<sup>-1</sup>, ajustando-se a um modelo de regressão quadrático. Com a aplicação de 1,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, o acúmulo máximo de Mg no caule foi de 0,051 g planta<sup>-1</sup> das plantas submetidas a concentrações estimadas de 4,54 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, reduzindo acentuadamente com o maior nível de NaCl, ajustando-se um a modelo de regressão quadrático (Figura 17).

Observou-se (Figura 17) que o acúmulo de Mg no caule foi mais prejudicado que o K e Ca. No entanto, percebeu-se que apesar da redução do acúmulo de Mg tenha sido menos acentuada na presença de 1,0 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, não se observou que o SiO<sub>2</sub> promoveu maior acúmulo de Mg no caule das plantas. Porém, na ausência de NaCl, maior acúmulo de Mg ocorreu no caule das plantas, submetidas à solução na presença de 0,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>. No entanto, na maior concentração de NaCl, o acúmulo de Mg foi reduzido e o SiO<sub>2</sub> não foi eficiente em controlar o estresse salino dos íons Na sobre o acúmulo de Mg no caule das plantas.

Esses resultados estão de acordo com as constatações de Datta et al. (1995), ao observarem declínio gradual de Mg, em função do aumento da salinidade. Contudo, Miranda (2000), avaliando plantas de cajueiro anão precoce, sensíveis à salinidade, não observou influência da interação entre NaCl e SiO<sub>2</sub> sobre o acúmulo de Mg.

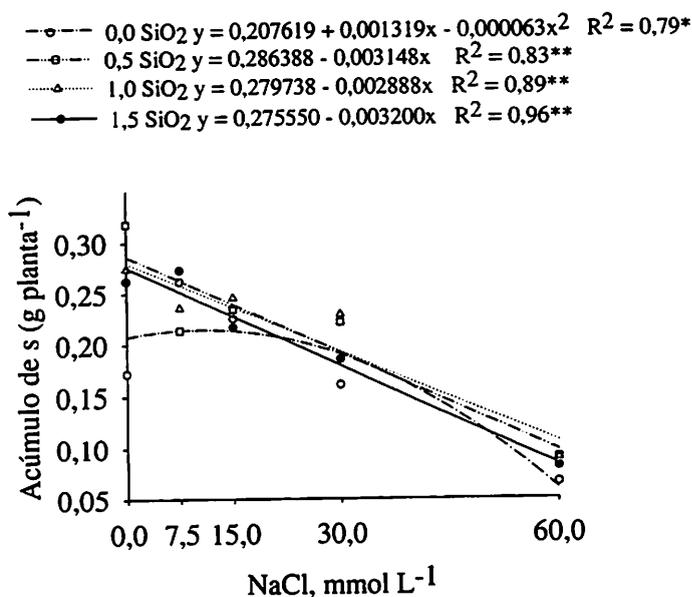


**FIGURA 17** Acúmulo de Mg no caule de maracujazeiro amarelo em função dos níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub> na solução nutritiva. (\*\*) significativo a 1%

A interação entre os fatores NaCl e SiO<sub>2</sub> influenciou o acúmulo de S no caule das plantas, na ausência e na presença dos níveis de SiO<sub>2</sub>. Na ausência de SiO<sub>2</sub>, o acúmulo máximo de S no caule das plantas, foi de 0,21 g planta<sup>-1</sup> até uma concentração estimada de 10,47 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, reduzindo com as maiores concentrações de NaCl, com redução mais acentuada na presença de 60 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, ajustando-se a um modelo de regressão quadrático. No entanto, o acúmulo de S no caule das plantas, submetidas à solução, tanto na

ausência como na presença de 1,0 e 1,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub> reduziu linearmente com os níveis de NaCl. Observou-se que maior acúmulo de S ocorreu na presença de 0,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, nas plantas submetidas à solução sem NaCl, não se observando efeito do SiO<sub>2</sub> em contribuir com maior acúmulo de S nas maiores concentrações de NaCl (Figura 18).

Esses resultados estão de acordo com as observações de Curtin et al. (1993), ao reportarem que o comportamento entre o Cl<sup>-</sup> e o SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> poderá estar relacionado a uma competição iônica, resultando numa menor absorção e transporte à parte aérea. Miranda (2000) também observou em plantas de cajueiro anão precoce, sensíveis à salinidade, redução linear do acúmulo de S com o NaCl na ausência e na presença de 0,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub> o menor acúmulo ocorreu com 79,8 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl.



**FIGURA 18** Acúmulo de S no caule de maracujazeiro amarelo em função dos níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub> na solução nutritiva. (\*\*) significativo a 1% (\*) significativo a 5%.

No maracujazeiro amarelo, por não ser uma planta acumuladora de  $\text{SiO}_2$  e por ser incluída no grupo das plantas consideradas sensíveis à salinidade, com a aplicação de  $60 \text{ mmol L}^{-1}$  de  $\text{NaCl}$  e  $1,5 \text{ mmol L}^{-1}$  de  $\text{SiO}_2$ , cuja condutividade elétrica foi de  $7,8 \text{ dSm}^{-1}$ , ocorreu elevado acúmulo de  $\text{Na}$  e  $\text{Cl}$  no caule das plantas. Esse elevado acúmulo dos íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  no caule resultou em menor acúmulo dos macronutrientes no caule das plantas, reduzindo a produção de matéria seca do caule das plantas, causando uma acentuada redução do acúmulo dos macronutrientes no caule.

#### **4.2.3 Efeito do $\text{NaCl}$ e do $\text{SiO}_2$ sobre o acúmulo de macronutrientes nas folhas de maracujazeiro amarelo**

A interação entre os fatores  $\text{NaCl}$  e  $\text{SiO}_2$  influenciou o acúmulo de  $\text{N}$  nas folhas das plantas, na ausência e na presença dos níveis de  $\text{SiO}_2$ . Na ausência de  $\text{SiO}_2$ , maior acúmulo de  $\text{N}$  foi observado nas folhas das plantas submetidas à solução sem  $\text{NaCl}$ , reduzindo com os maiores níveis de  $\text{NaCl}$ , ajustando-se a um modelo de regressão linear. Porém, com a aplicação de  $0,5 \text{ mmol L}^{-1}$  de  $\text{SiO}_2$ , o acúmulo máximo de  $\text{N}$  foi de  $7,33 \text{ g planta}^{-1}$ , nas folhas das plantas submetidas a concentrações estimadas de  $3,98 \text{ mmol L}^{-1}$  de  $\text{NaCl}$ , reduzindo com os maiores níveis de  $\text{NaCl}$ , acentuadamente com o maior nível de  $\text{NaCl}$ , ajustando-se a um modelo de regressão quadrático (Figura 19).

Com a aplicação de  $1,0 \text{ mmol L}^{-1}$  de  $\text{SiO}_2$ , o acúmulo máximo de  $\text{N}$  nas folhas foi de  $3,38 \text{ g planta}^{-1}$  nas plantas, quando submetidas a concentrações estimadas de  $19,62 \text{ mmol L}^{-1}$  de  $\text{NaCl}$ , reduzindo com os maiores níveis de  $\text{NaCl}$ , com redução mais acentuada no nível de  $60 \text{ mmol L}^{-1}$  de  $\text{NaCl}$ , cuja condutividade elétrica da solução foi de  $7,8 \text{ dSm}^{-1}$ , ajustando-se um modelo de regressão quadrático. Na presença de  $1,5 \text{ mmol L}^{-1}$  de  $\text{SiO}_2$ , o acúmulo máximo de  $\text{N}$  nas folhas foi de  $5,99 \text{ g planta}^{-1}$ , nas plantas submetidas a concentrações estimadas de  $13,31 \text{ mmol L}^{-1}$  de  $\text{NaCl}$ , reduzindo com os maiores níveis de

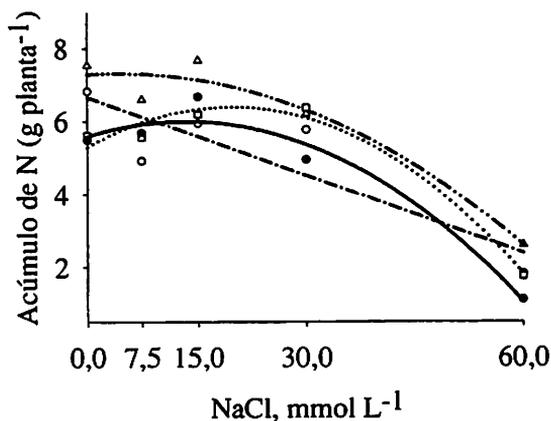
NaCl, com redução mais acentuada, com a aplicação de 60 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, ajustando-se a um modelo de regressão quadrático (Figura 19).

Observou-se (Figura 19) que a aplicação de 0,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, favoreceu maior acúmulo de N nas folhas das plantas, submetidas à solução sem NaCl. Foi observado também que, com os níveis de SiO<sub>2</sub>, a redução do acúmulo de N nas folhas foi menos acentuada. Maior acúmulo de N ocorreu nas folhas das plantas, submetidas à solução na presença de 1,0 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub> e 19,62 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, não sendo eficiente em controlar o estresse salino sobre as plantas, submetidas a maiores concentrações de NaCl.

Esses resultados estão de acordo com as observações de Bradbury & Ahmad (1990), ao relatar que o fornecimento de SiO<sub>2</sub>, para algumas espécies, tem possibilidade de promover respostas positivas quanto ao crescimento e adaptação a ambientes salinos. Porém, no caso do maracujazeiro amarelo, nessas condições, não existe possibilidade do SiO<sub>2</sub> controlar o efeito do estresse salino sobre as plantas na presença de 60 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, durante o rápido período das plantas expostas à solução, pelo fato da sua baixa tolerância à salinidade. Miranda (2000), avaliando plantas de cajueiro anão precoce, sensíveis à salinidade submetidas em solução nutritiva com níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub>, observou também redução linear do acúmulo de N nas folhas das plantas, submetidas na solução com NaCl, porém contrastante com a aplicação de 0,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>.

A interação entre os fatores NaCl e SiO<sub>2</sub> não influenciou o acúmulo de P nas folhas das plantas. O acúmulo de P nas folhas das plantas foi influenciado pelo NaCl, de forma isolada (Figura 20).

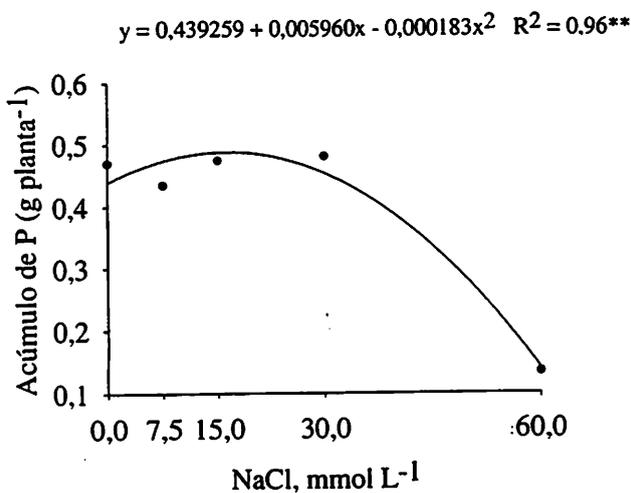
$\text{---}\blacktriangle\text{---}$  0,0 SiO<sub>2</sub>  $y = 6,653694 - 0,071578x$   $R^2 = 0,76^{**}$   
 $\text{---}\blacktriangle\text{---}$  0,5 SiO<sub>2</sub>  $y = 7,284562 + 0,012009x - 0,001509x^2$   $R^2 = 0,94^{**}$   
 $\text{---}\blacktriangle\text{---}$  1,0 SiO<sub>2</sub>  $y = 5,295127 + 0,110435x - 0,002814x^2$   $R^2 = 0,97^{**}$   
 $\text{---}\blacktriangle\text{---}$  1,5 SiO<sub>2</sub>  $y = 5,584342 + 0,060405x - 0,002269x^2$   $R^2 = 0,96^{**}$



**FIGURA 19** Acúmulo de N nas folhas de maracujazeiro amarelo em função dos níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub> na solução nutritiva. (\*\*) significativo a 1%.

O acúmulo máximo de P foi de 0,048 g planta<sup>-1</sup> nas folhas das plantas, submetidas à solução na presença de uma média estimada de 16,28 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, cuja condutividade elétrica da solução foi de 2,68 dSm<sup>-1</sup>, reduzindo com as maiores concentrações de NaCl, com redução mais acentuada na presença de 60 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, ajustando-se ao modelo de regressão quadrático (Figura 20).

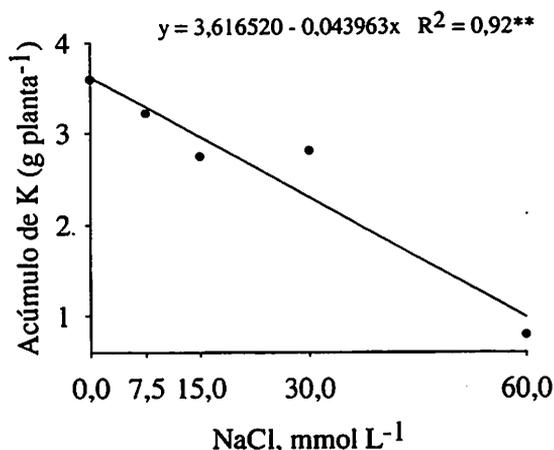
Esses resultados estão de acordo com as observações de Al-Karaki (1997), ao constatarem que a redução do P pode estar relacionada a uma baixa atividade dos íons fosfatos na solução, com o aumento do NaCl, causando um desequilíbrio nutricional devido ao excesso de Cl nos tecidos da planta. Contudo, Miranda (2000) obteve acúmulo máximo de P nas folhas das plantas de cajueiro anão precoce sensível a salinidade, apenas nas plantas submetidas à solução sem NaCl e na presença de 1,0 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>.



**FIGURA 20** Acúmulo de P nas folhas de maracujazeiro amarelo em função dos níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub> na solução nutritiva. (\*\*) significativo a 1%.

A interação entre os fatores NaCl e SiO<sub>2</sub> não influenciou o acúmulo de K nas folhas das plantas. Apenas os níveis de NaCl influenciaram o acúmulo de K nas folhas das plantas, provocando redução linear de 3,61 g planta<sup>-1</sup> para 0,97 g planta<sup>-1</sup>, nas folhas das plantas, submetidas à solução com 60 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, cuja condutividade elétrica da solução foi de 7,8 dSm<sup>-1</sup> (Figura 21).

Esses resultados discordam dos postulados de Bradbury & Ahmad (1990) e Liang et al. (1996). Segundo Malavolta et al. (1997), a redução de K nas plantas traz sérios desequilíbrios pelo fato do K funcionar em processos osmóticos, na síntese de proteínas e na permeabilidade da membrana. Entretanto, Miranda (2000) observou que a interação entre o NaCl e SiO<sub>2</sub> exerceu efeito positivo sobre o acúmulo de K nas folhas das plantas de cajueiro anão precoce sensível a salinidade, onde com a aplicação de 1,0 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub> o acúmulo foi máximo no nível de 82,5 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl e com a aplicação de 1,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub> ocorreu aumento linear.



**FIGURA 21** Acúmulo de K nas folhas de maracujazeiro amarelo em função dos níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub> na solução nutritiva. (\*\*) significativo a 1%.

A interação entre os fatores NaCl e SiO<sub>2</sub> influenciou o acúmulo de Ca nas folhas das plantas na ausência e na presença dos níveis de SiO<sub>2</sub>. O acúmulo de Ca reduziu linearmente com os níveis de NaCl, na ausência de SiO<sub>2</sub>. Com a aplicação de 0,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, o acúmulo máximo de Ca nas folhas foi de 2,85 g planta<sup>-1</sup>, nas plantas submetidas a concentrações estimadas de 7,5 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, cuja condutividade elétrica da solução foi de 1,6 dSm<sup>-1</sup>, reduzindo-se com os maiores níveis de NaCl, com a redução mais acentuada na presença de 60 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, cuja condutividade elétrica da solução foi de 7,8 dSm<sup>-1</sup>, ajustando-se a um modelo de regressão quadrático (Figura 22).

Com a aplicação de 1,0 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, o acúmulo máximo de Ca nas folhas foi de 2,10 g planta<sup>-1</sup>, nas plantas submetidas a concentrações estimadas de 11,64 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, reduzindo-se com os maiores níveis de NaCl, com redução mais acentuada na presença de 60 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, ajustando-se a um modelo de regressão quadrático. No entanto, na presença de 1,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, o acúmulo máximo de Ca nas folhas foi de 1,94 g planta<sup>-1</sup> nas plantas em

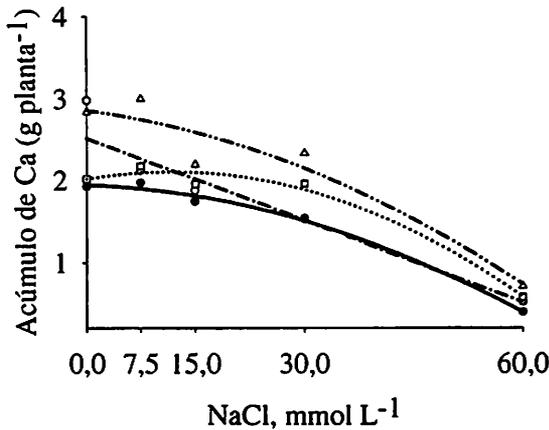
concentrações estimadas de  $7,5 \text{ mmol L}^{-1}$  de NaCl, cuja condutividade elétrica foi de  $1,6 \text{ dSm}^{-1}$ , reduzindo com os maiores níveis de NaCl, com redução mais acentuada na presença de  $60 \text{ mmol L}^{-1}$  de NaCl, em função da elevada condutividade elétrica  $7,8 \text{ dSm}^{-1}$ , ajustando-se a um modelo de regressão quadrático (Figura 22).

Observou-se (Figura 22) que, na ausência de NaCl, maior acúmulo de Ca ocorreu nas folhas das plantas, submetidas à solução com  $0,5 \text{ mmol L}^{-1}$  de  $\text{SiO}_2$ , sendo observado também que a redução do acúmulo de Ca foi menos acentuada. No entanto, apesar desse efeito atenuante do  $\text{SiO}_2$  sobre a redução do acúmulo de Ca nas folhas das plantas, o  $\text{SiO}_2$  não controlou o efeito salino nas plantas quando submetidas em concentrações de  $60 \text{ mmol L}^{-1}$  de NaCl, cuja condutividade elétrica foi de  $7,8 \text{ dSm}^{-1}$ .

Ma & Takahashi (1993) observaram redução dos teores de Ca nas plantas de arroz, que não receberam  $\text{SiO}_2$ , em comparação com as plantas que receberam  $\text{SiO}_2$ . Segundo os autores, o  $\text{SiO}_2$  promoveu maior área foliar e redução da taxa de transpiração. No entanto, Miranda (2000) observou efeito da interação entre NaCl e  $\text{SiO}_2$ , sobre o acúmulo de Ca nas folhas das plantas de cajueiro anão precoce, sensível à salinidade, obtendo acúmulo máximo nas folhas das plantas submetidas a concentrações estimadas de  $63,4 \text{ mmol L}^{-1}$  de NaCl na presença de  $1,0 \text{ mmol L}^{-1}$  de  $\text{SiO}_2$ . No entanto, o autor observou também que a redução de Ca foi mais acentuada na presença de  $0,5 \text{ mmol L}^{-1}$  de  $\text{SiO}_2$  que na presença de  $1,5 \text{ mmol L}^{-1}$  de  $\text{SiO}_2$ .

A interação entre os fatores NaCl e  $\text{SiO}_2$  influenciou no acúmulo de Mg nas folhas das plantas de forma isolada. O acúmulo de Mg nas folhas das plantas reduziu linearmente de  $0,22 \text{ g planta}^{-1}$  para  $0,04 \text{ g planta}^{-1}$ , nas folhas das plantas submetidas à solução com  $60 \text{ mmol L}^{-1}$  de NaCl (Figura 23).

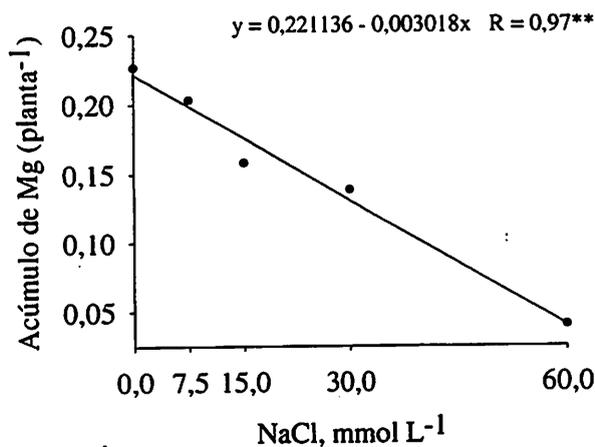
$\text{---}\circ\text{---}$  0,0 SiO<sub>2</sub>  $y = 2,626581 - 0,036426x$   $R^2 = 0,92^{**}$   
 $\text{---}\square\text{---}$  0,5 SiO<sub>2</sub>  $y = 2,858915 - 0,012251x - 0,000384x^2$   $R^2 = 0,92^{**}$   
 $\text{---}\diamond\text{---}$  1,0 SiO<sub>2</sub>  $y = 2,0153115 + 0,015112x - 0,000649x^2$   $R^2 = 0,98^{**}$   
 $\text{---}\bullet\text{---}$  1,5 SiO<sub>2</sub>  $y = 1,945281 - 0,003264x - 0,000376x^2$   $R^2 = 0,99^{**}$



**FIGURA 22** Acúmulo de Ca nas folhas de maracujazeiro amarelo em função dos níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub> na solução nutritiva. (\*\*) significativo a 1%.

Esses resultados estão de acordo com as observações de Hu & Schmedhalter (1997), ao afirmarem que o decréscimo do teor de Mg poderá estar relacionado com uma competição iônica com o Na. O Mg é móvel no floema e, na sua deficiência surgem sintomas como clorose interveinal, aparecendo principalmente nas folhas mais velhas, cujo papel mais conhecido é sua presença na clorofila (Malavolta et al., 1997). Nas plantas submetidas à solução com 60 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, cuja condutividade elétrica da solução foi de 7,8 dSm<sup>-1</sup>, foram observados nas plantas de maracujazeiro amarelo, esses sintomas devido a inibição competitiva entre o Na e o Mg pelos mesmos sítios de absorção. Miranda (2000) constatou resultados semelhantes, observando redução linear do acúmulo de Mg nas folhas de cajueiro anão precoce, sensível à salinidade com o NaCl, na ausência e na presença de 0,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>,

porém com a aplicação de  $1,0 \text{ mmol L}^{-1}$  de  $\text{SiO}_2$ , o acúmulo foi crescente até  $63,9 \text{ mmol L}^{-1}$  de  $\text{NaCl}$ .

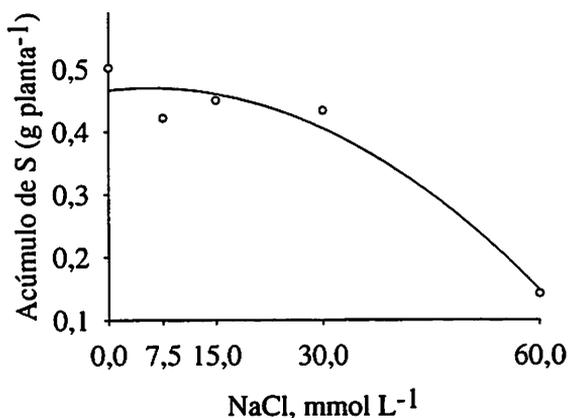


**FIGURA 23** Acúmulo de Mg nas folhas de maracujazeiro amarelo em função dos níveis de NaCl e  $\text{SiO}_2$  na solução nutritiva. (\*\*) significativo a 1%.

A interação entre os fatores NaCl e  $\text{SiO}_2$  influenciou no acúmulo de S nas folhas das plantas de forma isolada. O acúmulo máximo de S nas folhas das plantas foi de  $0,46 \text{ g planta}^{-1}$  até uma concentração estimada de  $5,58 \text{ mmol L}^{-1}$  de NaCl, reduzindo com as maiores concentrações de NaCl, ajustando-se a um modelo de regressão quadrático (Figura 24).

Esses resultados estão de acordo com as observações de Manchanda (1982), ao afirmar que o Cl reduz o acúmulo de S na palha de ervilha. Resultados contrastantes foram obtidos por Miranda (2000), que observou acúmulo crescente de S nas folhas das plantas, submetidas à solução com  $0,5 \text{ mmol L}^{-1}$  de  $\text{SiO}_2$  até a aplicação de  $58,6 \text{ mmol L}^{-1}$  de NaCl.

$$y = 0,466028 + 0,001216x - 0,000109x^2 \quad R^2 = 0,94^{**}$$



**FIGURA 24** Acúmulo de S nas folhas de maracujazeiro amarelo em função dos níveis de NaCl na solução nutritiva. (\*\*) significativo a 1%.

No maracujazeiro amarelo, por não ser uma planta acumuladora de SiO<sub>2</sub> e por ser incluída no grupo das plantas consideradas sensíveis à salinidade, com a aplicação de 60 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl e 1,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, cuja condutividade elétrica foi de 7,8 dSm<sup>-1</sup>, ocorreu elevado acúmulo de Na e Cl nas folhas das plantas. Esse elevado acúmulo dos íons Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup> nas folhas resultou em menor acúmulo dos macronutrientes nas folhas das plantas, reduzindo a produção de matéria seca destas, causando uma acentuada redução do acúmulo dos macronutrientes nas folhas, indicando uma maior sensibilidade das plantas aos sais.

#### 4.2.4 Efeito do NaCl e SiO<sub>2</sub> sobre o acúmulo de micronutrientes nas raízes de maracujazeiro amarelo

A interação entre os fatores NaCl e SiO<sub>2</sub> influenciou o acúmulo de B nas raízes das plantas, na ausência e na presença de 0,5 e 1,0 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>. Na ausência de SiO<sub>2</sub> o acúmulo de B decresceu linearmente com os níveis de NaCl,

aplicados à solução. Os valores médios estimados variaram de 0,97 mg planta<sup>-1</sup> da ausência de NaCl, para 0,33 mg planta<sup>-1</sup>, na presença de 60 mmol L<sup>-1</sup>. Porém, com a aplicação de 0,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, o acúmulo máximo de B nas raízes foi de 0,93 mg planta<sup>-1</sup> nas plantas, submetidas à solução com concentrações estimadas de 15,42 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, reduzindo com os maiores níveis de NaCl, com redução acentuada com a aplicação de 60 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, ajustando-se a um modelo de regressão quadrático (Figura 25).

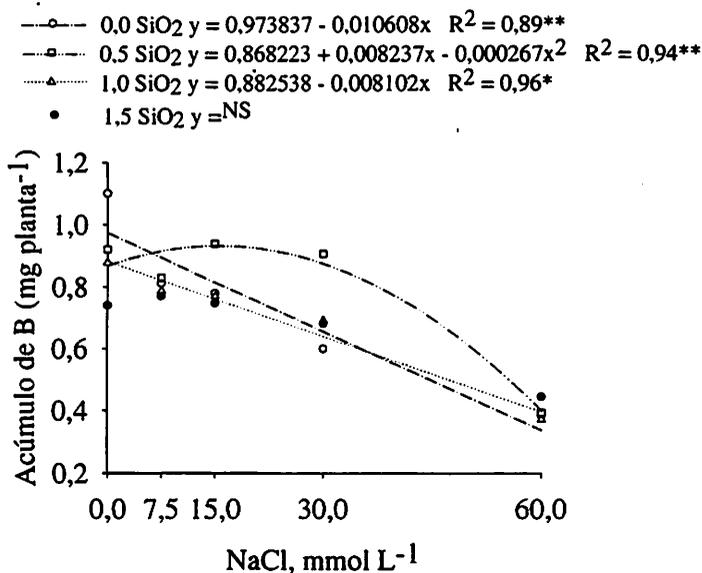
Observou-se que o SiO<sub>2</sub> (Figura 25) não contribuiu para o aumento do acúmulo de B nas raízes das plantas na ausência de NaCl na solução. Porém, a aplicação de 0,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub> favoreceu o acúmulo de B até concentrações de 15 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, o SiO<sub>2</sub>, cuja condutividade elétrica da solução foi de 2,68 dSm<sup>-1</sup> e a redução do acúmulo de B foi menos acentuada, com as maiores concentrações de NaCl. No entanto, apesar do favorecimento na redução do acúmulo de B, os níveis de SiO<sub>2</sub> não foram suficientes para controlar o estresse salino sobre o acúmulo de B nas plantas submetidas à solução, na presença de 60 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, cuja condutividade elétrica foi de 7,8 dSm<sup>-1</sup>.

Com a aplicação de 1,0 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, o acúmulo de B reduziu linearmente, com redução mais acentuada no nível de 60 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl. O acúmulo estimado de B nas raízes reduziu de 0,88 mg planta<sup>-1</sup> na ausência de NaCl para 0,37 mg planta<sup>-1</sup> das raízes das plantas de maracujazeiro amarelo, submetidas à solução com 60 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, com os respectivos níveis de SiO<sub>2</sub> aplicados à solução (Figura 25).

Provavelmente, a disponibilidade do B tenha sido comprometida devido à elevação do pH à faixa inadequada, com o B predominando em forma insolúvel na solução, não sendo observado efeito do SiO<sub>2</sub> no crescimento das plantas, porém redução dos níveis de NaCl, principalmente na presença de 60 mmol L<sup>-1</sup>. Esses resultados sobre a redução do crescimento das plantas estão de acordo com os relatos de Greenway & Munns (1980), ao observarem que o

crescimento vegetativo foi afetado quando as plantas foram submetidas a concentrações inferiores a 20 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl.

Miranda (2000), avaliando plantas de cajueiro anão precoce e moringa, plantas consideradas sensíveis e tolerantes aos sais, observou resultados semelhantes, sobre o acúmulo de B, tendendo decrescer com o estresse salino em ambas as culturas. Neves (2003), ao avaliar plantas de umbu em solução nutritiva, submetidas a níveis de NaCl, observou que o acúmulo de B também reduziu com o aumento de NaCl, aplicado à solução. Chagas (2004) observou que a absorção de SiO<sub>2</sub> pelas plantas de arroz e milho, submetidas à solução nutritiva não alterou significativamente os teores de micronutrientes.



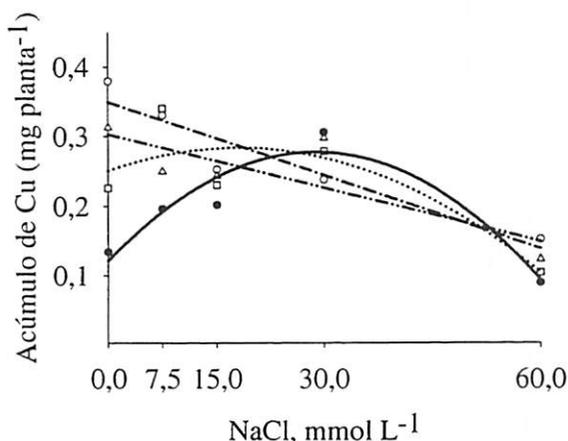
**FIGURA 25** Acúmulo de B nas raízes de maracujazeiro amarelo em função dos níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub> na solução nutritiva. (\*) significativo a 5%. (\*\*) significativo a 1%. (ns) não significativo.

A interação entre os fatores NaCl e SiO<sub>2</sub> influenciou o acúmulo de Cu nas raízes das plantas, na ausência e na presença dos níveis de SiO<sub>2</sub>. O acúmulo de Cu na ausência e na presença de 0,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub> foi reduzido linearmente com valores médios de 0,34 e 0,30 mg planta<sup>-1</sup>, na ausência de NaCl, para 0,13 e 0,14 mg planta<sup>-1</sup>, nas raízes das plantas submetidas a concentrações de 60 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl (Figura 26).

Com a aplicação de 1,0 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub> o acúmulo máximo de Cu foi de 0,28 g planta<sup>-1</sup>, nas raízes das plantas submetidas a concentrações estimadas de 17,97 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, reduzindo acentuadamente com a aplicação de 60 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, ajustando-se a um modelo de regressão quadrático. Com a aplicação de 1,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, o acúmulo máximo de Cu foi de 0,28 g planta<sup>-1</sup> nas raízes das plantas submetidas a concentrações estimadas de 28,75 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, cuja condutividade elétrica da solução foi de 4,3 dSm<sup>-1</sup>, reduzindo acentuadamente com a aplicação de 60 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, cuja condutividade elétrica da solução foi de 7,8 dSm<sup>-1</sup>, ajustando-se a um modelo de regressão quadrático (Figura 26).

Observou-se (Figura 26) que o SiO<sub>2</sub> não favoreceu o acúmulo de Cu nas raízes das plantas, embora na presença de 1,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub> tenha amenizado o estresse salino sobre o acúmulo de Cu, até concentração estimada de 28,75 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, cuja condutividade elétrica da solução foi de 4,6 dSm<sup>-1</sup>. Acima desse nível de NaCl, o acúmulo de Cu reduziu com a concentração de NaCl aplicado na solução. Miranda (2000) observou em plantas de moringa maior acúmulo de Cu na presença de 0,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub> e redução linear com a aplicação de 1,0 e 1,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>. Hocking (1993), observou também redução do acúmulo de Cu em todas as partes avaliadas em plantas de sorgo.

$\text{---}\circ\text{---}$  0,0 SiO<sub>2</sub>  $y = 0,349225 - 0,003503x$   $R^2 = 0,89^{**}$   
 $\text{---}\triangle\text{---}$  0,5 SiO<sub>2</sub>  $y = 0,302875 - 0,002557x$   $R^2 = 0,66^{**}$   
 $\text{---}\square\text{---}$  1,0 SiO<sub>2</sub>  $y = 0,250808 + 0,003630x - 0,000101x^2$   $R^2 = 0,73^{**}$   
 $\text{---}\bullet\text{---}$  1,5 SiO<sub>2</sub>  $y = 0,121708 + 0,010811x - 0,000188x^2$   $R^2 = 0,90^{**}$



**FIGURA 26** Acúmulo de Cu nas raízes de maracujazeiro amarelo em função dos níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub> na solução nutritiva. (\*\*\*) significativo a 1%.

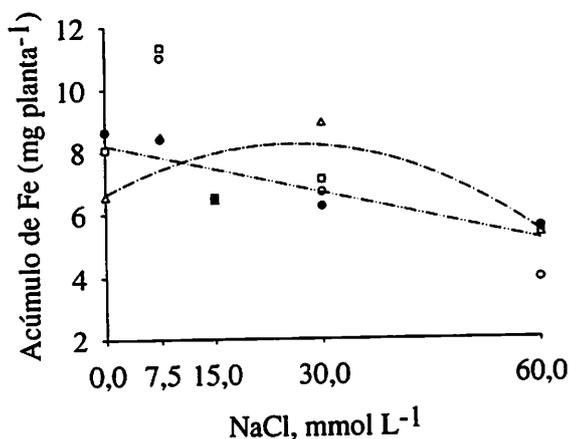
A interação entre os fatores NaCl e SiO<sub>2</sub> influenciou o acúmulo de Fe nas raízes das plantas, apenas na presença de 1,0 e 1,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>. Com a aplicação de 1,0 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, o acúmulo máximo de Fe nas raízes foi de 8,22 mg planta<sup>-1</sup>, nas plantas submetidas a concentrações estimadas de 25,73 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, reduzindo acentuadamente nas plantas submetidas a concentrações de 60 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, ajustando-se a um modelo de regressão quadrático. Com a aplicação de 1,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, o acúmulo de Fe nas raízes das plantas decresceu linearmente quanto aos níveis de NaCl, reduzindo acentuadamente com aplicação do maior nível de NaCl (Figura 27).

Observou-se (Figura 27) que na ausência de NaCl, com a aplicação de 1,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub> o acúmulo de Fe nas raízes das plantas foi maior. No entanto, na presença de NaCl, observou-se que, na presença de 1,0 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, a redução do acúmulo de Fe foi menos acentuada. Não foi observado

efeito positivo do SiO<sub>2</sub> em controlar o estresse salino sobre o acúmulo de Fe na presença de 60 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl.

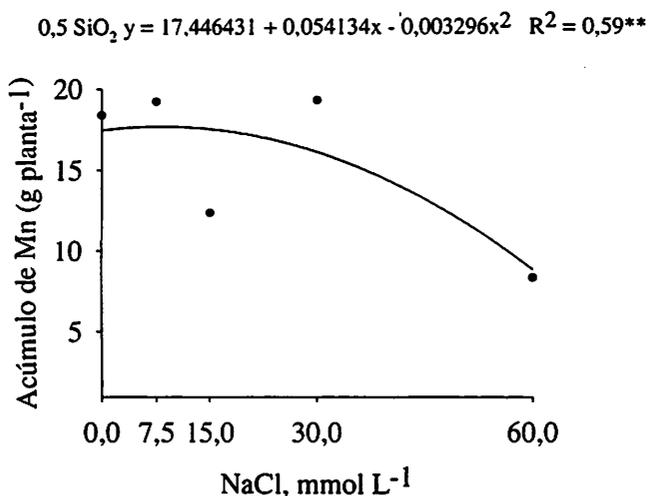
Como o maracujazeiro amarelo é uma planta sensível à salinidade, provavelmente não é eficiente quanto ao uso de Fe na produção de matéria seca das raízes e de nenhuma parte, quando submetidas em meio excessivamente salino, como por exemplo, no caso da adição de 60 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, que forneceu 3,48 g L<sup>-1</sup> de Na na solução, provavelmente reduzindo a disponibilidade de Fe na solução, além de reduzir o crescimento do sistema radicular. Neves (2003), ao avaliar plantas de umbu em solução nutritiva, submetidas a níveis de NaCl, também observou redução no acúmulo de Fé, com o aumento de NaCl aplicado à solução.

- 0,0 SiO<sub>2</sub> y = NS
- 0,5 SiO<sub>2</sub> y = sem ajuste
- ▲--- 1,0 SiO<sub>2</sub> y = 6,632688 + 0,123476x - 0,002399x<sup>2</sup> R<sup>2</sup> = 0,56\*\*
- 1,5 SiO<sub>2</sub> y = 8,198875 - 0,050710x R<sup>2</sup> = 0,76\*\*



**FIGURA 27** Acúmulo de Fe nas raízes de maracujazeiro amarelo em função dos níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub> na solução nutritiva. (\*\*) significativo a 1%. (ns) não significativo.

A interação entre os fatores NaCl e SiO<sub>2</sub> influenciou o acúmulo de Mn nas raízes das plantas, apenas na presença de 0,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>. Com a aplicação de 0,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, o acúmulo máximo de Mn nas raízes foi de 17,66 g planta<sup>-1</sup>, nas plantas submetidas à solução, com concentrações estimadas de 8,21 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl (Figura 28). Esses resultados discordam dos postulados de Bradbury & Ahmad (1990) e Liang et al. (1996), ao observarem que o SiO<sub>2</sub> pode atenuar o estresse salino de algumas culturas. Resultados contraditórios foram obtidos por Miranda (2000), ao observar nas raízes das plantas de cajueiro anão precoce aumento do acúmulo de Mn, com os níveis de NaCl. No entanto, Neves (2003), avaliando o crescimento e a nutrição mineral de plantas de umbuzeiro em meio salino, observou redução do Mn com o aumento do NaCl adicionado à solução.



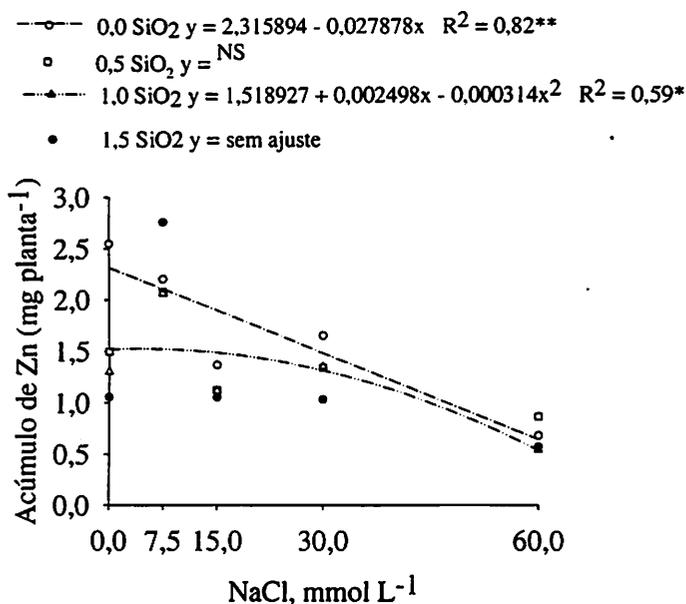
**FIGURA 28** Acúmulo de Mn nas raízes de maracujazeiro amarelo em função dos níveis de SiO<sub>2</sub> na solução nutritiva. (\*\*) significativo a 1%.

A interação entre os fatores NaCl e SiO<sub>2</sub> influenciou o acúmulo de Zn nas raízes das plantas, apenas na ausência e na presença de 1,0 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>. O acúmulo de Zn nas raízes, na ausência de SiO<sub>2</sub>, reduziu linearmente, variando de 2,31 mg planta<sup>-1</sup>, na ausência de NaCl para 0,64 mg planta<sup>-1</sup> com a aplicação de 60 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl. Com a aplicação de 1,0 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, o acúmulo máximo de Zn, nas raízes das plantas, foi de 1,52 mg planta<sup>-1</sup>, nas plantas submetidas a concentrações estimadas de 3,98 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, no entanto, reduzindo acentuadamente quando se aplicou 60 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl na solução, ajustando-se a um modelo de regressão quadrático (Figura 29).

Observou-se (Figura 29) que, na ausência de NaCl na ausência de SiO<sub>2</sub>, o acúmulo de Zn foi maior, quando comparado com o acúmulo obtido nas raízes das plantas, submetidas à solução, na presença de 1,0 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>. No entanto, na presença de NaCl com a aplicação de 1,0 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, a redução do acúmulo de Zn nas raízes foi menos acentuada, quando comparada ao acúmulo obtido nas raízes das plantas, submetidas à solução sem SiO<sub>2</sub>. Provavelmente a disponibilidade do ácido monossilícico (H<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub>) aumentou em função do pH. Segundo Lindsay (1979) essa é a forma de sílica solúvel em faixa de pH 4 a 9.

O SiO<sub>2</sub>, além de sua característica hidrofílica que favorece o controle do estresse hídrico, pode ter contribuído com o aumento do sistema radicular, promovendo maior acúmulo de Zn nas raízes das plantas. Porém, observou-se que, até concentração de 30 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, as plantas não sofreram estresse salino durante os 35 dias de avaliação. Através das observações visuais da morfologia das plantas e dos resultados sobre o acúmulo de Zn e demais nutrientes essenciais, os resultados são discordantes dos resultados obtidos por Bradbury & Ahmad (1990), ao avaliar efeito atenuante do SiO<sub>2</sub>, sobre o estresse salino nas plantas de algaroba, e os resultados obtidos por Liang et al. (1996), sobre o efeito atenuante do SiO<sub>2</sub> ao estresse salino em plantas de cevada.

Contudo, Miranda (2000) ao avaliar a interação entre os fatores NaCl e SiO<sub>2</sub>, observou apenas o efeito do NaCl sobre o acúmulo de Zn, nas raízes das plantas de cajueiro anão precoce e moringa, submetidas à solução nutritiva, cujo acúmulo reduziu linearmente. Chagas (2004) observou que a absorção de SiO<sub>2</sub> pelas plantas de arroz e milho, submetidas a solução nutritiva não alterou significativamente os teores de micronutrientes. Porém, a autora observou que o teor de Zn sofreu redução, nas plantas submetidas na solução com SiO<sub>2</sub>, quando comparado às plantas sem SiO<sub>2</sub>.



**FIGURA 29** Acúmulo de Zn nas raízes de maracujazeiro amarelo em função dos níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub> na solução nutritiva. (\*) significativo a 5%. (\*\*) significativo a 1%. (ns) não significativo.

O maracujazeiro amarelo, por não ser uma planta acumuladora de SiO<sub>2</sub> e por ser incluída no grupo das plantas consideradas sensíveis à salinidade, com a aplicação de 60 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl e 1,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, cuja condutividade

elétrica foi de  $7,8 \text{ dSm}^{-1}$ , apresentou elevado acúmulo de Na e Cl nas raízes das plantas. Esse elevado acúmulo dos íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  nas raízes, resultou em menor acúmulo dos micronutrientes nestas, reduzindo a produção de matéria seca das raízes das mesmas, causando uma acentuada redução do acúmulo dos micronutrientes nas raízes, indicando uma maior sensibilidade das plantas aos sais. Esses resultados levam a inferir que o maracujazeiro não apresenta mecanismos de tolerância à salinidade, não se enquadrando no grupo das halófitas, enquadrando-se, no entanto, no grupo das espécies sensíveis à salinidade.

#### **4.2.5 Efeito do NaCl e $\text{SiO}_2$ sobre o acúmulo de micronutrientes no caule de maracujazeiro amarelo**

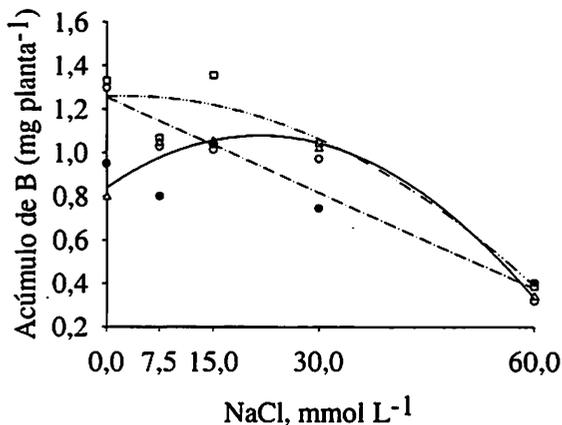
A interação entre os fatores NaCl e  $\text{SiO}_2$  influenciou o acúmulo de B no caule das plantas, apenas na ausência e na presença de  $0,5$  e  $1,0 \text{ mmol L}^{-1}$  de  $\text{SiO}_2$ . Na ausência de  $\text{SiO}_2$ , o acúmulo de B foi reduzido linearmente, com redução acentuada com a aplicação de  $60 \text{ mmol L}^{-1}$  de NaCl, cuja condutividade elétrica da solução foi de  $7,8 \text{ dSm}^{-1}$ . O acúmulo médio de B, na ausência de NaCl, variou de  $1,25 \text{ mg Kg}^{-1}$  para  $0,37 \text{ mg Kg}^{-1}$ , nas plantas submetidas a concentrações de  $60 \text{ mmol L}^{-1}$  de NaCl (Figura 30).

Com a aplicação de  $0,5 \text{ mmol L}^{-1}$  de  $\text{SiO}_2$ , o acúmulo máximo de B no caule foi de  $1,26 \text{ mg planta}^{-1}$ , nas plantas submetidas a concentrações estimadas de  $2,59 \text{ mmol L}^{-1}$  de NaCl, reduzindo com os maiores níveis de NaCl, com redução mais acentuada no maior nível de NaCl, ajustando-se a um modelo de regressão quadrático. No entanto, com a aplicação de  $1,0 \text{ mmol L}^{-1}$  de  $\text{SiO}_2$ , o acúmulo máximo de B no caule foi de  $1,01 \text{ mg planta}^{-1}$ , nas plantas submetidas a concentrações de  $21,67 \text{ mmol L}^{-1}$  de NaCl, reduzindo com os maiores níveis de NaCl, com redução mais acentuada no maior nível de NaCl, ajustando-se a um modelo de regressão quadrático (Figura 30).

Observou-se (Figura 30) que o SiO<sub>2</sub> não contribui com o aumento de B acumulado no caule das plantas, na ausência de NaCl. No entanto, com a aplicação de 0,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, observou-se aumento do B em baixas concentrações de NaCl e reduções menos acentuadas com o aumento de NaCl. Na presença de 1,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, observou-se que o SiO<sub>2</sub> atenuou o estresse salino até concentração estimada de 21,67 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl. Porém, não foi eficiente para controlar o estresse salino acima desse nível de NaCl, aplicado na solução.

Esses resultados estão de acordo com as observações de Grattan & Grieve (1994), ao relatarem que a salinidade pode causar desequilíbrio nutricional pela competição nos processos de absorção. Resultados semelhantes foram observados por Neves (2003) que, ao avaliar o crescimento e a nutrição mineral de plantas de umbuzeiro, em meio salino, observou redução do B com o aumento do NaCl adicionado à solução.

○--- 0,0 SiO<sub>2</sub>  $y = 1,254113 - 0,014645x$   $R^2 = 0,91^{**}$   
 □--- 0,5 SiO<sub>2</sub>  $y = 1,257196 + 0,001367x - 0,000507x^2$   $R^2 = 0,98^*$   
 ●--- 1,0 SiO<sub>2</sub>  $y = 0,839627 + 0,021972x - 0,000507x^2$   $R^2 = 0,98^{**}$   
 • 1,5 SiO<sub>2</sub>  $y = NS$



**FIGURA 30** Acúmulo de B no caule de maracujazeiro amarelo em função dos níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub> na solução nutritiva. (\*) significativo a 5%. (\*\*) significativo a 1%. (ns) não significativo.

A interação entre os fatores NaCl e SiO<sub>2</sub> influenciou o acúmulo de Cu no caule das plantas, na ausência e na presença dos níveis de SiO<sub>2</sub>. O acúmulo de Cu no caule das plantas submetidas à solução na ausência e na presença de 0,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, reduziu linearmente com os níveis de NaCl, adicionados à solução. O acúmulo de Cu estimado variou de 0,28 e 0,29 mg planta<sup>-1</sup> na ausência de NaCl para 0,006 e 0,10 mg planta<sup>-1</sup> na presença de 60 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl (Figura 31).

Com a aplicação de 1,0 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, o acúmulo máximo de Cu no caule foi de 0,23 mg planta<sup>-1</sup>, nas plantas submetidas a concentrações de 21,27 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, reduzindo com o maior nível de NaCl, ajustando-se a um modelo de regressão quadrático. Com a aplicação de 1,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, o acúmulo máximo de Cu no caule foi de 0,21 mg planta<sup>-1</sup>, nas plantas submetidas a concentrações de 6,70 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, reduzindo com o maior nível de NaCl, ajustando-se a um modelo de regressão quadrático (Figura 31).

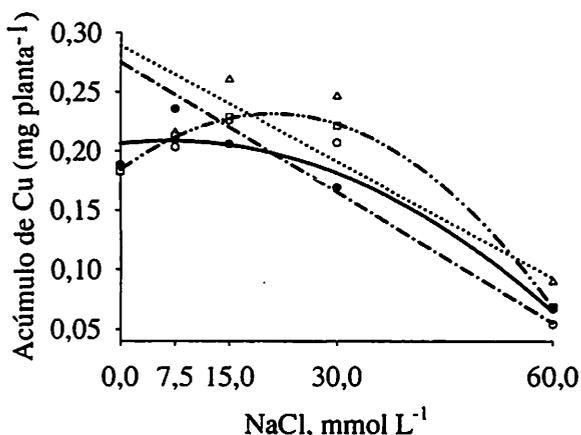
Observou-se (Figura 31) que a aplicação de 0,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub> na ausência de NaCl favoreceu maior acúmulo de Cu no caule das plantas. Observou-se ainda que a aplicação de 1,0 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, o SiO<sub>2</sub> amenizou o estresse salino até concentração estimada de 21,17 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl. Além disso, observou-se que, com os níveis de SiO<sub>2</sub>, a redução do acúmulo de Cu foi menos acentuada quando comparado ao acúmulo de Cu no caule das plantas, submetidas à solução na ausência de SiO<sub>2</sub>.

Esses resultados negativos do SiO<sub>2</sub>, na redução do estresse salino das plantas, podem estar de acordo com as observações de Marschner (1995) ao avaliar que o transporte de SiO<sub>2</sub>, na forma monomérica H<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub> até as raízes, depende da sua concentração na solução e da espécie de planta. Neves (2003) observou também redução do acúmulo de Cu no caule das plantas de umbuzeiro, submetidas a solução nutritiva com a aplicação de NaCl.

A interação entre os fatores NaCl e SiO<sub>2</sub> influenciou o acúmulo de Fe no caule das plantas, apenas na presença de 1,0 e 1,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>. O acúmulo de Fe foi influenciado pela interação entre os fatores, apenas quando se aplicou 1,0 e 1,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>. Com a aplicação de 1,0 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, o máximo acúmulo de Fe no caule foi de 0,97 mg planta<sup>-1</sup>, nas plantas submetidas a concentrações estimadas de 16,97 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, cuja condutividade elétrica da solução foi de 2,68 dSm<sup>-1</sup>, reduzindo com os maiores níveis de NaCl, ajustando-se um modelo de regressão quadrático (Figura 32).

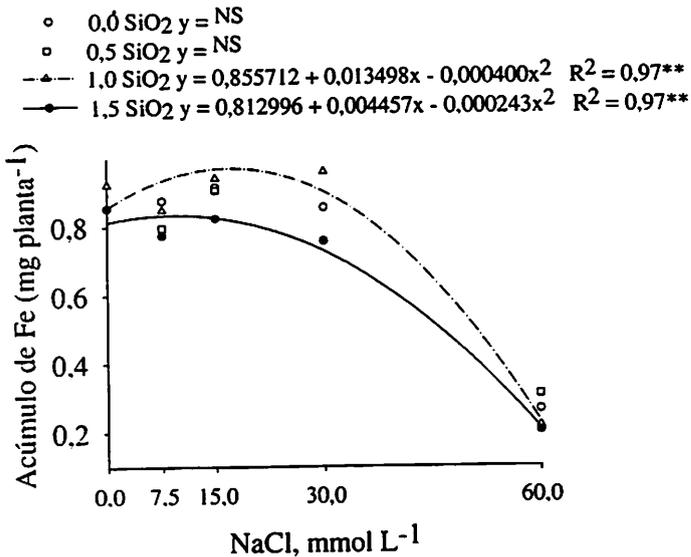
No entanto, com a aplicação de 1,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, o máximo acúmulo de Fe no caule foi de 0,83 mg planta<sup>-1</sup>, nas plantas submetidas a concentrações estimadas de 9,17 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, reduzindo com os maiores níveis de NaCl, ajustando-se a um modelo de regressão quadrático (Figura 32).

- - - 0,0 SiO<sub>2</sub>  $y = 0,281387 - 0,003622x$   $R^2 = 0,86^{**}$   
 - - - 0,5 SiO<sub>2</sub>  $y = 0,294994 - 0,003124x$   $R^2 = 0,78^{**}$   
 - - - 1,0 SiO<sub>2</sub>  $y = 0,183754 + 0,004551x - 0,000107x^2$   $R^2 = 0,99^{**}$   
 - - - 1,5 SiO<sub>2</sub>  $y = 0,206100 + 0,000684x - 0,000051x^2$   $R^2 = 0,92^{**}$



**FIGURA 31** Acúmulo de Cu no caule de maracujazeiro amarelo em função dos níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub> na solução nutritiva. (\*\*) significativo a 1%.

Observou-se (Figura 32) que, com a aplicação de 1,0 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, na ausência de NaCl, o acúmulo de Fe no caule das plantas foi maior quando comparado ao acúmulo obtido no caule das plantas submetidas à solução, na presença de 1,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>. Esses resultados podem explicar as observações de Marschner (1995), em considerar que as plantas dicotiledôneas não são acumuladoras de SiO<sub>2</sub>. No entanto, os resultados discordam das observações de Matoh et al. (1986), sobre o efeito atenuante na redução do estresse salino em plantas de arroz. Miranda (2000), avaliando os mesmos fatores, em solução nutritiva em plantas de cajueiro anão precoce, que receberam 1,0 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, observou resultados diferentes, observando que o acúmulo de Fe aumentou linearmente com o NaCl, aplicado na solução.



**FIGURA 32** Acúmulo de Fe no caule de maracujazeiro amarelo em função dos níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub> na solução nutritiva. (\*\*) significativo a 1%. (ns) não significativo.

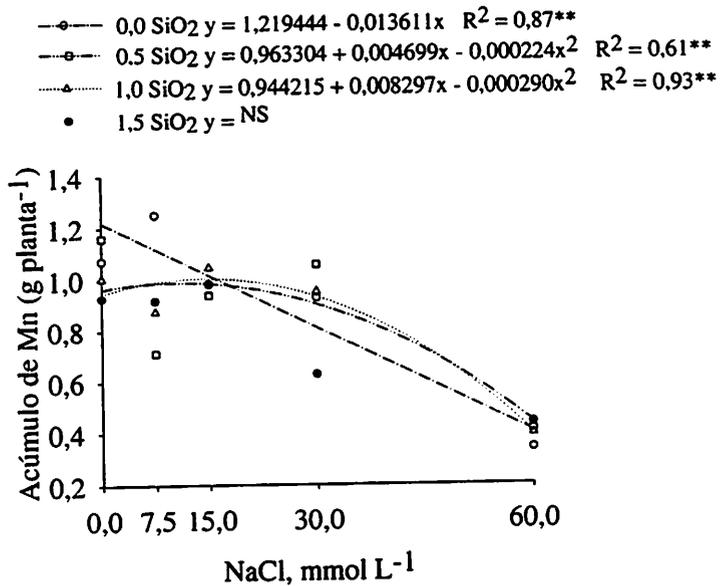
A interação entre os fatores NaCl e SiO<sub>2</sub> influenciou no acúmulo de Mn, na ausência e na presença dos níveis 0,5 e 1,0 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>. Na ausência de SiO<sub>2</sub>, o acúmulo de Mn no caule reduziu linearmente com os níveis de NaCl. Na presença de 0,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, o acúmulo máximo de Mn no caule foi de 0,99 mg planta<sup>-1</sup>, nas plantas submetidas a concentrações estimadas de 10,49 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, ocorrendo redução acentuada, com o maior nível de NaCl, ajustando-se a um modelo de regressão quadrático. Com a aplicação de 1,0 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub> o acúmulo máximo de Mn no caule foi de 1,00 mg planta<sup>-1</sup> nas plantas submetidas a concentrações estimadas de 14,30 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, ocorrendo redução acentuada com o maior nível de NaCl, ajustando a um modelo de regressão quadrático (Figura 33).

Observou-se (Figura 33) que, na ausência de NaCl, o acúmulo de Mn no caule das plantas foi maior na presença de 0,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, quando comparado ao acúmulo obtido no caule das plantas, submetidas à solução na presença de 1,0 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>. Observou-se ainda que, com a concentração de 60 mmol L<sup>-1</sup>, o acúmulo de Mn no caule das plantas na presença de 0,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub> foi menos acentuada. Infere-se com isso o fato das plantas serem consideradas como não acumuladoras de SiO<sub>2</sub>, incluindo-se na classificação de Marschner (1995) ao classificar as dicotiledôneas como não acumuladoras de SiO<sub>2</sub>.

Pelos resultados obtidos, apesar do SiO<sub>2</sub> atenuar o estresse salino, observou-se que o SiO<sub>2</sub> não exerceu efeito positivo em reduzir o estresse salino sobre a disponibilidade dos nutrientes, provavelmente pelo fato das plantas de maracujazeiro serem sensíveis à salinidade, concordando com (Mass, 1984; Cavalcante et al., 2002a), ao considerarem que as plantas de maracujazeiro não toleram condutividade elétrica acima de 1,3 dSm<sup>-1</sup>. Miranda (2000), também observou que a redução mais intensa no acúmulo de Mn, imposta pelo NaCl,

ocorreu apenas com as plantas submetidas a concentrações de 0,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>.

A interação entre os fatores NaCl e SiO<sub>2</sub> influenciou no acúmulo de Zn, na ausência e na presença dos níveis de SiO<sub>2</sub>. O acúmulo de Zn no caule das plantas, submetidas à solução sem SiO<sub>2</sub>, reduziu linearmente com os níveis de NaCl aplicados, com redução acentuada no maior nível de NaCl. O acúmulo estimado variou de 1,03 mg planta<sup>-1</sup> do caule das plantas, submetidas à solução sem NaCl para 0,24 mg planta<sup>-1</sup>, no caule das plantas submetidas na solução com 60 mmol L<sup>-1</sup>. Com a aplicação de 0,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub> o acúmulo máximo de Zn no caule foi de 0,92 mg planta<sup>-1</sup> nas plantas submetidas a concentrações estimadas de 25,27 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, reduzindo acentuadamente com o maior nível de NaCl, ajustando-se a um modelo de regressão quadrático (Figura 34).



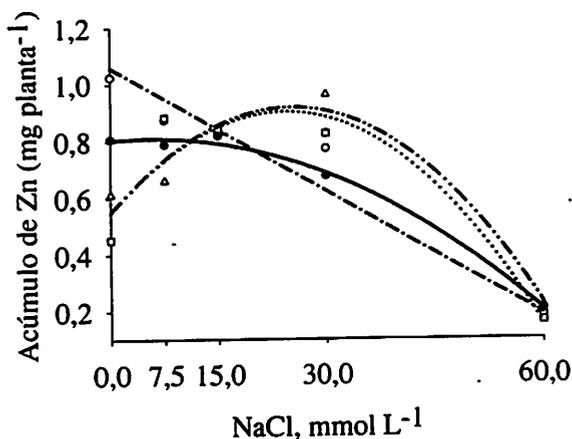
**FIGURA 33** Acúmulo de Mn no caule de maracujazeiro amarelo em função dos níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub> na solução nutritiva. (\*\*) significativo a 1%. (ns) não significativo.

Com a aplicação de  $1,0 \text{ mmol L}^{-1}$  de  $\text{SiO}_2$ , o acúmulo máximo de Zn no caule foi de  $0,90 \text{ mg planta}^{-1}$ , nas plantas submetidas a concentrações estimadas de  $24,42 \text{ mmol L}^{-1}$  de NaCl, reduzindo acentuadamente com o maior nível de NaCl, ajustando-se a um modelo de regressão quadrático. Com a aplicação de  $1,5 \text{ mmol L}^{-1}$  de  $\text{SiO}_2$ , o acúmulo máximo de Zn no caule das plantas foi de  $0,81 \text{ mg planta}^{-1}$  quando submetidas estas foram submetidas a concentrações estimadas de  $5,62 \text{ mmol L}^{-1}$  de NaCl, reduzindo acentuadamente com o maior nível de NaCl, ajustando-se a um modelo de regressão quadrático (Figura 34).

Observou-se que na ausência de NaCl, o  $\text{SiO}_2$  não favoreceu o acúmulo de Zn no caule das plantas, porém, na presença de  $0,5 \text{ mmol L}^{-1}$  de  $\text{SiO}_2$  na solução, o  $\text{SiO}_2$  atenuou o estresse salino, até concentração estimada de  $25,27 \text{ mmol L}^{-1}$  de NaCl em comparação aos maiores níveis de  $\text{SiO}_2$  (Figura 34). Pelos resultados obtidos, apesar da redução do acúmulo de Zn ser menos acentuada, na presença da maior concentração de NaCl, observou-se que o acúmulo de Zn reduziu com os níveis de  $\text{SiO}_2$ , provavelmente pelo fato das plantas não acumularem maiores concentrações de  $\text{SiO}_2$ .

O fato do maracujazeiro não ser considerado uma planta acumuladora de  $\text{SiO}_2$ , e por ser sensível aos sais, tem sido os principais fatores a contribuir com a ineficiência do  $\text{SiO}_2$  em atenuar o estresse salino, discordando das observações de Liang et al. (1996) ao afirmarem que o  $\text{SiO}_2$  atenuou o estresse salino em plantas de cevada. Miranda (2000) também observou que o  $\text{SiO}_2$  não foi eficiente em atenuar o estresse salino em clones de cajueiro anão precoce, observando que o acúmulo de Zn no caule das plantas reduziu linearmente com o NaCl e com a aplicação de  $0,5 \text{ mmol L}^{-1}$  de  $\text{SiO}_2$ , adicionados à solução.

$\text{---}\square\text{---}$  0,0 SiO<sub>2</sub>  $y = 1,034769 - 0,013228x$   $R^2 = 0,94^{**}$   
 $\text{---}\blacktriangle\text{---}$  0,5 SiO<sub>2</sub>  $y = 0,549215 + 0,029116x - 0,000576x^2$   $R^2 = 0,95^{**}$   
 $\text{---}\square\text{---}$  1,0 SiO<sub>2</sub>  $y = 0,547565 + 0,029064x - 0,000595x^2$   $R^2 = 0,91^{**}$   
 $\text{---}\blacktriangle\text{---}$  1,5 SiO<sub>2</sub>  $y = 0,802412 + 0,002315x - 0,000206x^2$   $R^2 = 0,99^{**}$



**FIGURA 34** Acúmulo de Zn no caule de maracujazeiro amarelo em função dos níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub> na solução nutritiva. (\*\*) significativo a 1%.

O maracujazeiro amarelo, por não ser uma planta acumuladora de SiO<sub>2</sub> e por ser incluída no grupo das plantas consideradas sensíveis a salinidade, com a aplicação de 60 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl e 1,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, cuja condutividade elétrica foi de 7,8 dSm<sup>-1</sup>, apresentou elevado acúmulo de Na e Cl no caule das plantas. Até a concentração estimada de 3,0 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl e 1,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, cuja condutividade elétrica da solução foi de 4,3 dSm<sup>-1</sup>, durante o período avaliado não houve desequilíbrio nutricional das plantas.

Porém, na solução com condutividade elétrica de 7,8 dSm<sup>-1</sup>, o elevado acúmulo dos íons Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup> nas raízes, resultou em menor acúmulo dos micronutrientes no caule das plantas, reduzindo a produção de matéria seca do caule das plantas, causando uma acentuada redução do acúmulo dos micronutrientes no caule, indicando uma maior sensibilidade das plantas aos sais.

Esses resultados levam a inferir que o maracujazeiro não apresenta mecanismos de tolerância à salinidade, não se enquadrando no grupo das halófitas, enquadrando-se, no entanto, no grupo das espécies sensíveis à salinidade.

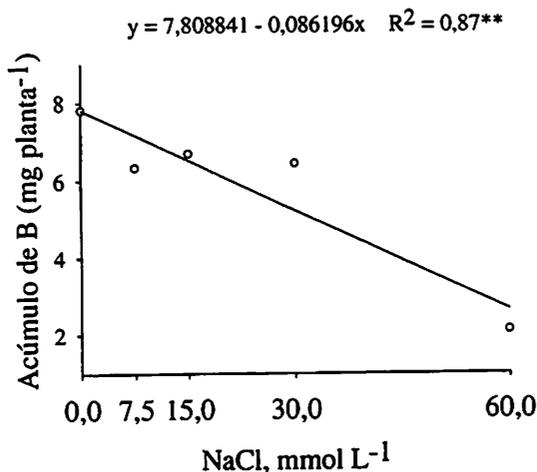
#### **4.2.6 Efeito do NaCl e SiO<sub>2</sub> sobre o acúmulo de micronutrientes nas folhas de maracujazeiro amarelo**

A interação entre os fatores NaCl e SiO<sub>2</sub> influenciou no acúmulo de B de forma isolada. O acúmulo de B decresceu linearmente com os níveis de NaCl, reduzindo de 7,80 mg planta<sup>-1</sup> para 2,63 mg planta<sup>-1</sup> nas folhas das plantas, submetidas à solução com 60 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl (Figura 35). Esses resultados estão de acordo com as observações de Jeffrey & Izquierdo (1989), ao observarem que, em ambientes salinos, ocorre redução no crescimento das culturas, em função da redução do potencial osmótico e desbalanceamento nutricional, por causa da elevada concentração de Na, inibindo a absorção dos outros nutrientes.

No entanto, os resultados discordam das observações de Liang et al. (1996) em admitirem possível redução da permeabilidade da plasmalema ao Na, em decorrência do ácido silícico na plasmalema, favorecendo a absorção dos nutrientes. No entanto, conforme esses resultados, com os níveis aplicados e a cultura avaliada, não se observa favorecimento do SiO<sub>2</sub> na absorção dos nutrientes.

Miranda (2000) também, ao avaliar o efeito do NaCl e SiO<sub>2</sub> sobre o acúmulo de B em plantas de moringa, não observou efeito do SiO<sub>2</sub> sendo influenciada apenas pelo NaCl, que reduziu linearmente o acúmulo de B nas folhas das plantas de moringa, com o aumento da concentração de NaCl. Porém, Miranda (2000), ao avaliar clones de cajueiro anão precoce sensíveis à salinidade, observou influência entre os fatores NaCl e SiO<sub>2</sub>, sobre o acúmulo de B nas folhas das plantas, onde na ausência de SiO<sub>2</sub> o acúmulo foi linear

mente decrescente, com os níveis de NaCl, enquanto com a aplicação de 1,0 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, ocorreu acúmulo máximo na presença de 65,2 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl.



**FIGURA 35** Acúmulo de B nas folhas de maracujazeiro amarelo em função dos níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub> na solução nutritiva. (\*\*) significativo a 1%.

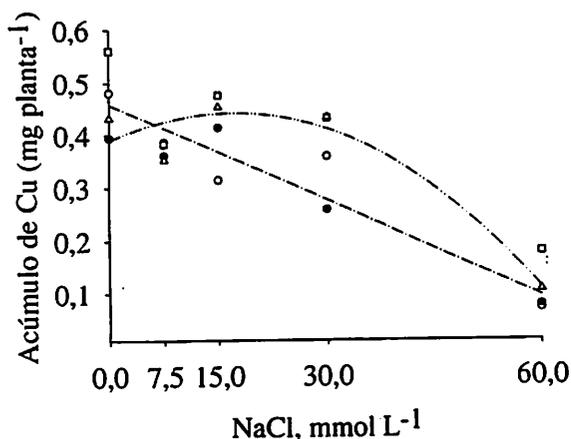
A interação entre os fatores NaCl e SiO<sub>2</sub> influenciou no acúmulo de Cu apenas na ausência e na presença de 1,0 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>. O acúmulo de Cu na ausência de SiO<sub>2</sub> decresceu linearmente de 0,45 mg planta<sup>-1</sup>, nas folhas das plantas submetidas na solução sem NaCl para 0,09 mg planta<sup>-1</sup> para as plantas submetidas a concentrações de 60 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl. Com a aplicação de 1,0 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, o acúmulo máximo de Cu foi de 0,47 mg planta<sup>-1</sup> nas folhas das plantas submetidas a concentrações estimadas de 17,04 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, reduzindo com os maiores níveis de NaCl, ajustando-se a um modelo de regressão quadrático (Figura 36).

Observou-se (Figura 36) que, na ausência de NaCl, o acúmulo de Cu foi maior nas folhas das plantas submetidas à solução sem SiO<sub>2</sub>. Porém, a aplicação

de 1,0 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, o SiO<sub>2</sub> atenuou mais o estresse salino sobre o acúmulo de Cu, nas folhas das plantas promovendo menor redução do acúmulo de Cu nas folhas até concentração estimada de 17,04 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl. Miranda (2000) obteve resultados contraditórios sobre o acúmulo de Cu nas plantas de cajueiro anão precoce, ao observar, na ausência de SiO<sub>2</sub>, acúmulo crescente até 15,9 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl nas folhas das plantas. No entanto, ao adicionar 0,5 e 1,0 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, o autor observou redução linear.

A interação entre os fatores NaCl e SiO<sub>2</sub> influenciou no acúmulo de Fe, apenas na ausência e na presença de 1,0 e 1,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>. O acúmulo de Fe, na ausência de SiO<sub>2</sub>, reduziu linearmente de 9,22 mg planta<sup>-1</sup>, para 3,28 mg planta<sup>-1</sup>, com a aplicação de 60 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl. Na presença de 1,0 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, o acúmulo máximo de Fe foi de 9,70 mg planta<sup>-1</sup> nas folhas das plantas submetidas a concentrações estimadas de 20,15 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, reduzindo com os maiores níveis de NaCl, ajustando-se a um modelo de regressão quadrático (Figura 37).

- 0,0 SiO<sub>2</sub>  $y = 0,458094 - 0,006064x$   $R^2 = 0,87^{**}$
- 0,5 SiO<sub>2</sub>  $y = \text{NS}$
- ▲— 1,0 SiO<sub>2</sub>  $y = 0,389215 + 0,006100x - 0,000179x^2$   $R^2 = 0,90^{**}$
- 1,5 SiO<sub>2</sub>  $y = \text{NS}$



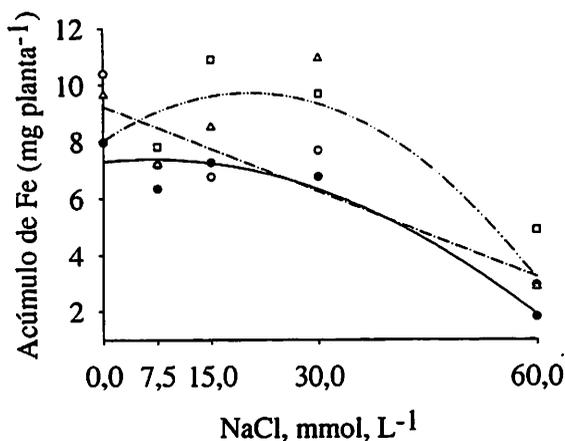
**FIGURA 36** Acúmulo de Cu nas folhas de maracujazeiro amarelo em função dos níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub> na solução nutritiva. (\*\*) significativo a 1%. (ns) não significativo.

Com a aplicação de 1,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, o acúmulo máximo de Fe foi de 7,37 mg planta<sup>-1</sup>, nas folhas das plantas submetidas a concentrações estimadas de 6,34 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, reduzindo com os maiores níveis de NaCl, ajustando-se a um modelo de regressão quadrático (Figura 37). Observou-se (Figura 37) que na ausência de NaCl, maior acúmulo de Fe ocorreu na ausência de SiO<sub>2</sub>. Porém, observou-se que em baixa concentração de NaCl os maiores níveis de SiO<sub>2</sub>, contribuíram para uma redução do acúmulo de Fe menos acentuada.

O maracujazeiro amarelo, por ser sensível à salinidade, foi incapaz de realizar o ajuste osmótico e ocasionou decréscimo dos íons absorvidos, acarretando danos ao seu crescimento. Esses resultados estão de acordo com as observações de (Maas, 1984; Cavalcante et al. 2002a). Resultados semelhantes

foram encontrados por Miranda (2000), apenas na ausência de SiO<sub>2</sub>. Porém, o autor encontrou resultados diferentes com os demais níveis de SiO<sub>2</sub>, observando redução linear do acúmulo de Fe, nas folhas das plantas de cajueiro anão precoce.

○ 0,0 SiO<sub>2</sub>  $y = 9,226494 - 0,099904x$   $R^2 = 0,78^{**}$   
 □ 0,5 SiO<sub>2</sub>  $y = \text{NS}$   
 △ 1,0 SiO<sub>2</sub>  $y = 8,028692 + 0,165708x - 0,004112x^2$   $R^2 = 0,74^{**}$   
 ● 1,5 SiO<sub>2</sub>  $y = 7,297135 + 0,024129x - 0,001904x^2$   $R^2 = 0,92^{**}$



**FIGURA 37** Acúmulo de Fe nas folhas de maracujazeiro amarelo em função dos níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub> na solução nutritiva. (\*\*) significativo a 1%. (ns) não significativo.

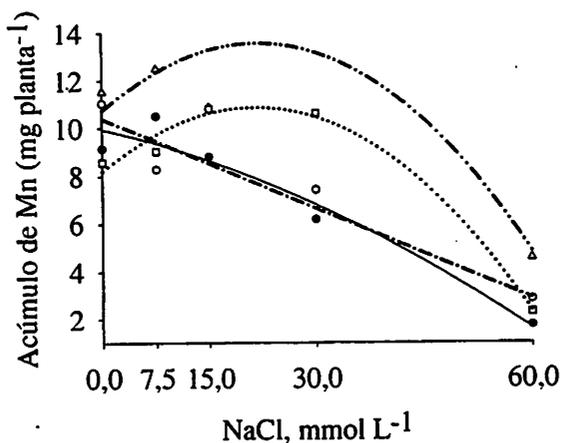
A interação entre os fatores NaCl e SiO<sub>2</sub> influenciou no acúmulo de Mn, na ausência e na presença dos níveis de SiO<sub>2</sub>. O acúmulo de Mn nas folhas de maracujazeiro, submetidas na solução sem NaCl foi reduzido linearmente na ausência de SiO<sub>2</sub>, de 10,42 mg planta<sup>-1</sup> para 3,04 mg planta<sup>-1</sup>, com a aplicação de 60 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl. No entanto, com a aplicação de 0,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, o acúmulo máximo de Mn nas folhas foi de 13,54 mg planta<sup>-1</sup>, nas plantas submetidas a concentrações estimadas de 21,72 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, ajustando-se a um modelo de regressão quadrático (Figura 38).

Com a aplicação de  $1,0 \text{ mmol L}^{-1}$  de  $\text{SiO}_2$ , o acúmulo máximo de Mn nas folhas foi de  $10,84 \text{ mg planta}^{-1}$ , nas plantas submetidas a concentrações estimadas de  $21,48 \text{ mmol L}^{-1}$  de NaCl, ajustando-se a um modelo de regressão quadrático. Com a aplicação de  $1,5 \text{ mmol L}^{-1}$  de  $\text{SiO}_2$ , o acúmulo máximo de Mn foi de  $9,45 \text{ mg planta}^{-1}$ , nas plantas submetidas à solução com  $15 \text{ mmol L}^{-1}$  de NaCl, reduzindo com os maiores níveis de NaCl, ajustando-se a um modelo de regressão quadrático (Figura 38).

Observou-se (Figura 38) que a aplicação de  $0,5 \text{ mmol L}^{-1}$  de  $\text{SiO}_2$  na ausência de NaCl promoveu maior acúmulo de Mn nas folhas das plantas, em comparação aos demais níveis de  $\text{SiO}_2$ . Observou-se ainda que com os níveis  $0,5$  e  $1,0 \text{ mmol L}^{-1}$  de  $\text{SiO}_2$ , a redução do acúmulo de Mn foi menos acentuada. O maior acúmulo de Mn ocorreu na presença de  $0,5 \text{ mmol L}^{-1}$  de  $\text{SiO}_2$ , comprovando que as plantas são não acumuladoras de  $\text{SiO}_2$ , sendo este fator, associado a sua classificação de plantas sensíveis à salinidade, a causa do desequilíbrio nutricional.

Os resultados estão de acordo com Maas (1984) e Cavalcante et al. (2002a) que classificaram o maracujazeiro como sensíveis aos sais. Miranda (2000) observou redução semelhante, com o acúmulo de Mn nas folhas das plantas de cajueiro anão precoce, submetidas à solução com  $0,5$  e  $1,5 \text{ mmol L}^{-1}$ , embora a redução mais acentuada tenha ocorrido na presença do maior nível de  $\text{SiO}_2$ .

$$\begin{aligned} \text{---} \square \text{---} & 0,0 \text{ SiO}_2 \quad y = 10,428406 - 0,123036x \quad R^2 = 0,93^{**} \\ \text{---} \triangle \text{---} & 0,5 \text{ SiO}_2 \quad y = 10,733229 + 0,258309x - 0,005945x^2 \quad R^2 = 0,83^{**} \\ \text{---} \circ \text{---} & 1,0 \text{ SiO}_2 \quad y = 8,194754 + 0,246319x - 0,005734x^2 \quad R^2 = 0,98^{**} \\ \text{---} \bullet \text{---} & 1,5 \text{ SiO}_2 \quad y = 9,946212 - 0,071529x - 0,001126x^2 \quad R^2 = 0,95^{**} \end{aligned}$$



**FIGURA 38** Acúmulo de Mn nas folhas de maracujazeiro amarelo em função dos níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub> na solução nutritiva. (\*\*) significativo a 1%.

A interação entre os fatores NaCl e SiO<sub>2</sub> influenciou no acúmulo de Zn, na ausência e na presença dos níveis de SiO<sub>2</sub>. O acúmulo de Zn, nas folhas das plantas submetidas à solução, na ausência de SiO<sub>2</sub>, reduziu linearmente de 2,34 mg planta<sup>-1</sup> para 0,66 mg planta<sup>-1</sup>, com a aplicação de 60 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl. Com a aplicação de 0,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, o acúmulo máximo de Zn nas folhas foi de 3,0 mg planta<sup>-1</sup>, nas plantas submetidas a concentrações estimadas de 24,60 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, ajustando-se a um modelo de regressão quadrático (Figura 39).

Na presença de 1,0 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, o acúmulo máximo de Zn nas folhas foi de 2,3 mg planta<sup>-1</sup>, nas plantas submetidas a concentrações estimadas de 21,66 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, ajustando-se a um modelo de regressão quadrático. Com a aplicação de 1,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, o acúmulo máximo de Zn nas folhas

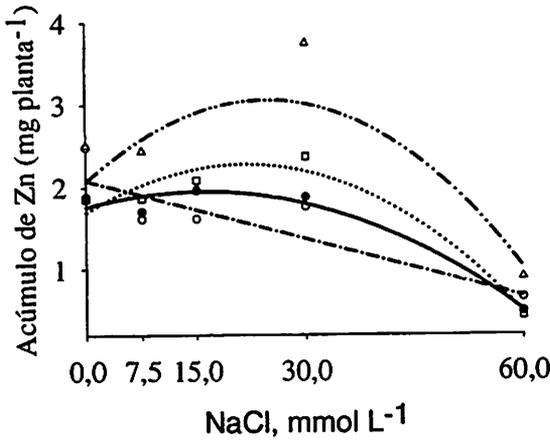
foi de  $1,94 \text{ mg planta}^{-1}$ , nas plantas submetidas a concentrações estimadas de  $15,83 \text{ mmol L}^{-1}$  de NaCl, ajustando-se a um modelo de regressão quadrático. (Figura 39).

Observou-se (Figura 39) que com a aplicação de  $0,5 \text{ mmol L}^{-1}$  de  $\text{SiO}_2$  na solução, ocorreu maior acúmulo de Zn nas folhas das plantas, submetidas à solução na ausência de NaCl e até concentrações estimadas de  $24,60 \text{ mmol L}^{-1}$  de NaCl, atenuando o efeito do estresse salino, tornando a redução do acúmulo de Zn menos acentuada na presença das maiores concentrações de NaCl em comparação aos demais níveis de  $\text{SiO}_2$ .

Os resultados sobre o acúmulo de Zn apresentaram comportamento semelhante aos resultados do acúmulo de Mn, sendo maior com a aplicação de  $0,5 \text{ mmol L}^{-1}$  por causa da sua baixa acumulação de  $\text{SiO}_2$  e baixa tolerância das plantas aos sais, concordando com a classificação de (Maas, 1984; Cavalcante et al., 2002) quanto à tolerância do maracujazeiro a salinidade. Os resultados discordam das observações de Hocking (1993), ao considerar que, de modo geral, as plantas quando submetidas à salinidade tendem a apresentar teores mais elevados de micronutrientes.

Os resultados obtidos diferem dos encontrados por Miranda (2000) que observou, em plantas de cajueiro anão precoce, que na ausência e na presença de  $\text{SiO}_2$ , o acúmulo de Zn foi mais intenso no último nível de  $\text{SiO}_2$ , sendo que nos maiores níveis de NaCl, as reduções de Zn nos dois níveis de  $\text{SiO}_2$  foram praticamente idênticas. O autor observou também que na presença do nível  $0,5 \text{ mmol L}^{-1}$  de  $\text{SiO}_2$ , o acúmulo de Zn foi reduzido linearmente.

$\text{---}\blacklozenge\text{---}$  0,0 SiO<sub>2</sub>  $y = 2,34088 - 0,027982x$   $R^2 = 0,72^{**}$   
 $\text{---}\blacktriangle\text{---}$  0,5 SiO<sub>2</sub>  $y = 2,070758 + 0,079801x - 0,001622x^2$   $R^2 = 0,62^{**}$   
 $\text{---}\square\text{---}$  1,0 SiO<sub>2</sub>  $y = 1,695112 + 0,053717x - 0,001240x^2$   $R^2 = 0,95^{**}$   
 $\text{---}\blacklozenge\text{---}$  1,5 SiO<sub>2</sub>  $y = 1,760654 + 0,023682x - 0,000748x^2$   $R^2 = 0,96^{**}$



**FIGURA 39** Acúmulo de Zn nas folhas de maracujazeiro amarelo em função dos níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub> na solução nutritiva. (\*\*) significativo a 1%.

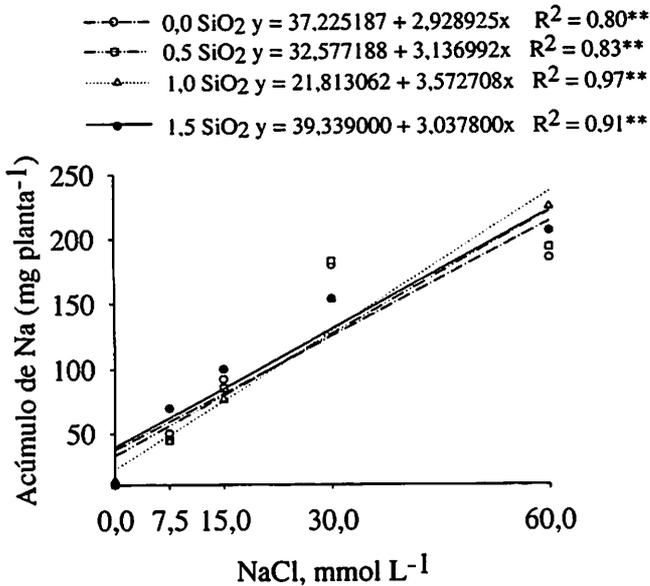
No maracujazeiro amarelo, por não ser uma planta acumuladora de SiO<sub>2</sub> e por ser incluída no grupo das plantas consideradas sensíveis à salinidade, com a aplicação de 60 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl e 1,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, cuja condutividade elétrica foi de 7,8 dSm<sup>-1</sup>, ocorreu elevado acúmulo de Na e Cl, no caule das plantas. Esse elevado acúmulo dos íons Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup> nas folhas resultou em menor acúmulo dos micronutrientes no caule das plantas, reduzindo a produção de matéria seca das folhas das plantas, causando uma acentuada redução do acúmulo dos micronutrientes no caule, indicando uma maior sensibilidade das plantas aos sais. Esses resultados levam a inferir que o maracujazeiro não apresenta mecanismos de tolerância à salinidade, não se enquadrando no grupo das halófitas, enquadrando-se, no entanto, no grupo das espécies sensíveis à salinidade.

#### 4.2.7 Efeito do NaCl e SiO<sub>2</sub> sobre o acúmulo de Na, SiO<sub>2</sub> e Cl nas raízes de maracujazeiro amarelo

A interação entre os fatores NaCl e SiO<sub>2</sub> influenciou no acúmulo de Na, na ausência e na presença dos níveis de SiO<sub>2</sub>. O acúmulo de Na nas raízes das plantas de maracujazeiro amarelo aumentou linearmente, tanto na ausência como com a aplicação de 0,5, 1,0 e 1,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, e com os níveis de NaCl aplicados, com aumento mais acentuado nas raízes das plantas, submetidas a concentrações de 60 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, cuja condutividade elétrica da solução foi de 7,8 dSm<sup>-1</sup> (Figura 40).

Observou-se que o acúmulo de Na nas raízes das plantas, na ausência de NaCl, foi maior na presença de 1,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub> (Figura 40): Com esses resultados, sobre a fonte de SiO<sub>2</sub>, os níveis aplicados e a cultura do maracujazeiro amarelo, durante o período avaliado, pode-se inferir que o SiO<sub>2</sub> não foi eficiente no controle do estresse salino. Esse aumento de Na resultou em efeito antagônico aos demais nutrientes, causando estresse salino nas plantas (Marschner, 1995), principalmente nas plantas submetidas aos maiores níveis de NaCl.

Miranda (2000), avaliando o efeito do NaCl e SiO<sub>2</sub> em plantas de cajueiro anão precoce sensíveis e tolerantes à salinidade, observou resultados semelhantes nas raízes das plantas sensíveis, ocorrendo aumento linear do acúmulo de Na, na ausência e na presença de 0,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>. No entanto, com a aplicação de 1,0 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, o acúmulo foi máximo nas raízes das plantas submetidas a concentrações de 79,3 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, já com a aplicação de 1,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub> o acúmulo de Na foi mínimo nas raízes das plantas, submetidas a concentrações de 17,8 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl.



**FIGURA 40** Acúmulo de Na nas raízes de maracujazeiro amarelo em função dos níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub> na solução nutritiva. (\*\*) significativo a 1%.

A interação entre os fatores NaCl e SiO<sub>2</sub> influenciou no acúmulo de Cl, na ausência e na presença dos níveis de SiO<sub>2</sub>. O acúmulo do íon cloreto, na ausência de SiO<sub>2</sub>, foi de 500 mg planta<sup>-1</sup>, nas raízes das plantas submetidas a concentrações estimadas de 34,21 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, reduzindo com o nível de 60 mmol L<sup>-1</sup>, ajustando-se a um modelo de regressão quadrático (Figura 41).

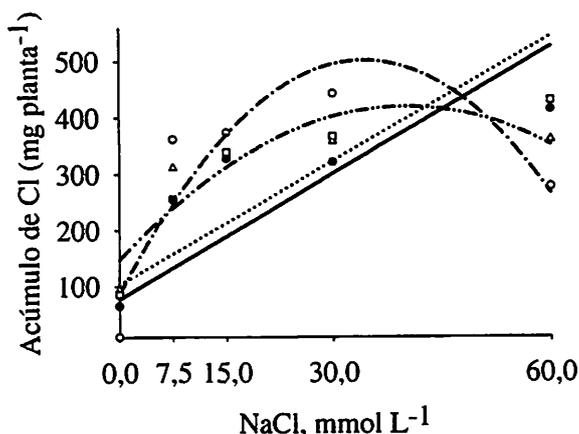
Com a aplicação de 0,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, o acúmulo máximo de Cl nas raízes foi de 418 mg planta<sup>-1</sup>, submetidas a concentrações estimadas de 39,97 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, reduzindo com os menores níveis de NaCl e com o maior nível de NaCl, devido à acentuada redução da matéria seca das raízes, resultante do estresses salino, que interferiu no crescimento radicular das plantas, ajustando-se a um modelo quadrático (Figura 41). Com a aplicação de 1,0 e 1,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, o acúmulo de cloreto aumentou com os níveis de NaCl, ajustando-se a um modelo de regressão linear. Observou-se que o aumento do

Cl nos tecidos vegetais foi menos acentuado com a aplicação dos níveis de  $\text{SiO}_2$  na solução (Figura 41).

Observou-se que na presença de  $0,5 \text{ mmol L}^{-1}$  de  $\text{SiO}_2$ , o acúmulo de Cl foi menor até uma concentração estimada de  $39,97 \text{ mmol L}^{-1}$  de NaCl, reduzindo com concentrações acima desta, com redução mais acentuada na presença de  $60 \text{ mmol L}^{-1}$  de NaCl, cuja condutividade elétrica da solução foi de  $7,8 \text{ dSm}^{-1}$ . Com o aumento do acúmulo de Cl nas plantas, a nutrição das plantas foi afetada por causa do desbalanço nutricional e fitotoxidez que o íon Cl, associado ao excesso de Na, provocaram nas plantas sensíveis.

Esses resultados estão de acordo com as observações de Grattan & Grieve (1992), ao relatarem que tanto o Na como o Cl afetam o crescimento das plantas e causam desequilíbrio na disponibilidade dos nutrientes essenciais. Miranda (2000) também não observou interferência do  $\text{SiO}_2$  sobre o acúmulo de cloreto, nas raízes das plantas de cajueiro anão precoce sensíveis. No entanto, os resultados diferem dos resultados obtidos por Neves (2003) que, ao avaliar plantas de umbu, submetidas a níveis de NaCl observou acúmulo máximo de Cl nas raízes das plantas quando estas foram submetidas a concentrações de 53 a  $66 \text{ mmol L}^{-1}$  de NaCl.

$$\begin{aligned} \text{---}\bullet\text{---} & \text{ 0,0 SiO}_2 \text{ y} = 86,556442 + 24,188454x - 0,353561x^2 \quad R^2 = 0,80^{**} \\ \text{---}\blacktriangle\text{---} & \text{ 0,5 SiO}_2 \text{ y} = 147,498077 + 13,549601x - 0,169492x^2 \quad R^2 = 0,79^{**} \\ \text{---}\circ\text{---} & \text{ 1,0 SiO}_2 \text{ y} = 190,024375 + 4,667917x \quad R^2 = 0,70^{**} \\ \text{---}\blacktriangledown\text{---} & \text{ 1,5 SiO}_2 \text{ y} = 174,582188 + 4,510458x \quad R^2 = 0,67^{**} \end{aligned}$$



**FIGURA 41** Acúmulo de Cl nas raízes de maracujazeiro amarelo em função dos níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub> na solução nutritiva. (\*\*) significativo a 1%.

A interação entre os fatores NaCl e SiO<sub>2</sub> influenciou no acúmulo de SiO<sub>2</sub> apenas na presença dos níveis de SiO<sub>2</sub>. O acúmulo de SiO<sub>2</sub> nas raízes na ausência de SiO<sub>2</sub>, não se ajustou. No entanto, com a aplicação de 0,5 e 1,0 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, ocorreu redução linear com os níveis de NaCl aplicados. Entretanto, com a aplicação de 1,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, o acúmulo máximo de SiO<sub>2</sub> foi de 95,78 mg planta<sup>-1</sup>, nas raízes das plantas submetidas a concentrações estimadas de 30,14 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, reduzindo com as plantas submetidas na solução com 60 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, ajustando-se a um modelo de regressão quadrático (Figura 42).

Observou-se (Figura 42) que, na ausência de NaCl, maior acúmulo de SiO<sub>2</sub> nas raízes das plantas ocorreu na presença de 0,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>. No entanto, com a aplicação de 1,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, observou-se que o acúmulo de SiO<sub>2</sub> nas raízes das plantas, na presença de concentração estimada de 30,14

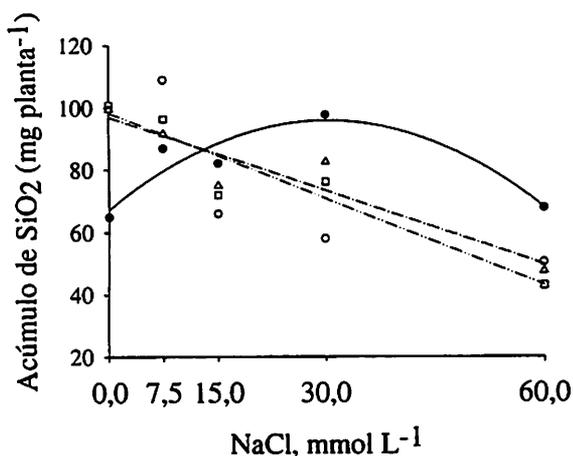
mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, foi semelhante ao acúmulo de SiO<sub>2</sub> nas raízes das plantas, submetidas à solução, com os menores níveis de SiO<sub>2</sub>, na ausência de NaCl. Os maiores níveis de SiO<sub>2</sub> promoveram maior acúmulo de SiO<sub>2</sub>, nas raízes das plantas em maiores concentrações de NaCl, provavelmente explicado pela maior solubilidade do H<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub> na solução.

Pelos resultados obtidos, observou-se que o acúmulo máximo de SiO<sub>2</sub> foi de 98,34 mg planta<sup>-1</sup>, com o menor nível de SiO<sub>2</sub> fornecido na solução. Apesar do acúmulo de SiO<sub>2</sub> não ter aumentado com os níveis de SiO<sub>2</sub>, os resultados estão de acordo com as observações de Okuda & Takahashi (1964), ao observarem menor acúmulo de SiO<sub>2</sub> nas raízes de arroz e maior acúmulo, na parte aérea, em plantas de arroz.

O baixo acúmulo de SiO<sub>2</sub> nas plantas não foi eficiente em controlar o estresse salino sobre o crescimento das plantas e absorção dos nutrientes essenciais. Esses resultados contradizem os postulados de Liang et al. (1996) e Bradbury & Ahmad (1990) sobre a influência do SiO<sub>2</sub> em aumentar a seletividade da membrana na absorção do Na. Carvalho et al. (2003), ao avaliarem níveis de SiO<sub>2</sub> em dois solos, observaram também redução no acúmulo de SiO<sub>2</sub> nas plantas de eucalipto.

O maracujazeiro amarelo, por não ser uma planta acumuladora de SiO<sub>2</sub> e por ser incluída no grupo das plantas consideradas sensíveis à salinidade, com a aplicação de 60 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl e 1,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, cuja condutividade elétrica foi de 7,8 dSm<sup>-1</sup>, apresentou elevado acúmulo de Na e Cl, nas raízes das plantas. Esse elevado acúmulo dos íons Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup> nas raízes resultou em menor acúmulo dos nutrientes nas raízes das plantas, reduzindo a produção de matéria seca das raízes das plantas. Os resultados confirmam a sensibilidade das plantas aos sais. O baixo acúmulo de SiO<sub>2</sub> nas raízes das plantas não foi eficiente em reduzir a excessiva absorção dos íons Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup>.

- 0,0 SiO<sub>2</sub> y = sem ajuste
- - - 0,5 SiO<sub>2</sub> y = 98,346912 - 0,921565x R<sup>2</sup> = 0,89\*\*
- - - 1,0 SiO<sub>2</sub> y = 96,945581 - 0,788639x R<sup>2</sup> = 0,87\*\*
- - - 1,5 SiO<sub>2</sub> y = 67,188873 + 1,897412x - 0,031476x<sup>2</sup> R<sup>2</sup> = 0,85\*\*



**FIGURA 42** Acúmulo de SiO<sub>2</sub> nas raízes de maracujazeiro amarelo em função dos níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub> na solução nutritiva. (\*\*) significativo a 1%.

#### 4.2.8 Efeito do NaCl e SiO<sub>2</sub> sobre o acúmulo de Na, SiO<sub>2</sub> e Cl no caule de maracujazeiro amarelo

A interação entre os fatores NaCl e SiO<sub>2</sub> influenciou no acúmulo de Na na ausência e na presença dos níveis de SiO<sub>2</sub>. O acúmulo de Na, no caule das plantas de maracujazeiro amarelo, na ausência de SiO<sub>2</sub>, foi de 1007 mg planta<sup>-1</sup>, nas plantas submetidas a concentrações estimadas de 33,15 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, porém reduzindo com o menor e maior nível de NaCl, ajustando-se a um modelo de regressão quadrático (Figura 43).

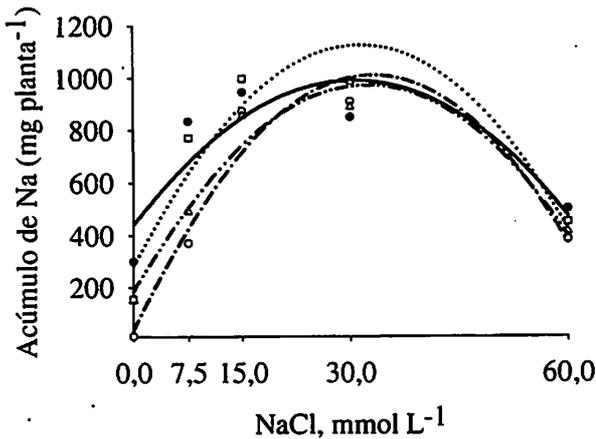
Com a aplicação de 0,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, o acúmulo máximo de Na foi de 968,99 mg planta<sup>-1</sup>, nas plantas submetidas a concentrações estimadas de 32,39 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, reduzindo com os menores e com o maior nível de

NaCl, ajustando-se a um modelo de regressão quadrático. Com a aplicação de  $1,0 \text{ mmol L}^{-1}$  de  $\text{SiO}_2$ , o acúmulo máximo de Na foi de  $1122,93 \text{ mg planta}^{-1}$ , nas plantas submetidas a concentrações estimadas de  $31,38 \text{ mmol L}^{-1}$  de NaCl, reduzindo com os menores e com o maior nível de NaCl, ajustando-se a um modelo de regressão quadrático. Com a aplicação de  $1,5 \text{ mmol L}^{-1}$  de  $\text{SiO}_2$ , o acúmulo máximo de Na foi de  $987,41 \text{ mg planta}^{-1}$ , nas plantas submetidas a concentrações estimadas de  $30,46 \text{ mmol L}^{-1}$  de NaCl, reduzindo com os menores e com o maior nível de NaCl, ajustando-se a um modelo de regressão quadrático (Figura 43).

Observou-se (Figura 43) que o acúmulo de Na na ausência de NaCl aumentou com os níveis de  $\text{SiO}_2$ , aplicados à solução pelo fato da fonte de  $\text{SiO}_2$  liberar Na na solução. Observou-se ainda que com os níveis de  $\text{SiO}_2$ , o aumento do acúmulo de Na no caule foi mais acentuado, com as maiores concentrações de NaCl, quando comparado ao acúmulo de Na no caule das plantas, submetidas à solução sem  $\text{SiO}_2$ . Observou-se que o  $\text{SiO}_2$  não impediu a absorção do Na, conforme relatos de Liang et al. (1996), ao observarem em plantas de cevadas que o  $\text{SiO}_2$  reduziu a permeabilidade da membrana plasmática para o Na, amenizando o estresse salino.

No entanto, Miranda (2000), avaliando clones de cajueiro anão precoce submetidos à solução com NaCl e  $\text{SiO}_2$ , observou que o acúmulo de Na nas plantas sensíveis, foi influenciado apenas pelos níveis de NaCl, com acúmulo máximo no caule das plantas submetidas à solução com  $121,8 \text{ mmol L}^{-1}$  de NaCl.

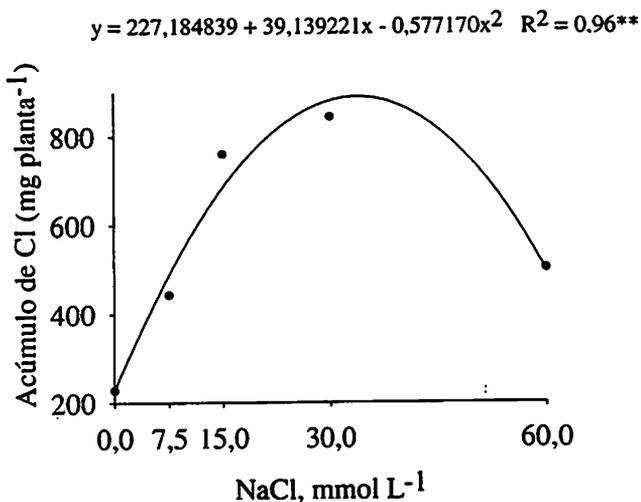
$\text{---}\square\text{---}$  0,0 SiO<sub>2</sub>  $y = 32,947731 + 58,782106x - 0,886701x^2$   $R^2 = 0,93^{**}$   
 $\text{---}\triangle\text{---}$  0,5 SiO<sub>2</sub>  $y = 182,370115 + 48,568645x - 0,749701x^2$   $R^2 = 0,94^{**}$   
 $\text{---}\circ\text{---}$  1,0 SiO<sub>2</sub>  $y = 280,537846 + 53,686482x - 0,855368x^2$   $R^2 = 0,88^{**}$   
 $\text{---}\bullet\text{---}$  1,5 SiO<sub>2</sub>  $y = 439,224923 + 35,991022x - 0,590750x^2$   $R^2 = 0,75^{**}$



**FIGURA 43** Acúmulo de Na no caule de maracujazeiro amarelo em função dos níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub> na solução nutritiva. (\*\*) significativo a 1%.

A interação entre os fatores NaCl e SiO<sub>2</sub> influenciou no acúmulo de Cl no caule das plantas, de forma isolada. O acúmulo máximo de cloreto no caule foi de 890,67 mg planta<sup>-1</sup>, nas plantas submetidas a concentrações estimadas de 33,91 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, reduzindo no caule das plantas, submetidas à solução sem NaCl e com o maior nível de NaCl, aplicado à solução, ajustando-se a um modelo de regressão quadrático (Figura 44).

Esses resultados estão de acordo com as observações de Yahya (1998), ao observar redução do crescimento das plantas devido à toxicidade pela absorção excessiva de Cl, bem como também de Na. Miranda (2000) observou comportamento semelhante com o emprego dos fatores NaCl e SiO<sub>2</sub>, na solução com plantas de cajueiro anão precoce, sensíveis e tolerantes à salinidade, observando acúmulo máximo de cloreto na presença de 108,9 e 92,8 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, não sendo observada interferência do SiO<sub>2</sub>.



**FIGURA 44** Acúmulo Cl no caule de maracujazeiro amarelo em função dos níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub> na solução nutritiva. (\*\*) significativo a 1%.

A interação entre os fatores NaCl e SiO<sub>2</sub> influenciou no acúmulo de SiO<sub>2</sub>, apenas na presença dos níveis de SiO<sub>2</sub>. Na presença de 0,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, o acúmulo máximo de SiO<sub>2</sub> no caule foi de 259,46 mg planta<sup>-1</sup>, nas plantas submetidas a concentrações estimadas de 28,08 mmol L<sup>-1</sup>, reduzindo com os menores níveis de NaCl e com os maiores níveis de NaCl, ajustando-se a um modelo de regressão quadrático (Figura 45).

Com a aplicação de 1,0 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, o acúmulo máximo de SiO<sub>2</sub> no caule foi de 269,89 mg planta<sup>-1</sup>, nas plantas submetidas a concentrações de estimadas de 29,35 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, reduzindo com os menores níveis de NaCl e com os maiores níveis de NaCl, ajustando-se a um modelo de regressão quadrático. Com a aplicação de 1,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, o acúmulo máximo de SiO<sub>2</sub> no caule foi de 281,04 mg planta<sup>-1</sup>, nas plantas submetidas a concentrações estimadas de 23,78 mmol L<sup>-1</sup>, reduzindo com os menores níveis de NaCl e com

os maiores níveis de NaCl, ajustando-se a um modelo de regressão quadrático (Figura 45).

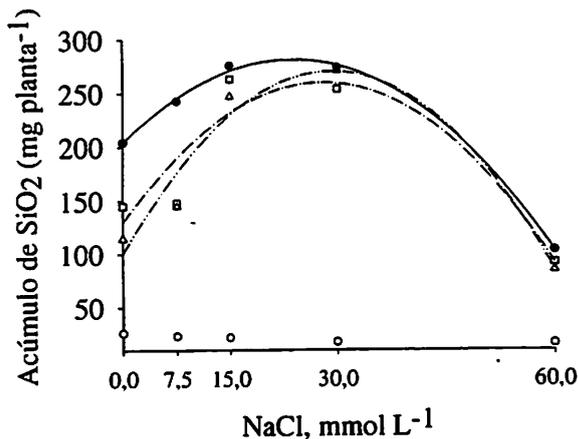
Observou-se (figura 45) maior acúmulo de SiO<sub>2</sub> no caule das plantas com o maior nível de SiO<sub>2</sub> na ausência de NaCl, porém, com a aplicação de 1,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, a redução do acúmulo de SiO<sub>2</sub> no caule das plantas foi menos acentuada, na presença dos maiores níveis de NaCl.

O acúmulo de SiO<sub>2</sub> no caule foi de 204,07 mg planta<sup>-1</sup>, com a aplicação do maior nível de SiO<sub>2</sub>, fornecido na solução. O acúmulo de SiO<sub>2</sub> no caule foi maior que na raiz, porém inferior ao acúmulo de SiO<sub>2</sub> nas folhas das plantas. Esses resultados estão de acordo com as observações de Myake & Takahashi (1985), ao encontrarem maior acúmulo de SiO<sub>2</sub> na parte aérea das plantas de soja, sugerindo que essa cultura transportou SiO<sub>2</sub> livremente das raízes à parte aérea.

O baixo acúmulo de SiO<sub>2</sub> no caule das plantas, submetidas na solução sem SiO<sub>2</sub> (Figura 45) pode ser explicado pelo fato do silício estar presente como impureza nos macro e micronutrientes, no substrato utilizado na germinação das sementes e inclusive na água. Chagas (2004), também fez observações semelhantes em plantas de arroz e milho, submetidas a fontes de SiO<sub>2</sub> na solução nutritiva, observando acúmulo de SiO<sub>2</sub> nas plantas mesmo na ausência de SiO<sub>2</sub>.

Miranda (2000), avaliando plantas de cajueiro anão precoce sensíveis e tolerantes à salinidade, observou comportamento diferente entre os fatores NaCl e SiO<sub>2</sub>, aplicados na solução, observando redução linear nas plantas sensíveis apenas aos níveis de NaCl.

- 0,0 SiO<sub>2</sub> y = NS
- 0,5 SiO<sub>2</sub> y = 129,461138 + 9,260300x - 0,164912x<sup>2</sup> R<sup>2</sup> = 0,86\*\*
- △--- 1,0 SiO<sub>2</sub> y = 100,167819 + 11,563862x - 0,196971x<sup>2</sup> R<sup>2</sup> = 0,94\*\*
- 1,5 SiO<sub>2</sub> y = 204,077038 + 6,472716x - 0,136088x<sup>2</sup> R<sup>2</sup> = 0,99\*\*



**FIGURA 45** Acúmulo de SiO<sub>2</sub> no caule de maracujazeiro amarelo em função dos níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub> na solução nutritiva. (\*\*) significativo a 1%. (ns) não significativo.

No maracujazeiro amarelo, por não ser uma planta acumuladora de SiO<sub>2</sub> e por ser incluída no grupo das plantas consideradas sensíveis à salinidade, com a aplicação de 60 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl e 1,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, cuja condutividade elétrica foi de 7,8 dSm<sup>-1</sup>, os níveis de SiO<sub>2</sub> não impediram a absorção de Na e Cl, aumentando o acúmulo desses íons no caule das plantas, com aumento mais acentuado na presença da maior concentração de NaCl. Esse elevado acúmulo dos íons Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup> nas raízes resultou em menor acúmulo dos nutrientes nas raízes das plantas, reduzindo a produção de matéria seca das raízes destas. Os resultados confirmam a sensibilidade das plantas aos sais. O baixo acúmulo de SiO<sub>2</sub> nas raízes das plantas não foi eficiente em reduzir a excessiva absorção dos íons Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup>.



#### 4.2.9 Efeito do NaCl e SiO<sub>2</sub> sobre o acúmulo de Na, SiO<sub>2</sub> e Cl nas folhas de maracujazeiro amarelo

A interação entre os fatores NaCl e SiO<sub>2</sub> influenciou no acúmulo de Na na ausência e na presença dos níveis de SiO<sub>2</sub>. Na ausência de SiO<sub>2</sub>, o acúmulo máximo de Na nas folhas foi de 2706,29 mg planta<sup>-1</sup>, nas plantas submetidas à solução com concentrações estimadas de 33,75 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, reduzindo com o menor e maior nível de NaCl, ajustando-se a um modelo de regressão quadrático. Com a aplicação de 0,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, o acúmulo máximo de Na nas folhas foi de 2972,16 mg planta<sup>-1</sup> nas plantas submetidas a concentrações de estimadas de 34,20 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, reduzindo com o menor e maior nível de NaCl, ajustando-se a um modelo de regressão quadrático (Figura 46).

Com a aplicação de 1,0 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, o acúmulo máximo de Na nas folhas foi de 2911,09 mg planta<sup>-1</sup>, nas plantas submetidas a concentrações estimadas de 32,86 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, reduzindo com o menor e maior nível de NaCl, ajustando-se a um modelo de regressão quadrático. Com a aplicação de 1,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, o acúmulo máximo de Na nas folhas foi de 2795,88 mg planta<sup>-1</sup>, nas plantas submetidas a concentrações estimadas de 31,26 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, reduzindo com o menor e maior nível de NaCl, ajustando-se a um modelo de regressão quadrático (Figura 46).

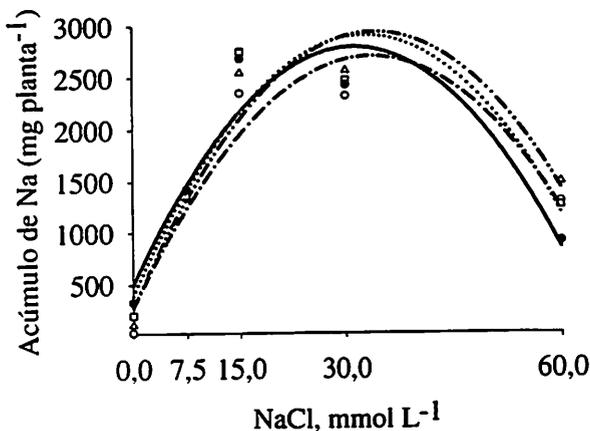
Observou-se (Figura 46) maior acúmulo de Na nas folhas das plantas, submetidas à solução com os maiores níveis de SiO<sub>2</sub> na ausência de NaCl. Porém, observou-se que com a aplicação de 0,5 e 1,0 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, o acúmulo de Na nas folhas foi menos acentuado, com o aumento das concentrações de NaCl.

O maior acúmulo de Na nas folhas contribuiu para a maior redução da matéria seca foliar. Esses resultados estão de acordo com as observações de Munns (1993), ao observar que a parte aérea das plantas é mais sensível ao

estresse salino do que a raiz, devido aos desequilíbrios entre os cátions, em consequência das complexas interações no sistema de transporte.

Entretanto, Miranda (2000) observou nas folhas de cajueiro anão precoce, sensíveis à salinidade, aumento linear tanto na ausência, como na presença de 0,5 e 1,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>. Com a aplicação de 1,0 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub> ocorreu maior acúmulo de Na no caule das plantas submetidas a concentrações de 82,9 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl. Nas plantas tolerantes maior acúmulo de Na ocorreu tanto na ausência como na presença de 0,5 e 1,0 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, com a aplicação de 11,7, 11,8 e 84,2 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl. No entanto, na presença de 1,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, o acúmulo de Na reduziu linearmente.

---○--- 0,0 SiO<sub>2</sub>  $y = 273,418492 + 144,171139x - 2,135886x^2$   $R^2 = 0,89^{**}$   
 - - -○- - - 0,5 SiO<sub>2</sub>  $y = 287,974538 + 155,205336x - 2,268936x^2$   $R^2 = 0,91^{**}$   
 ···○··· 1,0 SiO<sub>2</sub>  $y = 390,882635 + 153,374706x - 2,333680x^2$   $R^2 = 0,86^{**}$   
 -▲- 1,5 SiO<sub>2</sub>  $y = 493,865192 + 147,267566x - 2,355296x^2$   $R^2 = 0,89^{**}$



**FIGURA 46** Acúmulo de Na nas folhas de maracujazeiro amarelo em função dos níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub> na solução nutritiva. (\*\*) significativo a 1%.

A interação entre os fatores NaCl e SiO<sub>2</sub> influenciou no acúmulo de Cl na ausência e na presença dos níveis de SiO<sub>2</sub>. O acúmulo máximo de Cl nas folhas na ausência de SiO<sub>2</sub>, foi de 4800,57 mg planta<sup>-1</sup>, nas plantas submetidas a concentrações estimadas de 35,65 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, reduzindo com o menor e maior nível de NaCl, ajustando-se a um modelo de regressão quadrático. Com a aplicação de 0,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, o acúmulo máximo de Cl nas folhas foi de 5116,67 mg planta<sup>-1</sup>, nas plantas submetidas a concentrações estimadas de 34,94 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, reduzindo com o menor e maior nível de NaCl, ajustando-se a um modelo de regressão quadrático (Figura 47).

Com a aplicação de 1,0 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, o acúmulo máximo de Cl nas folhas foi de 5189,18 mg planta<sup>-1</sup>, nas plantas submetidas a concentrações estimadas de 33,88 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, reduzindo com o menor e maior nível de NaCl, ajustando-se a um modelo de regressão quadrático. Com a aplicação de 1,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, o acúmulo máximo de Cl nas folhas foi de 5222,59 mg planta<sup>-1</sup>, nas plantas submetidas a concentrações estimadas de 33,10 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, reduzindo com o menor e maior nível de NaCl, ajustando-se a um modelo de regressão quadrático (Figura 47).

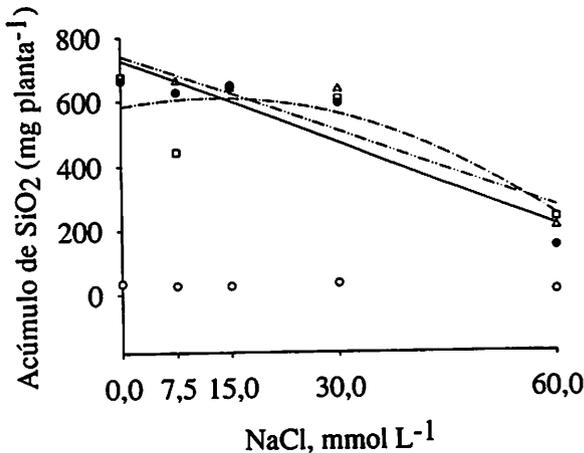
Observou-se (Figura 47) que o acúmulo de Cl, na ausência de NaCl, aumentou com os níveis de SiO<sub>2</sub>, sendo observado também que o acúmulo de Cl na presença dos níveis de SiO<sub>2</sub> foi mais acentuado com as concentrações de NaCl. Observou-se que o acúmulo de Cl foi maior até uma concentração estimada de 34,94 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, em função da maior produção de matéria seca das plantas nessa concentração de NaCl. Fernandes (2000) também observou aumento do Cl nas plantas de pupunheira, submetidas a níveis de NaCl, na solução nutritiva.

Os níveis de SiO<sub>2</sub> não foram suficientes para reduzir a quantidade de Cl acumulada nas folhas das plantas, causando um desbalanço nutricional das plantas, acarretando uma redução acentuada da produção de matéria seca. Esses

mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, ocorreu aumento linear de acúmulo de SiO<sub>2</sub> nas folhas (Miranda, 2000).

Tokura (2004), avaliando o efeito do SiO<sub>2</sub> nas frações fosfatadas em Neossolo Quartzarênico e Latossolo Vermelho distroférico, cultivados com plantas de arroz e feijão, também observou que o acúmulo de SiO<sub>2</sub>, na parte aérea das plantas aumentou linearmente, com os níveis de SiO<sub>2</sub> aplicados nos dois solos. Embora o feijoeiro não seja uma planta acumuladora de SiO<sub>2</sub>, conforme (Jones & Handreck, 1967), esse resultado se deve, provavelmente à forma H<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub> absorvida passivamente, acompanhando o fluxo de massa da água, penetrando nas raízes das plantas, em função da concentração de SiO<sub>2</sub> no solo (Van der Vorn, 1980).

- 0,0 SiO<sub>2</sub> y = NS
- 0,5 SiO<sub>2</sub> y = 582,165508 + 4,054266x - 0,160610x<sup>2</sup> R<sup>2</sup> = 0,71\*\*
- △— 1,0 SiO<sub>2</sub> y = 739,990644 - 7,786611x R<sup>2</sup> = 0,84\*\*
- 1,5 SiO<sub>2</sub> y = 726,865131 - 8,548559x R<sup>2</sup> = 0,85\*\*



**FIGURA 48** Acúmulo de SiO<sub>2</sub> nas folhas de maracujazeiro amarelo em função dos níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub> na solução nutritiva. (\*\*) significativo a 1%. (ns) não significativo.

reduzindo com os maiores níveis de NaCl, ajustando-se a um modelo de regressão quadrático. Com a aplicação de 1,0 e 1,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, o acúmulo do SiO<sub>2</sub> nas folhas reduziu linearmente com os níveis de NaCl aplicados (Figura 48).

Observou-se (Figura 48) que, na ausência de NaCl, maior acúmulo de SiO<sub>2</sub> nas folhas das plantas ocorreu com a aplicação dos maiores níveis de SiO<sub>2</sub>, aplicados à solução. Com os maiores níveis de SiO<sub>2</sub>, observou-se também redução do acúmulo de SiO<sub>2</sub> menos acentuada com os maiores níveis de NaCl.

Esses resultados são explicados por causa da maior produção de matéria seca das plantas, submetidas à solução sem NaCl. O aumento do acúmulo de SiO<sub>2</sub>, nas folhas submetidas à solução com concentrações estimadas de 12,62 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, foi provavelmente em função de um maior favorecimento do pH na disponibilidade do SiO<sub>2</sub> na solução.

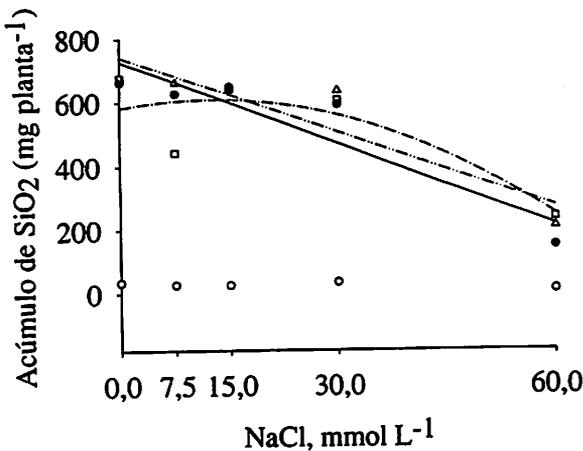
O acúmulo máximo de SiO<sub>2</sub> foi de 739,99 mg planta<sup>-1</sup>, nas folhas das plantas, submetidas à solução com 1,0 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub> (Figura 48). A distribuição do SiO<sub>2</sub> na planta foi desuniforme, com o acúmulo superior nas folhas. Esses resultados estão de acordo com as observações de Myake & Takahashi (1983), ao observarem em plantas de pepinos, maior concentração de SiO<sub>2</sub> na parte aérea, sugerindo que nessa cultura o SiO<sub>2</sub> foi transportado facilmente à parte aérea.

Miranda (2000), avaliando níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub> em plantas de cajueiro anão precoce, sensíveis e tolerantes à salinidade, também observou que nas folhas das plantas sensíveis na ausência e com a aplicação de 1,0 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, o acúmulo de SiO<sub>2</sub> aumentou, quando foi aplicado 29,9 e 54,5 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl. Nas plantas tolerantes, na ausência de SiO<sub>2</sub> ocorreu menor acúmulo de SiO<sub>2</sub>, com a aplicação de 0,5 e 1,0 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, ocorreu maior acúmulo de SiO<sub>2</sub>, na presença de 71,5 e 61,2 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl. Com a aplicação de 1,5

mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, ocorreu aumento linear de acúmulo de SiO<sub>2</sub> nas folhas (Miranda, 2000).

Tokura (2004), avaliando o efeito do SiO<sub>2</sub> nas frações fosfatadas em Neossolo Quartzarênico e Latossolo Vermelho distroférico, cultivados com plantas de arroz e feijão, também observou que o acúmulo de SiO<sub>2</sub>, na parte aérea das plantas aumentou linearmente, com os níveis de SiO<sub>2</sub> aplicados nos dois solos. Embora o feijoeiro não seja uma planta acumuladora de SiO<sub>2</sub>, conforme (Jones & Handreck, 1967), esse resultado se deve, provavelmente à forma H<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub> absorvida passivamente, acompanhando o fluxo de massa da água, penetrando nas raízes das plantas, em função da concentração de SiO<sub>2</sub> no solo (Van der Vorm, 1980).

- 0,0 SiO<sub>2</sub> y = NS
- 0,5 SiO<sub>2</sub> y = 582,165508 + 4,054266x - 0,160610x<sup>2</sup> R<sup>2</sup> = 0,71\*\*
- ▲- 1,0 SiO<sub>2</sub> y = 739,990644 - 7,786611x R<sup>2</sup> = 0,84\*\*
- 1,5 SiO<sub>2</sub> y = 726,865131 - 8,548559x R<sup>2</sup> = 0,85\*\*



**FIGURA 48** Acúmulo de SiO<sub>2</sub> nas folhas de maracujazeiro amarelo em função dos níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub> na solução nutritiva. (\*\*) significativo a 1%. (ns) não significativo.

No maracujazeiro amarelo, por não ser uma planta acumuladora de  $\text{SiO}_2$  e por ser incluída no grupo das plantas consideradas sensíveis à salinidade, com a aplicação de  $60 \text{ mmol L}^{-1}$  de  $\text{NaCl}$  e  $1,5 \text{ mmol L}^{-1}$  de  $\text{SiO}_2$ , cuja condutividade elétrica foi de  $7,8 \text{ dSm}^{-1}$ , os níveis de  $\text{SiO}_2$  não impediram a absorção excessiva de  $\text{Na}$  e  $\text{Cl}$ , aumentando o acúmulo desses íons nas folhas das plantas, com aumento mais acentuado na presença da maior concentração de  $\text{NaCl}$ . Esse elevado acúmulo dos íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  nas folhas resultou em menor acúmulo dos nutrientes nas folhas das plantas, reduzindo a produção de matéria seca das folhas das plantas. Os resultados confirmam a sensibilidade das plantas aos sais.

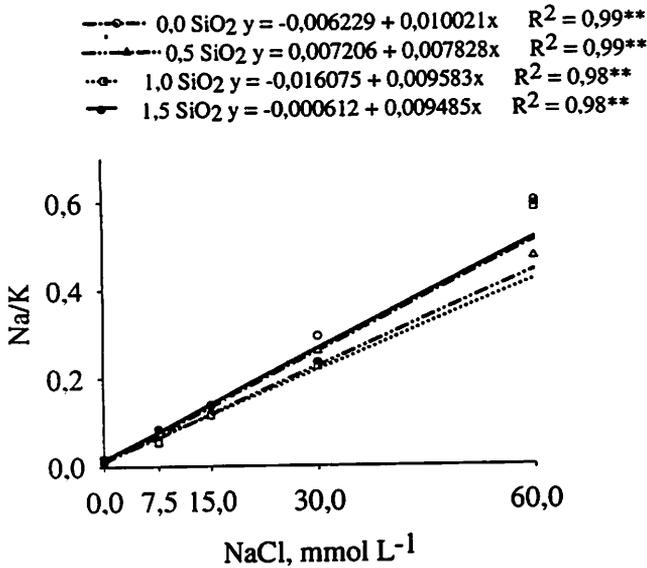
#### **4.3 Balanço iônico nas plantas**

A alta concentração de sais é um fator de estresse para as plantas, pois apresenta atividade osmótica retendo a água, além da ação dos íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  que, em excesso, ocasionam distúrbios no balanço iônico do  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  em relação ao  $\text{Na}^+$ , bem como também o efeito específico dos íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  sobre as plantas.

##### **4.3.1 Efeito do $\text{NaCl}$ e $\text{SiO}_2$ sobre as relações $\text{Na/K}$ , $\text{Na/Ca}$ , $\text{Na/Mg}$ , nas raízes de maracujazeiro amarelo**

A interação entre os fatores  $\text{NaCl}$  e  $\text{SiO}_2$  influenciou na relação  $\text{Na/K}$ , na ausência e na presença dos níveis de  $\text{SiO}_2$ . A relação  $\text{Na/K}$ , nas raízes das plantas, submetidas à solução na ausência e na presença de  $0,5$ ,  $1,0$  e  $1,5 \text{ mmol L}^{-1}$  de  $\text{SiO}_2$ , aumentou linearmente com os níveis de  $\text{NaCl}$ . Observou-se que o aumento da relação  $\text{Na/K}$ , na presença de  $1,0$  e  $1,5 \text{ mmol L}^{-1}$  de  $\text{SiO}_2$ , foi menos acentuada. Porém, não se observou eficiência do  $\text{SiO}_2$  no controle do estresse salino sobre o equilíbrio da concentração de  $\text{Na}$  e  $\text{K}$  nas raízes das plantas, submetidas à presença de  $60 \text{ mmol L}^{-1}$  de  $\text{NaCl}$  (Figura 49).

Miranda (2000), avaliando a interação entre os fatores NaCl e SiO<sub>2</sub>, em clones de cajueiro anão precoce, sensíveis e tolerantes à salinidade, observou efeito isolado dos fatores sobre a relação Na/K, tanto nos clones sensíveis, como nos clones tolerantes. Silva (2004) também, avaliando os fatores NaCl e SiO<sub>2</sub> em plantas de milho e sorgo, observou que a relação Na/K foi influenciada apenas pelo SiO<sub>2</sub> em ambas as espécies avaliadas, sendo observado aumento linear da relação, com o aumento da concentração de NaCl fornecido no substrato. Os resultados obtidos discordam das observações de Liang et al. (1996) e Bradbury sobre a influência do SiO<sub>2</sub> em aumentar a seletividade da membrana na absorção do Na.

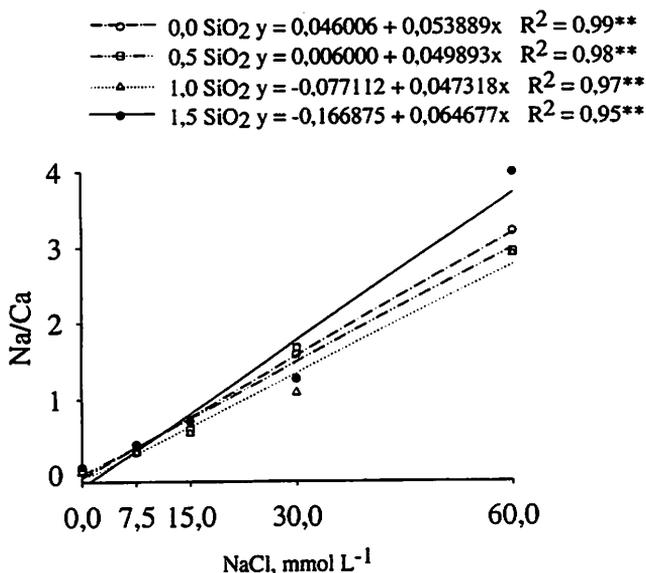


**FIGURA 49** Relação Na/K nas raízes de maracujazeiro amarelo em função dos níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub> na solução nutritiva. (\*\*) significativo a 1%.

A interação entre os fatores NaCl e SiO<sub>2</sub> influenciou na relação Na/Ca, na ausência e na presença dos níveis de SiO<sub>2</sub>. A relação Na/Ca, nas raízes das plantas, submetidas à solução na ausência e na presença de 0,5, 1,0 e 1,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub> aumentou linearmente com os níveis de NaCl. Observou-se que o aumento da relação Na/Ca, na presença de 0,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, foi menos acentuada. Porém, não se observou eficiência do SiO<sub>2</sub> em manter equilíbrio das relações entre a concentração de Na e Ca, nas raízes das plantas, submetidas à presença de 60 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl (Figura 50).

Silva (2004), avaliando o SiO<sub>2</sub> como atenuador da salinidade nas culturas de sorgo e milho, observou que a relação Na/Ca foi influenciada apenas pelo SiO<sub>2</sub>, em ambas as espécies avaliadas, aumentando linearmente com a elevação das concentrações do elemento no substrato. No entanto, Neves (2003) observou que a relação Na/Ca foi ajustada a uma função quadrática, com um aumento mais pronunciado com a aplicação de 60 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, porém reduzindo ligeiramente com 100 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl.

A interação entre os fatores NaCl e SiO<sub>2</sub> influenciou na relação Na/Mg nas raízes, de forma isolada. A relação Na/Mg nas raízes das plantas, submetidas à solução, na ausência de NaCl, aumentou de 0,07% para 8,8% nas raízes das plantas, submetidas à solução com 60 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, cuja condutividade elétrica da solução foi de 7,8 dSm<sup>-1</sup> (Figura 51). O aumento de Na e Cl, disponíveis na solução, com a aplicação de 60 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, refletiu na redução do crescimento radicular das plantas, dificultando o suprimento da exigência das plantas pelos nutrientes essenciais, desequilibrando o seu estado nutricional (Figura 51).



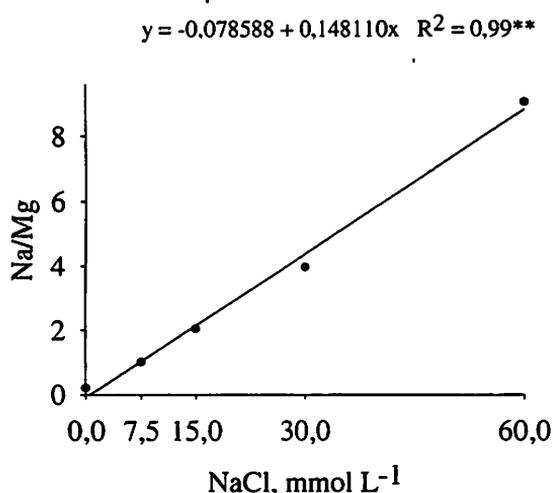
**FIGURA 50** Relação Na/Ca nas raízes de maracujazeiro amarelo em função dos níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub> na solução nutritiva. (\*\*) significativo a 1%.

Esses resultados contradizem os postulados de Liang et al. (1996) e Bradbury & Ahmad (1990), ao observarem influência do SiO<sub>2</sub> no aumento da seletividade da membrana na absorção. No entanto, os resultados estão de acordo com as observações Lynch & Laüchli (1985), ao relatarem que as concentrações elevadas de Na no meio externo inibem a absorção de K, Ca e Mg, causando deficiência desses nutrientes nas plantas, sensíveis aos sais.

Os resultados obtidos também estão de acordo com Gheyi et al. (1991), ao relatarem que altas concentrações de Na podem afetar o crescimento e o desenvolvimento das plantas através do seu efeito na disponibilidade de outros nutrientes essenciais às plantas. Contudo, Miranda (2000), avaliando os fatores NaCl e SiO<sub>2</sub>, em plantas de cajueiro anão precoce, sensíveis e tolerantes à salinidade, também observou que a relação Na/Mg nas plantas sensíveis foi influenciada pelo NaCl e SiO<sub>2</sub> isoladamente, ajustando-se a regressões

quadráticas, apresentando relação máxima com a aplicação de 138,2 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl e de 0,88 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub> respectivamente.

Fernandes et al. (2002), avaliando plantas de pupunheira, em solução nutritiva, também observaram aumento da relação Na/Mg com os níveis de NaCl, aplicados à solução. Neves (2003), avaliando níveis de NaCl no crescimento das plantas de umbu, submetidas à solução nutritiva, também observou aumento nas relações Na/K, Na/Mg nas raízes. Silva (2004) avaliando o SiO<sub>2</sub> como atenuador da salinidade nas culturas de sorgo e milho, também observou que a relação Na/Mg foi influenciada apenas pelo SiO<sub>2</sub>, em ambas as espécies avaliadas, aumentando linearmente com a elevação das concentrações do elemento no substrato.

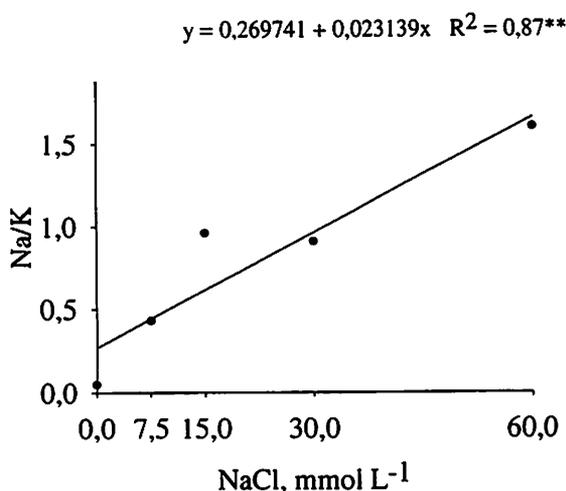


**FIGURA 51** Relação Na/Mg nas raízes de maracujazeiro amarelo em função dos níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub> na solução nutritiva. (\*\*) significativo a 1%.

O maracujazeiro amarelo, por não ser uma planta acumuladora de  $\text{SiO}_2$  e por ser incluída no grupo das plantas consideradas sensíveis a salinidade, na presença das maiores concentrações, independente dos níveis de  $\text{SiO}_2$ , o acúmulo dos íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  aumentaram nas raízes. O aumento excessivo desses íons nas folhas das plantas causou um desequilíbrio nutricional nas plantas, sendo mais acentuado na presença da maior concentração de  $\text{NaCl}$ , cuja condutividade da solução foi de  $7,8 \text{ dSm}^{-1}$ . Os resultados confirmam a sensibilidade das plantas aos sais. O baixo acúmulo de  $\text{SiO}_2$ , nas folhas das plantas, não foi eficiente em reduzir a excessiva absorção dos íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$ .

#### **4.3.2 Efeito do $\text{NaCl}$ e $\text{SiO}_2$ sobre as relações $\text{Na/K}$ , $\text{Na/Ca}$ , $\text{Na/Mg}$ , nas folhas de maracujazeiro amarelo**

A interação entre os fatores  $\text{NaCl}$  e  $\text{SiO}_2$  não influenciou na relação  $\text{Na/K}$  nas folhas das plantas, sendo influenciada apenas pelos níveis de  $\text{NaCl}$ . A relação  $\text{Na/K}$  aumentou linearmente com os níveis de  $\text{NaCl}$ , nas folhas das plantas, aumentando de 0,26% para 1,65% nas folhas das plantas, submetidas à solução na presença de  $60 \text{ mmol L}^{-1}$  de  $\text{NaCl}$ , cuja condutividade elétrica da solução foi de  $7,8 \text{ dSm}^{-1}$  (Figura 52).



**FIGURA 52** Relação Na/K nas folhas de maracujazeiro amarelo em função dos níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub> na solução nutritiva. (\*\*) significativo a 1%.

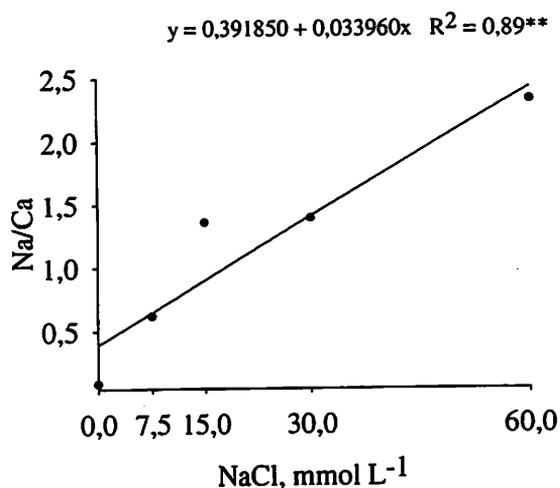
Os resultados, referentes à relação Na/K nas folhas, demonstraram o que foi observado visualmente nas plantas, em se tratando do surgimento dos sintomas de toxidez e redução do crescimento das plantas, mais acentuadamente quando submetidas a concentrações de 60 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, cuja condutividade elétrica da solução foi de 7,8 dSm<sup>-1</sup>. Fernandes (2000) também observou aumento da relação Na/K nas folhas das plantas de pupunheira submetidas a níveis de NaCl em solução nutritiva.

Neves (2003), avaliando plantas de umbu em solução nutritiva, submetidas à solução com NaCl, observou aumento da relação Na/K, a partir de 60 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, com ajuste quadrático. Montes et al. (2004) também observaram aumento da relação Na/K nas folhas de bananeiras pacovan e maçã, submetidas a níveis de NaCl em solução nutritiva.

A interação entre os fatores NaCl e SiO<sub>2</sub> influenciou na relação Na/Ca nas folhas, de forma isolada. A relação Na/Ca aumentou linearmente de 0,08% para 2,3% nas folhas das plantas submetidas na solução sem NaCl, para as

folhas das plantas submetidas à solução, com  $60 \text{ mmol L}^{-1}$  de NaCl, cuja condutividade elétrica da solução variou de 0,87 para  $7,8 \text{ dSm}^{-1}$  (Figura 53). Fernandes (2000) também observou aumento da relação Na/Mg nas folhas das plantas de pupunheira, submetidas a níveis de NaCl em solução nutritiva.

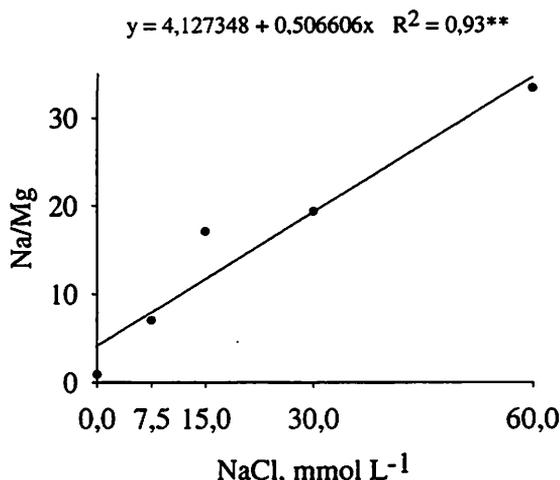
Neves (2003) observou, em plantas de umbu, submetidas na solução com NaCl, aumento significativo da relação Na/Ca nas folhas a partir do nível  $60 \text{ mmol L}^{-1}$  de NaCl, com ajuste quadrático. Com os resultados obtidos sobre as relações do Na sobre os cátions (K, Ca e Mg) afirma-se que os resultados são contraditórios aos postulados de Bradbury & Ahamad (1990), ao observarem que o  $\text{SiO}_2$  pode reduzir os efeitos danosos do NaCl sobre a produção vegetal de algumas espécies.



**FIGURA 53** Relação Na/Ca nas folhas de maracujazeiro amarelo em função dos níveis de NaCl e  $\text{SiO}_2$  na solução nutritiva. (\*\*) significativo a 1%.

A interação entre os fatores NaCl e SiO<sub>2</sub> influenciou na relação Na/Mg nas folhas de forma isolada. A relação Na/Mg aumentou linearmente com os níveis de NaCl, nas folhas, das plantas de 4,12% para 34,52%, submetidas à solução com 60 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, cuja condutividade elétrica da solução variou de 0,87 para 7,8 dSm<sup>-1</sup> (Figura 54).

Neves (2003) observou, em plantas de umbu submetidas à solução com NaCl, aumento significativo da relação Na/Mg nas folhas a partir do nível 60 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, com ajuste quadrático. Fernandes (2000) também observou aumento da relação Na/Mg, nas folhas das plantas de pupunheira submetidas a níveis de NaCl em solução nutritiva. Com os resultados obtidos sobre as relações do Na sobre os cátions (K, Ca e Mg) afirma-se que os resultados são contraditórios aos postulados de Bradbury & Ahamad (1990), ao observarem que o SiO<sub>2</sub> pode reduzir os efeitos danosos do NaCl sobre a produção vegetal de algumas espécies.



**FIGURA 54** Relação Na/Mg nas folhas de maracujazeiro amarelo em função dos níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub> na solução nutritiva. (\*\*) significativo a 1%.

#### **4.4 Transporte dos nutrientes nas plantas**

O deslocamento dos nutrientes ocorre via floema e xilema onde, por meio da corrente transpiratória, os nutrientes são rapidamente distribuídos. A condição adversa do meio limita a taxa de translocação dos nutrientes, por desfavorecer a absorção, em função da redução do sistema radicular e da interferência negativa nos processos fisiológicos das plantas. A redistribuição dos nutrientes dá-se predominantemente pelo floema, dependendo da mobilidade dos mesmos nas plantas. Os minerais considerados móveis, como o N, P, K, Mg e Cl são facilmente translocados, encontrados em maiores concentrações nas folhas, em relação aos nutrientes considerados poucos solúveis como S, Cu, Fe, Mn e Zn e muito mais em relação ao B, considerado imóvel de menor translocação.

##### **4.4.1 Efeito do NaCl e SiO<sub>2</sub> sobre a translocação dos macronutrientes à parte aérea do maracujazeiro amarelo**

A interação entre os fatores NaCl e SiO<sub>2</sub> influenciou na translocação do N na ausência e na presença dos níveis de SiO<sub>2</sub>. Na ausência de SiO<sub>2</sub>, a translocação máxima de N à parte aérea foi de 88,29% nas plantas submetidas a concentrações estimadas de 33,94 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, reduzindo com o maior nível de NaCl, ajustando-se a um modelo de regressão quadrático. Com a aplicação de 0,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, a translocação máxima de N à parte aérea foi de 89,53% nas plantas submetidas a concentrações estimadas de 24,93 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, reduzindo com o maior nível de NaCl, ajustando-se a um modelo de regressão quadrático (Figuras 55).

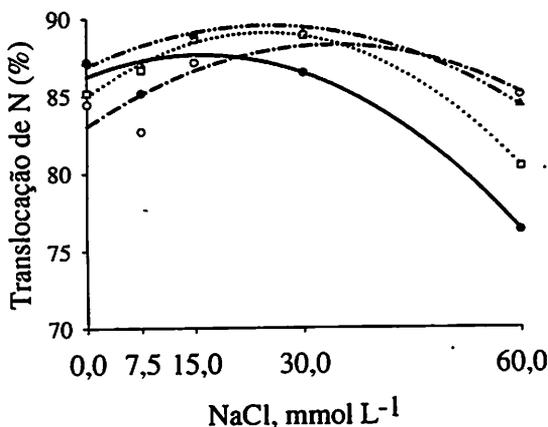
Com a aplicação de 1,0 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, a translocação máxima de N à parte aérea foi de 89,08%, nas plantas submetidas a concentrações estimadas de 24,49 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, reduzindo com o maior nível de NaCl, ajustando-se a

um modelo de regressão quadrático. Com a aplicação de  $1,5 \text{ mmol L}^{-1}$  de  $\text{SiO}_2$  a translocação máxima de N à parte aérea foi de 87,67%, nas plantas submetidas a concentrações estimadas de  $15,66 \text{ mmol L}^{-1}$  de NaCl, reduzindo com o maior nível de NaCl, ajustando-se a um modelo de regressão quadrático (Figuras 55).

Observou-se (Figura 55) que a maior percentagem de N translocado ocorreu na presença de  $0,5 \text{ mmol L}^{-1}$  de  $\text{SiO}_2$ , com os menores níveis de NaCl. Observou-se ainda que, na ausência de NaCl, a translocação de N foi maior na presença dos níveis de  $\text{SiO}_2$ . Porém, em maior concentração de NaCl, a redução da translocação de N foi mais acentuada. Neste experimento, o N foi fornecido tanto na forma nítrica como na amoniacal, sendo que a forma nítrica foi predominante, possivelmente elevada concentração de Cl tenha contribuído com a redução da disponibilidade do  $\text{N-NO}_3^-$  nas plantas.

Essas observações estão de acordo com os relatos de Marschner (1995), ao observar grande competição entre o nitrato e o cloreto, reduzindo o acúmulo de N nos tecidos das plantas. Resultados semelhantes foram obtidos por Miranda (2000), ao avaliar níveis de NaCl e  $\text{SiO}_2$  em plantas de cajueiro anão precoce, sensíveis à salinidade, observando que o  $\text{SiO}_2$  não favoreceu o transporte de N nas plantas, submetidas aos maiores níveis de NaCl.

$$\begin{aligned} \text{---}\diamond\text{---} \quad 0,0 \text{ SiO}_2 & y = 83,026562 + 0,309603x - 0,004553x^2 \quad R^2 = 0,63^{**} \\ \text{---}\square\text{---} \quad 0,5 \text{ SiO}_2 & y = 86,910312 + 0,210381x - 0,004220x^2 \quad R^2 = 0,83^{**} \\ \text{---}\circ\text{---} \quad 1,0 \text{ SiO}_2 & y = 84,969558 + 0,335825x - 0,006855x^2 \quad R^2 = 0,99^{**} \\ \text{---}\blacklozenge\text{---} \quad 1,5 \text{ SiO}_2 & y = 86,258312 + 0,180494x - 0,005761x^2 \quad R^2 = 0,92^{**} \end{aligned}$$



**FIGURA 55** Translocação de N à parte aérea de maracujazeiro amarelo em função dos níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub> na solução nutritiva. (\*\*) significativo a 1%.

A interação entre os fatores NaCl e SiO<sub>2</sub> influenciou na translocação do P na ausência e na presença dos níveis de SiO<sub>2</sub>. Na ausência de SiO<sub>2</sub>, a translocação máxima de P à parte aérea foi de 85,17%, nas plantas submetidas a concentrações estimadas de 31,43 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, reduzindo com os menores e com maior nível de NaCl, ajustando-se a um modelo de regressão quadrático. Com a aplicação de 0,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, a translocação máxima de P à parte aérea foi de 84,96%, nas plantas submetidas a concentrações estimadas de 24,42 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, reduzindo com os menores e com o maior nível de NaCl, ajustando-se a um modelo de regressão quadrático (Figura 56).

Com a aplicação de 1,0 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, a translocação máxima de P à parte aérea foi de 86% nas plantas submetidas a concentrações estimadas de 27,50 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, reduzindo com os menores e com o maior nível de

NaCl, ajustando-se a um modelo de regressão quadrático. Com a aplicação de 1,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub> a translocação máxima de P à parte aérea foi de 83,60%, nas plantas submetidas a concentrações estimadas de 13,78 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, reduzindo com os menores e com maior nível de NaCl, ajustando-se a um modelo de regressão quadrático. (Figura 56).

A redução com o maior nível de NaCl foi em função da baixa produção de matéria seca das plantas, que apresentaram seu crescimento reduzido, em consequência do efeito sobre a nutrição mineral das plantas e do próprio efeito dos íons específicos.

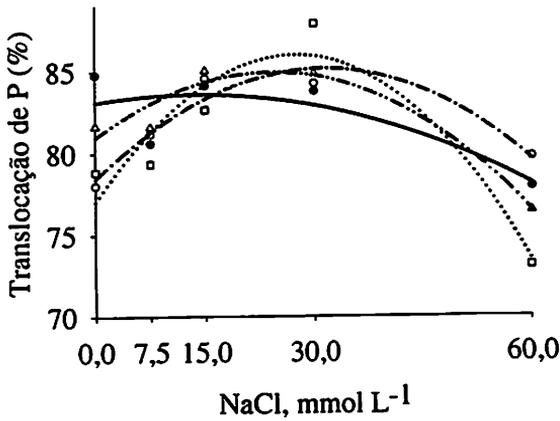
Observou-se (Figura 56) que, na ausência de SiO<sub>2</sub> maior translocação de P à parte aérea ocorreu nas plantas submetidas à solução na presença de 1,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>. Nas maiores concentrações de NaCl, observou-se que a translocação de P foi menos acentuada, com a aplicação de 1,0 e 1,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>. Apesar do efeito amenizante, os níveis de SiO<sub>2</sub> aplicados não favoreceram o controle do estresse salino sobre a translocação do P à parte aérea das plantas, na maior concentração de NaCl.

Esses resultados explicam o fato da parte aérea ter sido mais prejudicada pelo estresse salino, quando se aplicou 60 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl. No entanto, não foi observado efeito do SiO<sub>2</sub> sobre o efeito salino nessas condições durante o período de avaliação das plantas. Esses resultados estão de acordo com os relatos de Marschner (1995), sobre a redução da absorção e translocação de P, com concentração elevada de NaCl no substrato.

Resultados contraditórios foram observados por Miranda (2000), ao avaliar em plantas de cajueiro anão precoce, sensíveis à salinidade, translocação mínima de P, com a aplicação de 1,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub> e 29,3 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl. Ao contrário foi observado com o N, onde o autor observou que o SiO<sub>2</sub> aumentou o transporte de N à parte aérea nos mais elevados níveis de NaCl. Neves (2003) também observou resultados contraditórios, avaliando plantas de

umbuzeiro em solução nutritiva com NaCl, observando aumento da translocação de P com os níveis de NaCl, questionando a forma provável da planta destinar mais energia para a manutenção da parte aérea.

---○--- 0,0 SiO<sub>2</sub>  $y = 78,421185 + 0,429619x - 0,006834x^2$   $R^2 = 0,92^{**}$   
 ---△--- 0,5 SiO<sub>2</sub>  $y = 80,956812 + 0,327522x - 0,006705x^2$   $R^2 = 0,93^{**}$   
 ---□--- 1,0 SiO<sub>2</sub>  $y = 77,030238 + 0,652148x - 0,011854x^2$   $R^2 = 0,88^{**}$   
 ---●--- 1,5 SiO<sub>2</sub>  $y = 83,100088 + 0,071569x - 0,002579x^2$   $R^2 = 0,63^{**}$



**FIGURA 56** Translocação de P à parte aérea de maracujazeiro amarelo em função dos níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub> na solução nutritiva. (\*\*) significativo a 1%.

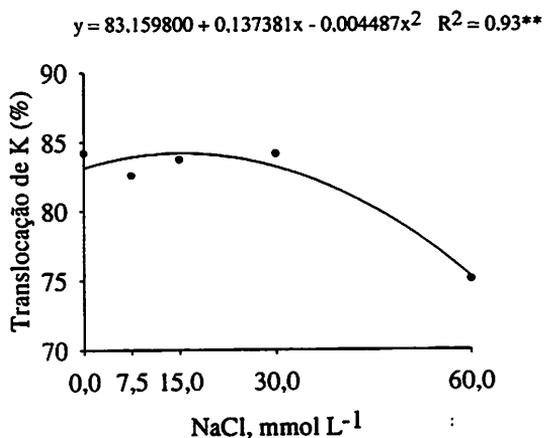
A interação entre os fatores NaCl e SiO<sub>2</sub> influenciou na translocação do K à parte aérea, de forma isolada. A translocação máxima de K, à parte aérea das plantas foi de 84,21%, nas plantas submetidas à solução com concentrações de 15,31 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, reduzindo com os maiores níveis de NaCl, ajustando-se a um modelo de regressão quadrático. Acima desse nível, foi observado que a translocação de K foi inibida devido à elevada concentração de Na nos tecidos vegetais, principalmente nas plantas submetidas à solução com 60 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl (Figura 57).

Esses resultados estão de acordo com Satti et al. (1995), ao observarem que o Na inibe a absorção de K, possivelmente pelo efeito antagônico entre estes dois cátions, decrescendo o acúmulo de K nas plantas com a elevação da salinidade no meio externo.

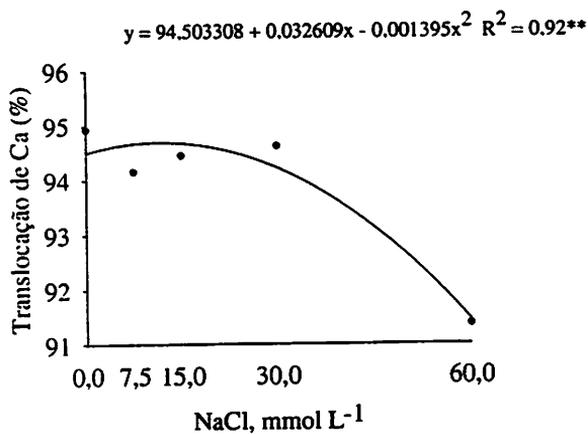
Miranda (2000), avaliando os mesmos fatores em plantas de cajueiro anão precoce, sensíveis à salinidade, observou que a translocação do K foi influenciada apenas pelo NaCl. Neves (2003), avaliando plantas de umbu em solução nutritiva com NaCl, observou ajuste quadrático da translocação de K, com maior translocação nas plantas submetidas na solução com 90 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl.

A interação entre os fatores NaCl e SiO<sub>2</sub> influenciou na translocação do Ca à parte aérea das plantas de forma isolada. A translocação máxima de Ca, à parte aérea das plantas, foi de 94,69% nas plantas submetidas à solução a uma concentração estimada de 11,73 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl (Figura 58). Esses resultados estão de acordo com Ehret & Ho (1986), ao observarem a redução de Ca com o aumento da concentração de Na, devido ao efeito direto do estresse osmótico, pela competição entre os íons, pelos mesmos sítios de absorção e pela redução do crescimento das raízes e ao efeito indireto da salinidade sobre a transpiração, devido à redução no tamanho das folhas.

Resultados contraditórios foram obtidos por Miranda (2000), ao observar que as plantas de cajueiro anão precoce, sensíveis a salinidade, translocaram Ca em concentrações mais elevadas de NaCl.



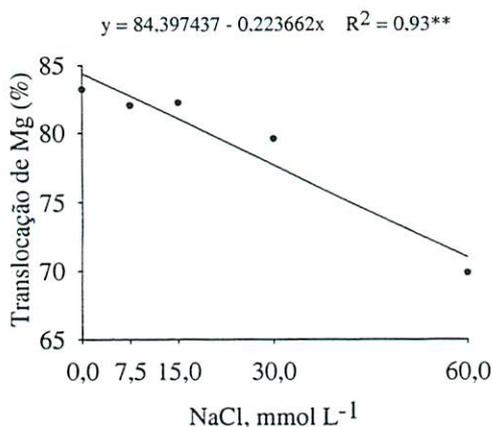
**FIGURA 57** Translocação de K à parte aérea de maracujazeiro amarelo em função dos níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub> na solução nutritiva. (\*\*) significativo a 1%.



**FIGURA 58** Translocação de Ca à parte aérea de maracujazeiro amarelo em função dos níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub> na solução nutritiva. (\*\*) significativo a 1%.

A interação entre os fatores NaCl e SiO<sub>2</sub> influenciou na translocação do Mg à parte aérea das plantas, de forma isolada. A translocação do Mg, à parte aérea das plantas, submetidas à solução sem NaCl, reduziu de 84,39% para 70,97% nas plantas submetidas na solução com 60 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, cuja condutividade elétrica da solução variou de 0,87 para 7,8 dSm<sup>-1</sup> (Figura 59). Essas observações mostraram que os efeitos prejudiciais do estresse salino, sobre a translocação de Mg, não foram amenizados pela aplicação do SiO<sub>2</sub> à solução.

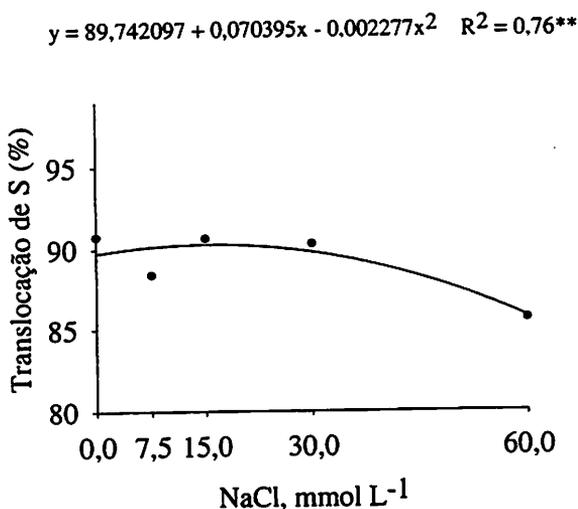
Esses resultados estão de acordo com os relatos de Marschner (1995), ao observar que o padrão de absorção do Mg pode ser muito reduzido pela presença de outros cátions na solução, entre eles o Na. Miranda (2000) observou que o NaCl influenciou apenas na translocação de Mg nos clones de cajueiro anão precoce, tolerante à salinidade. Resultados contraditórios foram obtidos por Neves (2003), ao observar em plantas de umbu submetidas à solução nutritiva com NaCl, maior percentagem do Mg translocado, com o aumento dos níveis de NaCl, aplicados à solução.



**Figura 59** Translocação de Mg à parte aérea de maracujazeiro amarelo em função dos níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub> na solução nutritiva.(\*\*) significativo a 1%.

A interação entre os fatores NaCl e SiO<sub>2</sub> influenciou na translocação de S de forma isolada. A translocação máxima de S à parte aérea foi de 90,29% nas plantas submetidas à solução com concentração estimada de 15,43 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, reduzindo com o maior nível de NaCl, ajustando-se a um modelo de regressão quadrático (Figura 60).

Resultados contraditórios foram obtidos por Miranda (2000), ao observar em plantas de cajueiro anão precoce, sensíveis à salinidade, ajuste quadrático com a aplicação de 0,5, 1,0 e 1,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, obtendo-se translocações máximas com os níveis 71,9, 80,1 e 81,8 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl e observando percentagens mais elevadas, com os maiores níveis de SiO<sub>2</sub>, independentemente do NaCl. Contudo, Neves (2003) observou em plantas de umbu, submetidas à solução nutritiva com NaCl, que a translocação do S à parte aérea das plantas reduziu até a aplicação de 20 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl e aumentou a partir desse nível, ajustando-se a uma função quadrática.



**FIGURA 60** Translocação S à parte aérea de maracujazeiro amarelo em função dos níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub> na solução nutritiva. (\*\*\*) significativo a 1%.

O maracujazeiro amarelo, por não ser uma planta acumuladora de  $\text{SiO}_2$  e por ser incluída no grupo das plantas, consideradas sensíveis à salinidade, na presença das maiores concentrações, independente dos níveis de  $\text{SiO}_2$ . A translocação dos macronutrientes reduziu em função do maior acúmulo dos íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$ , nas diferentes partes das plantas. O aumento excessivo desses íons nas plantas, causou um desequilíbrio nutricional nestas, sendo mais acentuado na presença da maior concentração de  $\text{NaCl}$ , cuja condutividade da solução foi de  $7,8 \text{ dSm}^{-1}$ . Os resultados confirmam a sensibilidade das plantas aos sais. O  $\text{SiO}_2$  não foi eficiente em aumentar a translocação dos nutrientes à parte aérea das plantas, submetidas à solução com  $60 \text{ mmol L}^{-1}$  de  $\text{NaCl}$ .

#### **4.4.2 Efeito do $\text{NaCl}$ e $\text{SiO}_2$ sobre a translocação dos micronutrientes à parte aérea do maracujazeiro amarelo**

A interação entre os fatores  $\text{NaCl}$  e  $\text{SiO}_2$  influenciou na translocação do B na ausência e na presença dos níveis de  $\text{SiO}_2$ . Na ausência de  $\text{SiO}_2$ , a translocação máxima de B foi  $91,28\%$ , nas plantas submetidas a concentrações, estimadas de  $26,15 \text{ mmol L}^{-1}$  de  $\text{NaCl}$ , reduzindo com as plantas submetidas à solução com  $60 \text{ mmol L}^{-1}$  de  $\text{NaCl}$ , ajustando-se a um modelo de regressão quadrático (Figura 61).

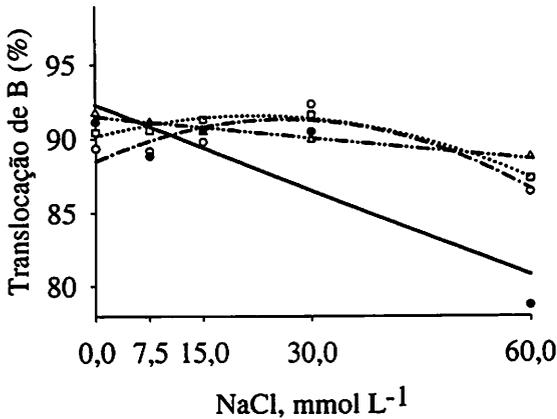
Com a aplicação de  $0,5 \text{ mmol L}^{-1}$  de  $\text{SiO}_2$ , a translocação de B à parte aérea das plantas reduziu linearmente com os níveis de  $\text{NaCl}$ . Com a aplicação de  $1,0 \text{ mmol L}^{-1}$  de  $\text{SiO}_2$ , a translocação máxima de B foi de  $91,54\%$ , nas plantas submetidas a concentrações, estimadas de  $21,95 \text{ mmol L}^{-1}$  de  $\text{NaCl}$ , reduzindo com as plantas, submetidas a concentrações de  $60 \text{ mmol L}^{-1}$  de  $\text{NaCl}$ , ajustando-se a um modelo de regressão quadrático. Com a aplicação de  $1,5 \text{ mmol L}^{-1}$  de  $\text{SiO}_2$  apesar de uma rápida variação o aumento da translocação de B, nas plantas submetidas a concentrações de  $15$  e  $30 \text{ mmol L}^{-1}$  de  $\text{NaCl}$ , a translocação de B nas plantas, reduziu linearmente (Figura 61).

Observou-se (Figura 61) que, na ausência de NaCl, a translocação de B foi maior com os níveis de SiO<sub>2</sub>, no entanto, apesar da redução da translocação de B à parte aérea das plantas, submetidas à presença de 1,0 mmol L<sup>-1</sup> ter sido menos acentuada, quando comparado a translocação de B nas plantas submetidas na solução sem SiO<sub>2</sub>, observou-se que o SiO<sub>2</sub> não amenizou o estresse salino, sobre as plantas submetidas em maiores concentrações de NaCl.

Os resultados demonstraram que as plantas de maracujazeiro não apresentam habilidade em manter adequado equilíbrio iônico na parte aérea, em função da baixa capacidade de ajustamento osmótico. Esses resultados estão de acordo com os relatos de Maas (1984) e Cavalcante et al. (2002) ao classificarem o maracujazeiro amarelo como sensíveis aos sais.

Contudo, Miranda (2000) observou em clones de cajueiro anão precoce, submetidos à solução nutritiva com NaCl e SiO<sub>2</sub>, aumento linear da translocação de B, com o NaCl e com a aplicação de 1,0 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>. Com a aplicação de 1,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub> a translocação máxima de B ocorreu com a aplicação de 80,9 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, com ajuste quadrático.

$\dashrightarrow$  0,0 SiO<sub>2</sub>  $y = 88,498808 + 0,213196x - 0,004077x^2$   $R^2 = 0,80^{**}$   
 $\dashrightarrow$  0,5 SiO<sub>2</sub>  $y = 91,475656 - 0,047842x$   $R^2 = 0,96^{**}$   
 $\dashrightarrow$  1,0 SiO<sub>2</sub>  $y = 90,149058 + 0,126450x - 0,002880x^2$   $R^2 = 0,97^*$   
 $\dashrightarrow$  1,5 SiO<sub>2</sub>  $y = 92,274050 - 0,191913x$   $R^2 = 0,75^{**}$

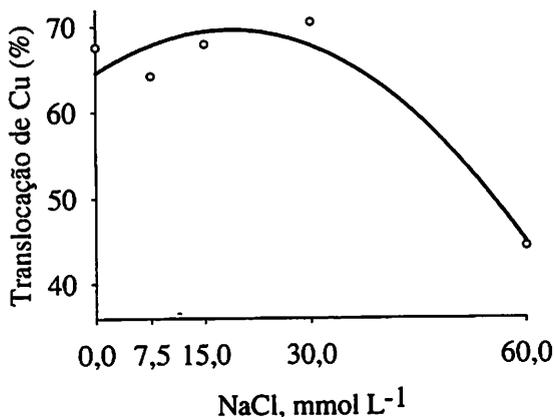


**FIGURA 61** Translocação de B à parte aérea de maracujazeiro amarelo em função dos níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub> na solução nutritiva. (\*\*) significativo a 1%. (\*) significativo a 5%.

A interação entre os fatores NaCl e SiO<sub>2</sub> influenciou na translocação do Cu apenas na ausência de SiO<sub>2</sub>. A translocação máxima de Cu, na ausência de SiO<sub>2</sub>, foi de 69,65% nas plantas submetidas a concentrações de 18,69 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, porém reduziu acentuadamente nas plantas submetidas na solução com 60 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, ajustando-se a um modelo de regressão quadrático (Figura 62). Esses resultados expressam baixa resposta ao SiO<sub>2</sub> e baixo grau de tolerância das plantas à salinidade.

Esses resultados discordam dos postulados de Bradbury & Ahmad (1990) e Liang et al. (1996), ao relatarem sobre a influência do SiO<sub>2</sub> em reduzir a permeabilidade da membrana ao Na. No entanto, Miranda (2000) observou em clones de cajueiro anão precoce, sensíveis à salinidade, que a translocação de Cu foi influenciada apenas pelo NaCl.

$$0,0 \text{ SiO}_2 \quad y = 64,573242 + 0,542996x - 0,014522x^2 \quad R^2 = 0,92^{**}$$



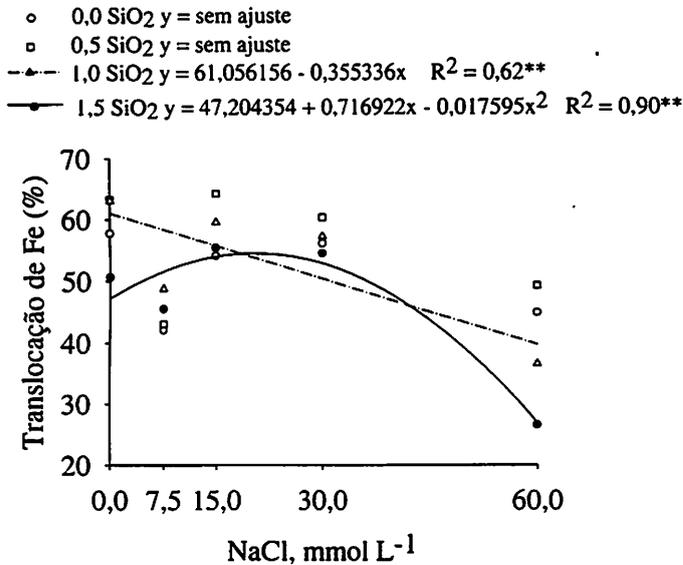
**FIGURA 62** Translocação Cu à parte aérea de maracujazeiro amarelo em função dos níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub> na solução nutritiva. (\*\*) significativo a 1%.

A interação entre os fatores NaCl e SiO<sub>2</sub> influenciou na translocação do Fe apenas na presença de 1,0 e 1,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>. Com a aplicação de 1,0 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, apesar de um rápido aumento da translocação de Fe, nas plantas submetidas a concentrações de 15 e 30 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, este não foi superior à translocação de Fe, à parte aérea das plantas, submetidas à solução sem NaCl. Porém, redução acentuada ocorreu nas plantas submetidas à solução com 60 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, ajustando-se a um modelo de regressão linear (Figura 63).

No entanto, com a aplicação de 1,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, a máxima translocação de Fe foi de 54,51%, nas plantas submetidas a concentrações, estimadas de 20,37 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, ocorrendo redução acentuada da translocação de Fe, nas plantas submetidas a concentrações de 60 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, ajustando-se a um modelo de regressão quadrático (Figura 63).

Observou-se que a translocação de Fe reduziu com o maior nível de SiO<sub>2</sub> e com o maior nível de NaCl (Figura 63).

Esses resultados estão de acordo com Okuda & Takahashi (1964), ao observarem que o SiO<sub>2</sub> promove oxidação do Fe<sup>2+</sup> nas raízes, resultando na deposição do óxido de Fe na superfície das raízes. Lindsay (1979) também observou que a disponibilidade de Fe, na solução, reduz com o aumento do pH. Entretanto, Miranda (2000), em clones de cajueiro anão precoce, sensíveis à salinidade, observou que a translocação de Fe foi influenciada pelos fatores NaCl e SiO<sub>2</sub>, aumentando linearmente com o NaCl e na presença de 1,0 e 1,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>.



**FIGURA 63** Translocação Fe à parte aérea de maracujazeiro amarelo em função dos níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub> na solução nutritiva. (\*\*) significativo a 1%.

A interação entre os fatores NaCl e SiO<sub>2</sub> influenciou na translocação do Mn, na ausência e na presença de 0,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>. A translocação máxima

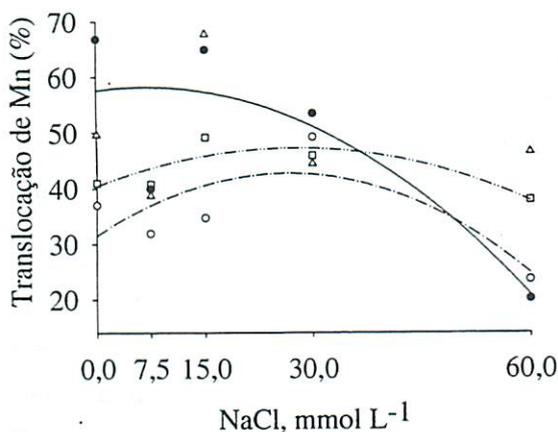
de Mn na ausência de SiO<sub>2</sub>, foi de 42,63%, nas plantas submetidas a concentrações, estimadas de 26,45 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, ocorrendo redução acentuada nas plantas submetidas a concentrações de 60 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, ajustando-se a um modelo de regressão quadrático (Figura 64).

Com a aplicação de 0,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, a translocação máxima de Mn foi de 47,16%, nas plantas submetidas a concentrações estimadas de 27,40 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, com redução acentuada nas plantas submetidas a concentrações de 60 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, ajustando-se a um modelo de regressão quadrático.(Figura 64). Com a aplicação de 1,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, a translocação máxima de Mn foi de 58,19% até uma concentração estimada de 6,65 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, reduzindo com as maiores concentrações, com redução mais acentuada na presença de 60 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, ajustando a um modelo de regressão quadrático (Figura 64).

Observou-se que a translocação de Mn foi maior nas plantas submetidas à solução na presença de 0,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub> na ausência de NaCl. Observou-se ainda que, com a aplicação de 0,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, a redução da translocação de Mn foi menos acentuada em comparação à translocação do Mn nas plantas submetidas à solução sem NaCl (Figura 64).

Esses resultados estão de acordo com Horst & Marschner (1978), ao estudarem o efeito do SiO<sub>2</sub> na distribuição e compartimentalização de Mn. Os autores observaram que o SiO<sub>2</sub> mudou o ponto da concentração de Mn, reduzindo sua toxidez nas plantas. Porém, os autores observaram que esse efeito não foi devido à redução da absorção de Mn, relatando efeito estimulante na absorção de Mn. No entanto, Miranda (2000) observou que o NaCl, na presença de 1,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, provocou redução linear na translocação de Mn nas plantas de cajueiro anão precoce, sensíveis à salinidade e, em plantas de moringa, redução linear nos níveis de NaCl na ausência de SiO<sub>2</sub>.

- 0,0 SiO<sub>2</sub>  $y = 31,443685 + 0,846021x - 0,015991x^2$   $R^2 = 0,60^{**}$
- 0,5 SiO<sub>2</sub>  $y = 40,397731 + 0,493619x - 0,009007x^2$   $R^2 = 0,73^{**}$
- △ 1,0 SiO<sub>2</sub>  $y = \text{sem ajuste}$
- 1,5 SiO<sub>2</sub>  $y = 57,604458 + 0,175094x - 0,013148x^2$   $R^2 = 0,68^{**}$



**FIGURA 64** Translocação Mn à parte aérea de maracujazeiro amarelo em função dos níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub> na solução nutritiva. (\*\*) significativo a 1%.

A interação entre os fatores NaCl e SiO<sub>2</sub> influenciou na translocação do Zn, apenas na presença de 0,5 e 1,0 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>. Com a aplicação de 0,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, a translocação máxima de Zn foi de 74,31%, nas plantas submetidas a concentrações, estimadas de 27,26 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, com redução acentuada nas plantas submetidas a concentrações de 60 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, ajustando-se a um modelo de regressão quadrático (Figura 65).

Com a aplicação de 1,0 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, a translocação máxima de Zn foi de 69,98%, nas plantas submetidas a concentrações, estimadas de 25,35 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, ocorrendo redução acentuada nas plantas submetidas à solução com 60 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, ajustando-se a um modelo de regressão quadrático (Figura 65).

Observou-se que a presença de 0,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub> o SiO<sub>2</sub> promoveu maior translocação de Zn à parte aérea das plantas, submetidas à solução na

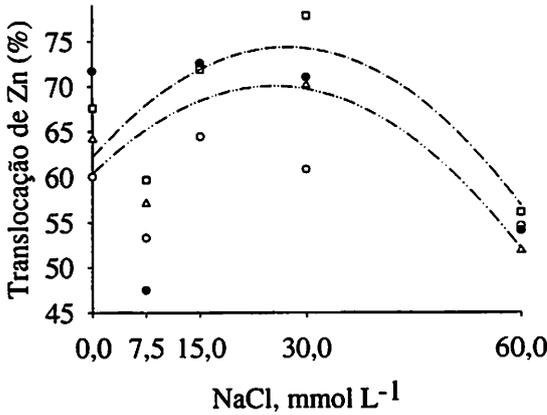
ausência de NaCl. Além disso, com a aplicação de  $0,5 \text{ mmol L}^{-1}$  de  $\text{SiO}_2$  a redução da translocação de Zn foi menos acentuada quando comparada à translocação de Zn, nas plantas submetidas à solução com  $1,0 \text{ mmol L}^{-1}$  de  $\text{SiO}_2$  (Figura 65). Contudo, Miranda (2000), avaliando plantas de moringa consideradas tolerantes a salinidade, observou redução linear na translocação de Zn, para parte aérea das plantas.

Com a aplicação dos níveis intermediários de NaCl, não se observou indução de deficiência dos nutrientes, nas plantas de maracujazeiro. Porém, a aplicação de  $60 \text{ mmol L}^{-1}$  de NaCl, afetou o crescimento das plantas, o uso de água e a permeabilidade da membrana, originando deficiência dos nutrientes. Os resultados demonstram o que foi observado visualmente nas plantas, sugerindo que apenas a aplicação de  $60 \text{ mmol L}^{-1}$  de NaCl causou efeito negativo sobre o estado nutricional das plantas nas diferentes partes destas.

Com esse nível de NaCl aplicado, as plantas sofreram desidratação da parte aérea, devido ao baixo potencial hídrico. Ocorreu também desbalanço nutricional, causado pelos íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$ , com os nutrientes essenciais nos processos de translocação e absorção. Essas observações estão de acordo com as observações de Alam (1994), ao relatar que plantas sensíveis ao Na e Cl têm seu crescimento afetado, como também são afetadas a absorção dos nutrientes essenciais e distribuição dentro das plantas.

No maracujazeiro amarelo, por não ser uma planta acumuladora de  $\text{SiO}_2$  e por ser incluída no grupo das plantas consideradas sensíveis à salinidade, na presença das maiores concentrações, independente dos níveis de  $\text{SiO}_2$ , a translocação dos micronutrientes reduziu em função do maior acúmulo dos íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$ , nas diferentes partes das plantas.

- 0,0 SiO<sub>2</sub> y = sem ajuste
- 0,5 SiO<sub>2</sub> y = 62,193388 + 0,888695x - 0,016302x<sup>2</sup> R<sup>2</sup> = 0,64\*\*
- △— 1,0 SiO<sub>2</sub> y = 60,387885 + 0,756370x - 0,014916x<sup>2</sup> R<sup>2</sup> = 0,67\*\*
- 1,5 SiO<sub>2</sub> y = sem ajuste



**FIGURA 65** Translocação Zn à parte aérea de maracujazeiro amarelo em função dos níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub> na solução nutritiva. (\*\*) significativo a 1%.

O aumento excessivo desses íons nas plantas causou um desequilíbrio nutricional, sendo mais acentuado na presença da maior concentração de NaCl, cuja condutividade elétrica da solução foi de 7,8 dSm<sup>-1</sup>. Os resultados confirmam a sensibilidade das plantas aos sais. O SiO<sub>2</sub> não foi eficiente em aumentar a translocação dos nutrientes à parte aérea das plantas submetidas à solução com 60 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl.

#### 4.4.3 Efeito do NaCl e SiO<sub>2</sub> sobre a translocação do Na, SiO<sub>2</sub> e Cl à parte aérea do maracujazeiro amarelo

A translocação do Na foi influenciada pela interação entre os fatores NaCl e SiO<sub>2</sub> avaliados. Na ausência de SiO<sub>2</sub>, a translocação máxima de Na para

a parte aérea foi de 98,60%, nas plantas submetidas a concentrações estimadas de 31,69 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, reduzindo na ausência e com o maior nível de NaCl, ajustando-se a um modelo de regressão quadrático. Com a aplicação de 0,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, a translocação máxima de Na foi de 97,09%, nas plantas submetidas a concentrações, estimadas de 7,37 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, reduzindo com os maiores níveis de NaCl, ajustando-se a um modelo de regressão quadrático. No entanto, com a aplicação de 1,0 e 1,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub> a translocação de Na reduziu linearmente com os níveis de NaCl (Figura 66).

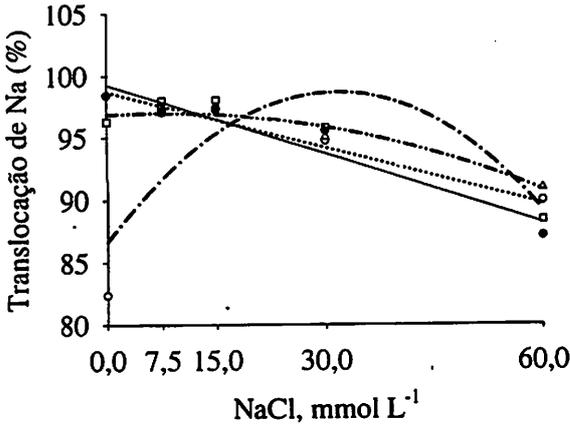
Observou-se que os níveis de SiO<sub>2</sub> não foram eficientes em reduzir a translocação de Na à parte aérea das plantas. Esses resultados discordam das observações de Liang et al. (1996) que, ao avaliarem o SiO<sub>2</sub> como atenuador da salinidade em duas cultivares de cevada, observaram redução na permeabilidade da membrana para o Na, amenizando os efeitos do estresse salino.

Os resultados obtidos estão de acordo com as observações de Marschner (1995), ao observar que o Na translocado à parte aérea em espécies tolerantes, como a beterraba açucareira, estimulou o crescimento das plantas, substituindo parte do K influenciando no balanço hídrico das plantas. Montes et al. (2004) constataram, em plantas de bananeiras, submetidas a níveis de NaCl em solução nutritiva, que os teores de Na encontrados nas folhas mais velhas foram maiores em comparação às folhas jovens. Os autores sugerem que o Na é pouco translocado, via floema, pelo menos nas cultivares estudadas (pacovan e maçã).

Miranda (2000), avaliando plantas de cajueiro anão precoce, sensíveis e tolerantes à salinidade, observou que a translocação de Na foi influenciada pelos fatores NaCl e SiO<sub>2</sub>, apenas nas plantas tolerantes. O autor observou maior translocação de Na, com a aplicação de 81,5 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, na ausência de SiO<sub>2</sub>. Com a aplicação de 0,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, maior translocação ocorreu no nível de 78 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, aplicado à solução. Miranda (2000) também afirmou que o SiO<sub>2</sub> não contribuiu para reduzir a translocação de Na, para a

parte aérea das plantas. Neves (2003) também observou aumento das translocações de Na nas plantas de umbu, submetidas a níveis de NaCl em solução nutritiva.

$$\begin{aligned} \text{---}\circ\text{---} & 0,0 \text{ SiO}_2 \quad y = 86,701454 + 0,751061x - 0,011851x^2 \quad R^2 = 0,56^{**} \\ \text{---}\square\text{---} & 0,5 \text{ SiO}_2 \quad y = 96,846496 + 0,033390x - 0,002264x^2 \quad R^2 = 0,93^* \\ \text{---}\circ\text{---} & 1,0 \text{ SiO}_2 \quad y = 98,6783344 - 0,151004x \quad R^2 = 0,80^{**} \\ \text{---}\square\text{---} & 1,5 \text{ SiO}_2 \quad y = 99,243350 - 0,185700x \quad R^2 = 0,92^{**} \end{aligned}$$



**FIGURA 66** Translocação de Na à parte aérea de maracujazeiro amarelo em função dos níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub> na solução nutritiva. ns (não significativo). (\*) significativo a 5% e (\*\*) significativo a 1%.

A interação entre os fatores NaCl e SiO<sub>2</sub> influenciou na translocação do Cl apenas na presença dos níveis de SiO<sub>2</sub>. A translocação de Cl, na ausência de SiO<sub>2</sub> não se ajustou aos modelos de regressão. No entanto, com a aplicação de 0,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub> a translocação máxima de Cl foi de 94,16%, nas plantas submetidas a concentrações estimadas de 32,80 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl e reduziu com os níveis de NaCl abaixo e acima desta concentração, sendo que, no maior nível de NaCl, a translocação foi maior quando comparada à translocação de Cl à parte aérea das plantas, submetidas à solução sem NaCl e com 7,5 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, ajustando-se a um modelo de regressão quadrático (Figura 67).

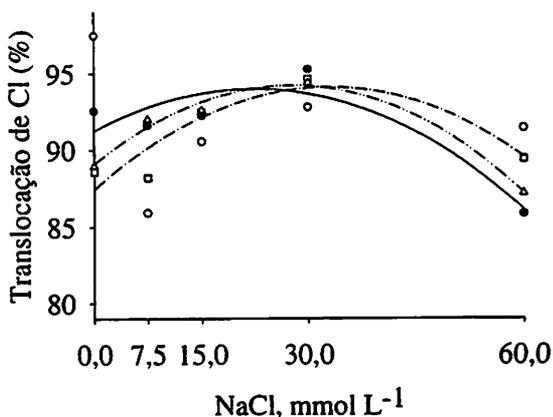
Com a aplicação de  $1,0 \text{ mmol L}^{-1}$  de  $\text{SiO}_2$  a translocação máxima de Cl foi de 94,17%, nas plantas submetidas a concentrações estimadas de  $27,64 \text{ mmol L}^{-1}$  de NaCl e reduziu com os níveis de NaCl abaixo e acima desta concentração, sendo que, no maior nível de NaCl, a translocação foi maior quando comparada à translocação de Cl à parte aérea das plantas, submetidas à solução sem NaCl e com  $7,5 \text{ mmol L}^{-1}$  de NaCl, ajustando-se a um modelo de regressão quadrático (Figura 67).

Na presença de  $1,5 \text{ mmol L}^{-1}$  de  $\text{SiO}_2$  a translocação máxima de Cl foi de 93,95%, nas plantas submetidas à solução com concentração estimada de  $22,28 \text{ mmol L}^{-1}$  de NaCl e reduziu com os níveis de NaCl abaixo e acima desta concentração, sendo que no maior nível de NaCl a translocação foi maior, quando comparada à translocação de Cl à aérea das plantas, submetidas à solução sem NaCl e com  $7,5 \text{ mmol L}^{-1}$  de NaCl, ajustando-se a um modelo de regressão quadrático (Figura 67).

Observou-se (Figura 67) que, com a aplicação de  $0,5 \text{ mmol L}^{-1}$  de  $\text{SiO}_2$ , na ausência de NaCl, a translocação de Cl foi menor que nas plantas submetidas, na ausência de NaCl e na presença de  $1,5 \text{ mmol L}^{-1}$  de  $\text{SiO}_2$ . Porém, os níveis de  $\text{SiO}_2$  não controlaram o efeito do estresse salino nas plantas de maracujazeiro amarelo.

Esses resultados discordam dos encontrados por Bradbury & Ahmad (1990) e Liang et al. (1996), ao relatarem que o fornecimento de  $\text{SiO}_2$  para algumas espécies tem promovido respostas positivas quanto ao crescimento e adaptação a ambientes salinos. Neves (2003) também observou aumento das translocações de Cl nas plantas de umbu submetidas a níveis de NaCl em solução nutritiva.

- 0,0 SiO<sub>2</sub> y = sem ajuste
- 0,5 SiO<sub>2</sub> y = 87,441524 + 0,403458x - 0,006150x<sup>2</sup> R<sup>2</sup> = 0,82\*\*
- ▲— 1,0 SiO<sub>2</sub> y = 89,075769 + 0,369078x - 0,006677x<sup>2</sup> R<sup>2</sup> = 0,98\*\*
- 1,5 SiO<sub>2</sub> y = 91,224165 + 0,245503x - 0,005510x<sup>2</sup> R<sup>2</sup> = 0,83\*\*



**FIGURA 67** Translocação de Cl à parte aérea de maracujazeiro amarelo em função dos níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub> na solução nutritiva. (\*\*) significativo a 1%.

A translocação de SiO<sub>2</sub> foi influenciada pelos fatores NaCl e SiO<sub>2</sub> avaliados, apenas na presença de 1,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>. Com a aplicação de 1,5 mmol L<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, a translocação de SiO<sub>2</sub> reduziu linearmente com os níveis de NaCl, observando-se que os valores médios estimados da translocação apresentam um rápido aumento com a aplicação de 15 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl entre os níveis de NaCl avaliados, porém, inferior ao SiO<sub>2</sub> translocado na parte aérea das plantas, submetidas na solução sem NaCl (Figura 68).

Pode-se inferir que as plantas apresentaram baixo acúmulo de SiO<sub>2</sub> não sendo eficientes no controle do estresse salino. Esses resultados estão de acordo com as observações de Marschner (1995), ao classificar as dicotiledôneas como não acumuladoras de SiO<sub>2</sub>. No entanto, os resultados obtidos discordam dos encontrados por Liang et al. (1996), ao considerarem o SiO<sub>2</sub> como atenuador do estresse salino em cultivares de cevada. Carvalho et al. (2003), ao avaliarem

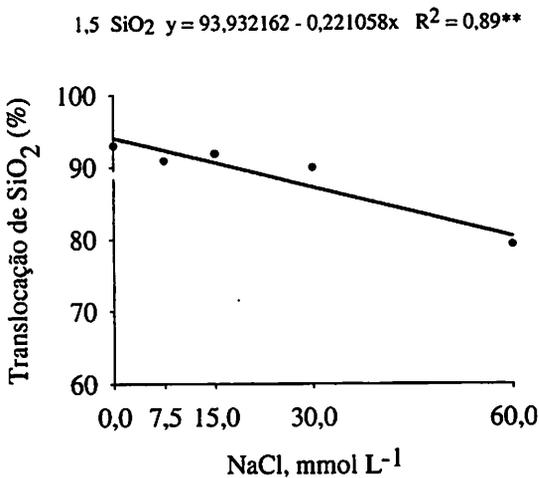
níveis de  $\text{SiO}_2$  em dois solos com plantas de eucalipto, observaram que as plantas foram eficientes em absorver o  $\text{SiO}_2$  fornecido e translocá-lo das raízes à parte aérea até 60 dias após o transplântio, reduzindo o transporte de  $\text{SiO}_2$  com o tempo.

Esses resultados, com tendência do aumento de translocação de  $\text{SiO}_2$  com concentração estimada de  $25 \text{ mmol L}^{-1}$  de  $\text{NaCl}$ , podem ser explicados pelo pH da solução que provavelmente favoreceu maior disponibilidade do  $\text{SiO}_2$ , aumentando a concentração do elemento nas plantas. A redução da translocação de  $\text{SiO}_2$  nos menores níveis de  $\text{NaCl}$ , inclusive na ausência de  $\text{NaCl}$ , ocorreu pela provável função do pH em aumentar a disponibilidade de  $\text{SiO}_2$ . Outra explicação é que as plantas de maracujazeiro amarelo são incluídas no grupo das dicotiledôneas não acumuladoras de  $\text{SiO}_2$ . Nessas condições, admite-se que os níveis de  $\text{SiO}_2$  não promoveram menor permeabilidade da membrana ao  $\text{Na}$ , reduzindo seu transporte à parte aérea, conforme observações feitas por Liang et al. (1996).

Em meio salino, a planta transpira com mais intensidade, devido ao efeito osmótico, ocorrendo maior perda de água para atmosfera, interferindo no crescimento das plantas sensíveis à salinidade, como por exemplo, o maracujazeiro amarelo. As plantas, submetidas à solução com  $15$  e  $30 \text{ mmol L}^{-1}$  de  $\text{NaCl}$ , não tiveram intensa redução do crescimento, provavelmente tiveram aceleração no seu processo de respiração, em comparação às plantas submetidas sem  $\text{NaCl}$ . No entanto, com a aplicação de  $60 \text{ mmol L}^{-1}$ , a respiração das plantas deve ter sido muito elevada, corroborando a correlação entre a absorção de  $\text{SiO}_2$  e a taxa de transpiração. Okuda & Takahashi (1964) observaram redução da absorção do  $\text{SiO}_2$  pelas plantas de tomate quando se reduziu a taxa de transpiração. Sangster et al. (2001) também observou que a translocação de  $\text{SiO}_2$  é regulada pela taxa de transpiração.

Outro problema que ocorreu com as plantas de maracujazeiro amarelo, submetidas à solução com os fatores NaCl e SiO<sub>2</sub>, foi a intensa redução da parte aérea e do sistema radicular das plantas, submetidas à solução com 60 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl. Com esse nível de NaCl, aplicado à solução, ocorreu grande senescência das folhas velhas, interferindo na translocação de SiO<sub>2</sub> à parte aérea dessas plantas. Myake & Takahashi (1983), ao avaliarem a distribuição de SiO<sub>2</sub> em plantas de pepino, observaram que o teor de SiO<sub>2</sub> ao das folhas mais jovens, foi marcadamente inferior nas folhas mais velhas interferindo na translocação do SiO<sub>2</sub> que não é facilmente redistribuído para outras partes das plantas.

Jones & Handreck (1967) observaram que o SiO<sub>2</sub>, ao ser transportado à parte aérea na corrente transpiratória, é precipitado como sílica amorfa SiO<sub>2</sub>.nH<sub>2</sub>O ou opala e, ao ser depositado, torna-se imóvel e não redistribuído. Contudo, Miranda (2000), avaliando plantas de cajueiro anão precoce, sensíveis e tolerantes à salinidade, observou que a interação entre NaCl e SiO<sub>2</sub> influenciou na translocação de SiO<sub>2</sub> nas plantas tolerantes.



**FIGURA 68** Translocação de SiO<sub>2</sub> à parte aérea de maracujazeiro amarelo em função dos níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub> na solução nutritiva. (\*\*) significativo a 1%.

## 5 CONCLUSÕES

A maior concentração de NaCl na solução nutritiva causou severa inibição no crescimento do maracujazeiro amarelo, apresentando sintomas como clorose e necrose .

Na ausência de NaCl, o menor nível de Si aumentou o diâmetro do caule das plantas. Na ausência de NaCl, o menor nível de Si aumentou a produção de matéria seca das folhas.

O Si não controlou o efeito salino sobre o diâmetro e altura das plantas, matéria seca das raízes e das folhas das plantas submetidas à solução na presença de 60 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl.

O Si aumentou o acúmulo de N, P, K, Ca, S, B, Cu e Fe nas raízes, na presença dos níveis intermediários de NaCl.

O Si aumentou o acúmulo de N, P, K, Ca, B, Cu, Fe e Zn no caule das plantas, na presença dos níveis intermediários de NaCl.

O Si aumentou o acúmulo de N, Ca, Cu, Fe, Mn e Zn nas folhas das plantas, na presença dos níveis intermediários.

O Si aumentou a translocação de N, P, B, Fe, Mn e Zn na presença dos níveis intermediários de NaCl.

O Si em baixa concentração de NaCl reduziu a translocação de Na e Cl.

Os níveis de Si não foram suficientes para reduzir o efeito do estresse salino nas plantas submetidas à solução com 60 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl. Os níveis intermediários de NaCl não causaram desequilíbrio nutricional nas plantas durante o período avaliado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGARIE, S.; HANAOKA, N.; UENO, O.; MIYAZAKI, A.; KUBOTA, F.; AGATA, W.; KAUFMAN, P. B. Effects of silicon on tolerance to water deficit and heart stress in rice plants (*Oryza sativa* L.) monitored by electrolyte leakage plant. **Production Science**, Amsterdam, v. 1, n. 2, p. 96-103, 1998a.
- AGRINUAL 2005 - Anuário da agricultura brasileira. São Paulo: FNP Consultoria, 2005. p. 394-395.
- AHMAD, R. **Development of silicon technology for saline agriculture**. Karachi: Resech Report Pakistan Atomic Energy Commission, 1987.
- AHMAD, R.; ZAHEER, S.; ISMAIL, S. Role of silicon in salt tolerance of wheat (*Triticum aestivum* L.). **Plant Science**, Clare, v. 85, n. 1, p. 43-50, 1992.
- ALAM, S. M. Nutrient uptake by plants in stress conditions. In: PESSARAKLI, M. **Handbook of plant and crop stress**. New York: Marcel Dekker, 1994. p. 227-246.
- AL-HARBI, A. R. Growth and nutrient composition of tomato and cucumber seedlings as affected by sodium chloride salinity and supplemental calcium. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 18, n. 7. 1403-1416, 1995.
- AL-KARAKI, G. N. Baeley response to salt stress at varied levels of phosphorus. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 20, n. 11, p. 1635-1643, 1997.
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande-PB: UFPB, 1999. 153 p.
- AZEVEDO NETO, A. D. de; BARRETO, L. P.; BEZERRA NETO, E. Efeito da salinidade sobre os teores de macronutrientes em duas cultivares de sorgo cultivadas em solução nutritiva. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DO SOLO, 25., 1995, Viçosa, MG. **Resumos expandidos...** Viçosa: SBCS, 1995. v. 3, p. 135-137.
- AZEVEDO NETO, A. D. de.; TABOSA, J. N. Estresse salino em Plântulas de milho: parte II distribuição dos macronutrientes catiônicos e suas relações com sódio. **Revista Brasileira de Engenharia Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 2, p. 165-171, 2000.

- ↙ BERNSTEIN, L. Effects of salinity and sodicity on plant growth. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v. 13, p. 295-312, 1975.
- BIGGAR, J. W. **Water quality for agriculture and related uses**. California: University of California. Department of Land, Air and Water Resources, 1984. Class Notes.
- BOHN, H. L.; McNEAL, B. L.; O'CONNOR, G. A. **Soil chemistry**. 2. ed. New York: J. Wiley, 1985. 341 p.
- BOURSIER, P.; LÄUCHHLI, A. Growth responses and mineral nutrient relations of salt-stressed sorghum. **Crop Science**, Madison, v. 30, n. 6, p. 1226-1233, Nov./Dec. 1990.
- ↙ BRADBURY, M.; AHMAD, R. The effect of silicon on the growth of *Prosopis juliflora* in saline soil. **Plant and Soil**, The Hague, v. 125, n. 1, p. 71-74, June 1990.
- BREMNER, J. M.; EDWARDS, A. P. Determination and isotope ratio analysis of different forms of nitrogen in soils. I. Apparatus and procedures for distillation and determination for ammonium. **Soil of Science Society America Proceedings**, Madison, v. 29, n. 5, p. 504-507, Sept./Oct. 1965.
- CARVALHO, R.; FURTINI NETO, A. E.; CURI, N.; RESENDE, A. V. Absorção e translocação de silício em mudas de eucalipto cultivadas em Latossolo e Cambissolo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 27, n. 3, p. 491-500, maio/jun. 2003.
- CAVALCANTE, L. F.; CAVALCANTE, I. H. L.; LIMA, E. M. O maracujazeiro e a salinidade da água e do solo. In: REUNIÃO TÉCNICA DE PESQUISA EM MARACUJAZEIRO, 3., 2002a, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa: [s.n], 2002a. 17 p.
- ↙ CAVALCANTE, L. F.; SANTOS, J. B. dos.; SANTOS, C. J. O.; FEITOSA FILHO, J. C.; LIMA, E. M.; CAVALCANTE, I. H. L. Germinação de sementes e crescimento inicial de maracujazeiros irrigados com água salina em diferentes volumes de substrato. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p.672 - 678, dez. 2002b.
- CHAGAS, R. C. S. de. **Avaliação de fontes de silício para as culturas do arroz e milho**. 2004. 80 p. Tese (Doutorado em Energia Nuclear na Agricultura) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

CHEESEMAN, J. M. Mechanisms of salinity tolerance in plants. **Plant Physiology**, Rockville, v. 87, n. 3, p. 577-550, July 1988. ↙

COLMER, T. D.; FAN, T. W. M.; HANSON, J. B.; HIGASHI, R. M.; LÄUCHHLI, A. Interactions of  $\text{Ca}^{2+}$  and NaCl stress on the relations and intracellular pH of sorghum bicolor root tips: An in vivo  $^{31}\text{P}$ -NMR study. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 45, n. 277, p. 1037-1044, Aug. 1994.

CRAMER, G. R.; ALBERICO, G. J.; SCHIMDT, C. Salt tolerance is not associated with the sodium accumulation of two maize hybrids. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v. 21, n. 5, p. 675-692, 1994.

CRAMER, G. R.; LÄUCHHLI, A.; POLITO, V. S. Displacement of  $\text{Ca}^{2+}$  by  $\text{Na}^+$  from the plasmalemma of root cells. A primary response to salt stress? **Plant Physiology**, Rockville, v. 79, n. 1, p. 207-211, Sept. 1985.

CUNHA, M. A. P.; BARBOSA, L. V. Aspectos botânicos In: LIMA, A. A. (Ed.). **Maracujá produção: aspectos técnicos**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2002. p. 11-14.

CURTIN, D.; STEPPUHN, H.; SELLES, F. Plant responses to sulfate and chloride salinity: growth and ionic relations. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 57, n. 5, p. 1304-1310, Sept./oct. 1993.

DATTA, K. S.; KUMAR, A.; VARMA, S. K.; ANGRISH, R. Differentiation of chloride and sulphate salinity on the basis of ionic distribution in genietation of diverse cultivars of wheat. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 18, n. 10, p. 2199-2212, 1995.

EHRET, D. L.; HO, L. C. Translocation of calcium in relation to tomato fruit growth. **Annals of Botany**, London, v. 58, n. 5, p. 679-88, Nov. 1986.

EPSTEIN, E. **Nutrição mineral das plantas**. São Paulo-SP: EDUSP, 1975. 341 p.

EPSTEIN, E. The anomaly of silicon in plant biology. **Proceedings of National Academy of Science of the United States of America**, Washington, v. 91, n. 1, p. 11-17, Jan. 1994.

EPSTEIN, E. The Discovery of the essential elements. In: KUNG, S-D.; YANG, S. F. (Ed.). **Discoveries in plant biology**. Singapore: World Scientific Publishing, 2000. v. 3, p. 1-16.

FERNANDES, A. R. **Nutrição mineral e crescimento de mudas de pupunheira (*Bactris gasipaes* H. B. K.), em solução nutritiva, em função do balanço de nutrientes e níveis de salinidade**. 2000. 145 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição Mineral de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

FERNANDES, A. R.; CARVALHO, J. G.; CURI, N.; PINTO, J. E. B. P.; GUIMARÃES, P. T. G. Nutrição mineral de mudas de pupunheira (*Bactris gasipaes* H. B. K.), sob diferentes níveis de salinidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 11, p. 113-1619, nov. 2002.

FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do SISVAR (Sistema para análise de Variância) para Windows 4. 0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCAR, 2000. p. 255-258.

FERREIRA, R. G. **Efeitos do estresse salino sobre o crescimento, composição química e respostas fisiológicas da goiabeira**, 1998. 60 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

FERREIRA, R. G.; TÁVORA, F. J. A. F.; HERNANDEZ, F. F. F. Distribuição da matéria seca e composição química das raízes, caule e folhas de goiabeira submetida a estresse salino. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 1, p. 79-88, jan. 2001.

FLORES, H. E. Polyamines and plant stress. In: ALSCHER, R. G.; CUMMING, J. R. (Ed.). **Stress response in plants: adaptation and acclimation mechanisms**. New York: Wiley-lis, 1990. p. 217-239.

FREIRE, M. B. G.; RUIZ, H. A.; RIBEIRO, M. R.; FERREIRA, P. A.; ALVAREZ, V. H.; FREIRE, F. J. Estimativa do risco de sodificação de solos de Pernambuco pelo uso de águas salinas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 227-232, abr./jun. 2003.

FURLANI, P. R.; GALLO, J. R. Determinação de silício em material vegetal, pelo método colorimétrico do “azul-de-molibdênio”. **Bragantia**, Campinas, v. 37, p. V-IX, 1978. (Nota 2).

GHEYI, H. R. Problemas de salinidade na agricultura irrigada. In: OLIVEIRA, T. S. de; ASSIS JÚNIOR, R. N.; ROMERO, R. E.; SILVA, J. R. C. (Ed.). **Agricultura, sustentabilidade e o semi-árido**. Fortaleza: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p. 329-345.

GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J. F.; BATISTA, M. A. F. **Prevenção, manejo e recuperação de solos salinos e sódicos**. Documento elaborado para a Escola Superior de Agronomia de Mossoró-RN, 1991. 70 p.

GRATTAN, S. R.; GRIEVE, C. M. Mineral element acquisition and growth response of plant grown in saline environments. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 38, n. 4, p. 275-300, Mar. 1992.

GRATTAN, S. R.; GRIEVE, C. M. Mineral element acquisition and response by plant grown in saline environments. In: PESSARAKLI, M. (Ed.) **Handbook of plant and crop stress**. New York: Marcel Dekker, 1994. p. 202-226.

GRATTAN, S. R.; GRIEVE, C. M. Salinity-mineral relations in horticultural crops. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 78, n. 1/4, p. 127-157, Jan. 1999.

GREENWAY, H.; MUNNS, R. Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. **Annual Review of Plant Physiology**, Polo solt, v. 31, p. 149-190, 1980.

HAAG, H. P.; OLIVEIRA, G. D.; BORDUCCHI, A. S.; SARRUGE, J. R. Absorção de nutrientes por duas variedades de maracujá. **Anais da Escola Superior de Agricultura. Luiz de Queiroz**, Piracicaba, v. 25, n. 2, p. 267-279, 1973.

HOAGLAND, D. R.; ARNON, D. I. **The water culture method of growing plants without soil**. Berkey: University of California, 1950. 32 p.

HOCKING, P. J. Distribution and redistribution of mineral nutrient and dry matter in grain sorghum as affected by soil salinity. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 16, n. 9, p. 1753-1774, 1993.

HORST, W. J.; MARSCHNER, H. Effect of silicon on manganese tolerance of plants IV. Effect of silicon on alleviation of manganese toxicity of barley. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 10, n. 1, p. 2299-2310, 1978.

Disponível em: <<http://www.nucleoestudo.ufla.br/nefrut/maracuja.htm>>. Acesso em: 8 mar. 2005.

- HU, Y.; SHIDHALTER, U. Interactive effects of salinity and macronutrient level on wheat. Part II. Composition. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 22, n. 9, p. 1169-1182, 1997.
- JESCHKE, W. D.; WOLF, O.; HARTUNG, W. Effect of NaCl salinity on flows and partitioning of C, N, and mineral ions in whole plants of white lupin, *Lupinus albus* L. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 43, n. 251, p. 777-788, June 1992.
- JONES, L. H. P.; HANDRECK, K. A. Sílica in soils, plants, and animals. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 19, p. 107-149, 1967.
- KAWASAKI, T.; AKIBA, T.; MORITSUGU, M. Effects of high concentrations of sodium chloride and polyethylene glycol on the growth and ion absorption in plants: I. Water culture experiments in a greenhouse. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 75, n. 1, p. 75-85, 1983.
- KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S. **Silicatos de cálcio e magnésio na agricultura**. 3. ed. Uberlândia: GPSi/CIAG/UFU, 2004. 28 p. (Boletim Técnico, 1).
- LACERDA, C. F.; CAMBRAIA, J.; CANO, M. A. O.; RUI, H. A.; PRISCO, J. T. Solute accumulation and distribution during shoot and leaf development in two sorghum genotypes under salt stress. **Environmental and Experimental Botany**, Amsterdam, v. 49, n. 2, p. 107-120, Apr. 2003.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Paulo: RiMa, 2000. p. 531.
- LIANG, Y.; SHEN, Q.; SHEN, Z.; MA, T. Effects of silicon on salinity tolerance of two barley cultivars. **Journal Plant Nutrition**, New York, v. 19, n. 1, p. 173-183, 1996.
- LINDSAY, W. **Chemical equilibria in soils**. New York: John Wiley, 1979. 449 p.
- LYNCH, J.; LAUCHLI, A. Salt stress disturbs the calcium nutrition of barley (*Hordeum vulgare*) **New Phytologist**, Oxford, v. 99, n. 3, p. 345-354, Mar. 1985.
- MA, J. F.; TAKAHASHI, E. Interaction between calcium and silicon in water-cultured rice plants. **Plant and Soil**, The Hague, v. 128, n. 1, p. 107-113, 1993.
- MAAS, E. V. Crop tolerance. **California Agriculture**, Berkeley, v. 38, n. 10, p. 20-21, Oct. 1984.

- MAAS, E. V.; HOFFMAN, G. J. Crop salt tolerance - current assessment. **Journal of Irrigation and drainage division**, New York, v. 103, n. 2, p. 115-134, Mar./Apr. 1977.
- MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ed. Agrônômica Ceres, 1980. 251 p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.
- MAHAN, B. H. **Química um curso universitário**. São Paulo: Edgar Blücher, 1995. 654 p.
- MANCHANDA, H. R.; SHARMA, S. K.; BHANDARI, D. K. Respose of barley and wheat to phosphorus in the presence of Cl and sulfate salinity. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 66, n. 2, p. 233-241, 1982.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. London: Academic, 1995. p. 596-657.
- MATOH, T.; KAIRUSMEE, P.; TAKAHASHI, E. Salt-induced damage to rice plants and alteration effect on silicate. **Soil Science Plant Nutrition**. Tokyo, v. 32, n. 2, p. 295-304, June 1986.
- MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. 5. ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2001. 849 p.
- MIRANDA, J. R. P. de. **Silício e cloreto de sódio na nutrição mineral e produção de matéria seca de plantas de cajueiro anão-precoce (*Anacardium occidentale L.*) e de moringa (*Moringa oleifera Lam.*)**. 2000. 186 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.
- MIRANDA J. R. P.; CARVALHO, J. G.; SANTOS, D. R.; FREIRE, A. L. O.; BERTONI, J. C.; MELO, J. R. M.; CALDAS, A. L. Silício e cloreto de sódio na nutrição mineral e produção de matéria seca de plantas de moringa (*Moringa oleifera Lam.*). **Revista brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 26, n. 4, p. 957-965, out./dez. 2002.
- MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Effect of silicon on the growth of soybean plants in the solution-culture. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 29, n. 1, p. 71-83, 1983.

MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Effect of silicon on the growth of solution-cultured cucumber plant. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 31, n. 4, p. 625-636, Dec. 1985.

MONTES, W. B.; HERNANDEZ, F. F. F.; LACERDA, C. F.; NESS, R. L. L. Crescimento e teores de minerais em plantas jovens de duas cultivares de bananeira submetidas a estresse salino. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 35, p. 157-164, out. 2004. Especial.

MUNNS, R. Comparative physiology of salt and water stress. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 25, n. 2, p. 239-250, Feb. 2002.

MUNNS, R. Physiological processes limiting plant growth in saline soils: some dogmas and hypotheses. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 16, n. 1, p. 15-24, Jan. 1993.

MUNNS, R.; TERMAAT, A. Whole plant responses to salinity. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v. 13, n. 1, p. 143-160, 1986.

NAIDU, R.; RENGASAMY, P. Íon interactions and constraints to plant nutrition in Australian sodic soils. **Australian Journal of Soil Research**, Victoria, v. 31, n. 6, p. 801-819, 1993.

NEVES, O. S. C. **Nutrição mineral e crescimento de mudas de umbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arr. Cam.), em solução nutritiva, em função de níveis de salinidade**. 2003. 70 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

NOBRE, A. P.; SILVA, M. C. C. da.; MIRANDA, J. R. P. de.; BRUNO, G. B. CARVALHO, J. G.; RODOLFO JÚNIOR, F. Avaliação do silício como atenuador dos efeitos do NaCl no crescimento e nos teores de N, P e K, em plantas de sorgo e milho. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS – FERTBIO, 26., 2004, Lages, SC. **Resumos expandidos...** Lages, SC, 2004. 1CD-ROM.

OKUDA, A.; TAKAHASHI, E. The role of silicon. I: the mineral nutrition of the rice plant. In: SYMPOSIUM AT THE INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE, 1964, Manila. **Proceedings...** Manila: IRRI, 1964. p. 123-146.

	SiO <sub>2</sub> .....	156
TABELA 10	Resumo das análises de variância do acúmulo Mn e Zn raízes de maracujazeiro amarelo, submetidas à solução nutritiva com níveis de NaCl e SiO <sub>2</sub> .....	156
TABELA 11	Resumo das análises de variância do acúmulo de B, Cu e Fe no caule de maracujazeiro amarelo, submetidas à solução nutritiva com níveis de NaCl e SiO <sub>2</sub> .....	157
TABELA 12	Resumo das análises de variância do acúmulo de Mn e Zn no caule de maracujazeiro amarelo, submetidas à solução nutritiva com níveis de NaCl e SiO <sub>2</sub> .....	157
TABELA 13	Resumo das análises de variância do acúmulo de B, Cu e Fe nas folhas de maracujazeiro amarelo, submetidas à solução nutritiva com níveis de NaCl e SiO <sub>2</sub> .....	158
TABELA 14	Resumo das análises de variância do acúmulo de Mn e Zn nas folhas de maracujazeiro amarelo, submetidas à solução nutritiva com níveis de NaCl e SiO <sub>2</sub> .....	158
TABELA 15	Resumo das análises de variância do acúmulo de Na, SiO <sub>2</sub> e Cl nas raízes de maracujazeiro amarelo, submetidas à solução nutritiva com níveis de NaCl e SiO <sub>2</sub> .....	159
TABELA 16	Resumo das análises de variância do acúmulo de Na, SiO <sub>2</sub> e Cl no caule de maracujazeiro amarelo, submetidas à solução nutritiva com níveis de NaCl e SiO <sub>2</sub> .....	159
TABELA 17	Resumo das análises de variância do acúmulo de Na, SiO <sub>2</sub> e Cl as folhas de maracujazeiro amarelo, submetidas à solução nutritiva com níveis de NaCl e SiO <sub>2</sub> .....	160
TABELA 18	Resumo das análises de variância das relações Na/K, Na/Ca e Na/Mg nas raízes de maracujazeiro amarelo, submetidas à solução nutritiva com níveis de NaCl e SiO <sub>2</sub> .....	160
TABELA 19	Resumo das análises de variância das relações Na/K, Na/Ca e Na/Mg nas folhas de maracujazeiro amarelo, submetidas à solução nutritiva com níveis de NaCl e SiO <sub>2</sub> .....	161

## ANEXOS

### Página

TABELA 1	Resumo das análises de variância para diâmetro do caule e altura do maracujazeiro amarelo submetidas à solução nutritiva com níveis de NaCl e SiO <sub>2</sub> .....	152
TABELA 2	Resumo das análises de variância para matéria seca da raiz, matéria seca do caule e matéria seca da folha de maracujazeiro amarelo submetidas à solução nutritiva com níveis de NaCl e SiO <sub>2</sub> .....	152
TABELA 3	Resumo das análises de variância do acúmulo de N, P e K nas raízes de maracujazeiro amarelo, submetidas à solução nutritiva com níveis de NaCl e SiO <sub>2</sub> .....	153
TABELA 4	Resumo das análises de variância do acúmulo de Ca, Mg e S nas raízes de maracujazeiro amarelo, submetidas à solução nutritiva com níveis de NaCl e SiO <sub>2</sub> .....	153
TABELA 5	Resumo das análises de variância do acúmulo de N, P e K no caule de maracujazeiro amarelo, submetidas à solução nutritiva com níveis de NaCl e SiO <sub>2</sub> .....	154
TABELA 6	Resumo das análises de variância do acúmulo de Ca, Mg e S no caule de maracujazeiro amarelo, submetidas à solução nutritiva com níveis de NaCl e SiO <sub>2</sub> .....	154
TABELA 7	Resumo das análises de variância do acúmulo de N, P e K nas folhas de maracujazeiro amarelo, submetidas à solução nutritiva com níveis de NaCl e SiO <sub>2</sub> .....	155
TABELA 8	Resumo das análises de variância do acúmulo de Ca, Mg e S nas folhas de maracujazeiro, amarelo submetidas à solução nutritiva com níveis de NaCl e SiO <sub>2</sub> .....	155
TABELA 09	Resumo das análises de variância do acúmulo de B, Cu e Fe nas raízes de maracujazeiro amarelo, submetidas à solução nutritiva com níveis de NaCl e	

SILVA, M. C. C. da. **Silício como atenuador dos efeitos da salinidade no crescimento e nutrição mineral do sorgo e do milho.** 2004. 47 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal da Paraíba – UFPB - Areia.

SOARES, F. A. L. **Comportamento do Maracujazeiro amarelo sob condições de estresse salino.** 2001. 144 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal de Paraíba, Campina Grande.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal.** 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

TÁVORA, F. J. A. F.; LIMA, E. C. C.; HERNANDEZ, F. F. F. Composição mineral das raízes, caule e folhas em plantas jovens de graviola submetidas a estresse salino. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 35, n. 1 p. 44-51, jan./jun. 2004.

TOKURA, A. M. **Efeito do silício nas frações fosfatadas de solos cultivados com arroz e feijoeiro.** 2004. 125 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição Mineral de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

VAN DER VORN, D. J. Uptake of Si by plants species, as influenced by variations in Si-supply. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 56, n. 2, p. 153-156, 1980.

YAHYA, A. Salinity effects on growth and on uptake and distribution of sodium and some essential mineral nutrients in sesame. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 21, n. 7, p. 1439-1451, 1998.

PEREZ-ALFOCEA, F.; ESTAN, M. T.; SANTA CRUZ, A.; BOLARIN, M. C. Effect of salinity on nutrient, total nitrogen, soluble protein and free amino acid levels in tomato plants. **Journal of Horticultural Science**, Ashford, v. 68, n. 6, p. 1021-1027, Nov. 1993.

QUADIR, M.; QURESHI, R. H.; AL-LMAD, N. Horizontal flushing: a promising ameliorative technology for hard saline-sodic and sodic soils. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 45, n. 1/2, p. 119-131, May 1998.

QUAGGIO, J. A.; PIZA JUNIOR, C. T. Nutrição mineral e adubação da cultura do maracujá. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE A CULTURA DO MARACUJAZEIRO, 5., 1998, Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal: Funep, 1998. p.130-156.

RHOADES, J. D.; KANDIAH, A.; MARSHALI, A. M. **Uso de águas salinas para produção agrícola (FAO 48)**. Campina Grande: UFPB, 2000. 117 p.

RICHARDS, L. A. **Diagnósticos e recuperacion de suelos salinos y sódicos**. Washington: USDA, 1954. 172 p.

RUGIERO, C.; DURII, J. F.; GOES, A. de. In: RUGGIERO, C. (Ed). **Maracujá - do plantio a colheita**. Jaboticabal: FCAVISBF, 1998. 388 p.

SANTOS, G. H.; KORNDÖRFER, G. H.; REIS FILHO, J. C. D.; PELÚZIO, J. M. Adubação com silício: influência sobre as principais doenças e sobre a produtividade do arroz irrigado por inundação. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 50, n. 287, p. 1-8, jan./fev. 2003.

SANTOS, R. V. dos.; MURAOKA, T. Interações salinidade e fertilidade do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 26., 1997, Campina Grande. **Manejo e Controle da Salinidade na agricultura irrigada**. Campina Grande: UFPB/SBEA, 1997. Cap. 9, p. 289-317.

SATTI, S. M. E.; LOPEZ, M.; AL-RAWHY, S. A. Effects of saline nutrient solution on the growth and accumulation of mineral elements in some tomato cultivars. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 26, n. 17/18, p. 2097-2106, 1995.

SILVA, J. A. Possible mechanisms for crop response to silicate applications. In: SYMPOSIUM ON SOIL FERTILITY AND EVALUATION, 1971, Honolulu. **Proceedings...** New Delhi, 1971. p. 805-815.

TABELA 20	Resumo das análises de variância da translocação do N, P e K à parte aérea do maracujazeiro amarelo, submetidas à solução nutritiva com níveis de NaCl e SiO <sub>2</sub> .....	161
TABELA 21	Resumo das análises de variância da translocação do Ca, Mg e S à parte aérea do maracujazeiro amarelo, submetidas à solução nutritiva com níveis de NaCl e SiO <sub>2</sub> .....	162
TABELA 22	Resumo das análises de variância da translocação do B, Cu e Fe à parte aérea do maracujazeiro amarelo, submetidas à solução nutritiva com níveis de NaCl e SiO <sub>2</sub> .....	162
TABELA 23	Resumo das análises de variância da translocação do Mn e Zn à parte aérea do maracujazeiro amarelo, submetidas à solução nutritiva com níveis de NaCl e SiO <sub>2</sub> .....	163
TABELA 24	Resumo das análises de variância da translocação do Na, SiO <sub>2</sub> e Cl à parte aérea do maracujazeiro amarelo, submetidas à solução nutritiva com níveis de NaCl e SiO <sub>2</sub> .....	163

**TABELA 1** Resumo das análises de variância para diâmetro do caule e altura do maracujazeiro amarelo, submetidas à solução nutritiva com níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub>.

FV	G.L	QUADRADO MÉDIO	
		Diâmetro	Altura
NaCl	4	0,135833**	16259,518750**
SiO <sub>2</sub>	3	0,017998*	60,545833 <sup>ns</sup>
NaCl*SiO <sub>2</sub>	12	0,015388**	137,41017 <sup>ns</sup>
Resíduo	60	0,005610	89,354167
total	79		
CV(%)		12,06	5,75

(\*\*) significativo a 1%. (ns) não significativo.

**TABELA 2** Resumo das análises de variância para matéria seca da raiz (MSR), matéria seca do caule (MSC) e matéria seca da folha (MSF) de maracujazeiro amarelo, submetidas à solução nutritiva com níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub>.

FV	G.L	QUADRADO MÉDIO		
		MSR	MSC	MSF
NaCl	4	6,606250**	67,031250**	370,606250**
SiO <sub>2</sub>	3	0,245833 <sup>ns</sup>	0,950000**	19,745833**
NaCl*SiO <sub>2</sub>	12	0,547917**	1,356250**	3,464583**
Resíduo	60	0,137500	0,191667	
Total	79			
CV (%)		12,84	6,87	7,01

(\*\*) significativo a 1%. (ns) não significativo.

**TABELA 4** Resumo das análises de variância do acúmulo de Ca, Mg e S nas raízes de maracujazeiro amarelo, submetidas à solução nutritiva com níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub>.

	GL	Ca	Mg	S
FV	4	0,025363**	0,002891**	0,006249**
NaCl	3	0,000542 <sup>ns</sup>	0,000552**	0,000932**
SiO <sub>2</sub>	12	0,001941**	0,000181 <sup>ns</sup>	0,000474**
NaCl*SiO <sub>2</sub>	60	0,000398	0,000108	0,000153
Resíduo	79	15,45	23,20	17,98
Total				
CV (%)				

(\*\*) significativo a 1%. (ns) não significativo.

**QUADRADO MEDIO**

	GL	N	P	K
FV	4	1,324800**	0,046174**	0,643294**
NaCl	3	0,054798**	0,007037**	0,020847 <sup>ns</sup>
SiO <sub>2</sub>	12	0,068799**	0,005786**	0,029793**
NaCl*SiO <sub>2</sub>	60	0,012541	0,001044	0,009300
Resíduo	79	11,91	18,12	14,03
Total				
CV (%)				

(\*\*) significativo a 1%. (ns) não significativo.

**TABELA 3** Resumo das análises de variância do acúmulo de N, P e K nas raízes de maracujazeiro amarelo, submetidas à solução nutritiva com níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub>.

**QUADRADO MEDIO**

**TABELA 6** Resumo das análises de variância do acúmulo de Ca, Mg e S no caule de maracujazeiro amarelo, submetidas à solução nutritiva com níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub>.

<b>QUADRADO MÉDIO</b>				
	Ca	Mg	S	
FV	G.L.	Mg	S	
NaCl	4	0,003398**	0,076354**	NaCl
SiO <sub>2</sub>	3	0,000547**	0,007664*	SiO <sub>2</sub>
NaCl*SiO <sub>2</sub>	12	0,000270**	0,005773*	NaCl*SiO <sub>2</sub>
Resíduo	60	0,000035	0,002470	Resíduo
Total	79	19,87	23,52	Total
CV (%)		13,72		CV (%)

(\*\*) significativo a 1%. (\*) significativo a 5%.

<b>QUADRADO MÉDIO</b>				
	N	P	K	
FV	G.L.	P <td>K <td></td> </td>	K <td></td>	
NaCl	4	0,284842**	0,846658**	NaCl
SiO <sub>2</sub>	3	0,037858**	0,137297**	SiO <sub>2</sub>
NaCl*SiO <sub>2</sub>	12	0,021557**	0,077780**	NaCl*SiO <sub>2</sub>
Resíduo	60	0,005581	0,010325	Resíduo
Total	79	17,74	13,25	Total
CV (%)		12,88		CV (%)

(\*\*) significativo a 1%.

**TABELA 5** Resumo das análises de variância do acúmulo de N, P e K no caule de maracujazeiro amarelo, submetidas à solução nutritiva com níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub>.

**TABELA 7** Resumo das análises de variância do acúmulo de N, P e K nas folhas de maracujazeiro amarelo, submetidas à solução nutritiva com níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub>.

FV	QUADRADO MÉDIO			
	G.L	N	P	K
NaCl	4	61,885023**	0,356270**	18,767275**
SiO <sub>2</sub>	3	6,927048**	0,079894**	0,965540**
NaCl*SiO <sub>2</sub>	12	1,071792**	0,008943 <sup>ns</sup>	0,193246 <sup>ns</sup>
Resíduo	60	0,412921		
Total	79			
CV (%)		12,23	18,70	12,58

(\*\*) significativo a 1%. (ns) não significativo.

**TABELA 8** Resumo das análises de variância do acúmulo de Ca, Mg e S nas folhas de maracujazeiro amarelo, submetidas à solução nutritiva com níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub>.

FV	QUADRADO MÉDIO			
	G.L	Ca	Mg	S
NaCl	4	9,027993**	0,083642**	0,320574**
SiO <sub>2</sub>	3	1,725846**	0,013397**	0,034621**
NaCl*SiO <sub>2</sub>	12	0,284777**	0,001991 <sup>ns</sup>	0,003996 <sup>ns</sup>
Resíduo	60	0,077747	0,001085	0,002333
Total	79			
CV (%)		15,34	21,50	12,40

(\*\*) significativo a 1%. (ns) não significativo.

**TABELA 10** Resumo das análises de variância do acúmulo de Mn e Zn nas raízes de maracujazeiro amarelo, submetidas à solução nutritiva com níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub>.

<b>QUADRADO MEDIO</b>			
FV	GL	Mn	Zn
NaCl	4	243,350326**	5,60012**
SiO <sub>2</sub>	3	286,221010**	0,738288**
NaCl*SiO <sub>2</sub>	12	70,319323**	0,457879**
Resíduo	60	4,207458	0,055208
Total	79		
CV (%)		16,67	16,68

(\*\*) significativo a 1%.

**TABELA 9** Resumo das análises de variância do acúmulo de B, Cu e Fe nas raízes de maracujazeiro amarelo, submetidas à solução nutritiva com níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub>.

<b>QUADRADO MEDIO</b>			
FV	GL	B	Cu
NaCl	4	0,613925**	0,074270**
SiO <sub>2</sub>	3	0,055389**	0,025588**
NaCl*SiO <sub>2</sub>	12	0,034700**	0,011789**
Resíduo	60	0,013888	0,002113
Total	79		
CV (%)		16,20	19,63

(\*\*) significativo a 1%.

**TABELA 11** Resumo das análises de variância do acúmulo de B, Cu e Fe no caule de maracujazeiro amarelo, submetidas à solução nutritiva com níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub>.

QUADRADO MEDIO							
FV	GL	B	Cu	Fe			
NaCl	4	1,529466**	0,082114**	1,88851**			
SiO <sub>2</sub>	3	0,230064**	0,010315**	0,213497**			
NaCl*SiO <sub>2</sub>	12	0,035469*	0,004690**	0,086879**			
Resíduo	60	0,035469	0,000963	0,011026			
Total	79	20,96	15,91	12,96			
CV (%)							

(\*\*) significativo a 1%.

QUADRADO MEDIO							
FV	GL	Mn	Zn				
NaCl	4	1,092491**	1,179083**				
SiO <sub>2</sub>	3	0,061198 <sup>ns</sup>	0,042266*				
NaCl*SiO <sub>2</sub>	12	0,083101**	0,076307**				
Resíduo	60	0,027537	0,01270				
Total	79	19,52	16,39				
CV (%)							

(\*\*) significativo a 1%. (\*) significativo a 5%.

**TABELA 13** Resumo das análises de variância do acúmulo de B, Cu e Fe nas folhas de maracujazeiro amarelo, submetidas à solução nutritiva com níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub>.

FV	QUADRADO MÉDIO			
	G.L	B	Cu	Fe
NaCl	4	76,794806**	0,308835**	113,741451**
SiO <sub>2</sub>	3	10,009746**	0,042058**	34,783242**
NaCl*SiO <sub>2</sub>	12	0,416377 <sup>ns</sup>	0,009329*	3,712400**
Resíduo	60	0,545662		1,054951
Total	79			
CV (%)		12,59	18,67	13,72

(\*\*) significativo a 1%. (ns) não significativo.

**TABELA 14** Resumo das análises de variância do acúmulo de Mn e Zn nas folhas de maracujazeiro amarelo, submetidas à solução nutritiva com níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub>.

FV	QUADRADO MÉDIO		
	G.L	Mn	Zn
NaCl	4	160,654656**	8,281752**
SiO <sub>2</sub>	3	52,503544**	2,194905**
NaCl*SiO <sub>2</sub>	12	10,374196**	0,740718**
Resíduo	60	0,803327	0,077715
Total	79		
CV (%)		10,53	15,26

(\*\*) significativo a 1%. (\*) significativo a 5%.

**TABELA 15** Resumo das análises de variância do acúmulo de Na, SiO<sub>2</sub> e Cl nas raízes de maracujazeiro amarelo, submetidas à solução nutritiva com níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub>.

FV	G.L	QUADRADO MÉDIO		
		Na	SiO <sub>2</sub>	Cl
NaCl	4	100539,499158**	4002,802234**	266961,494070*
SiO <sub>2</sub>	3	12,125057 <sup>ns</sup>	1938,132890**	1455,772591 <sup>ns</sup>
NaCl*SiO <sub>2</sub>	12	768,094901*	1723,556605**	11445,730924**
Resíduo	60	382,871740	334,931552	2660,667310
Total	79			
CV (%)		18,81	24,74	17,88

(\*\*) significativo a 1%. (ns) não significativo.

**TABELA 16** Resumo das análises de variância do acúmulo de Na, SiO<sub>2</sub> e Cl no caule de maracujazeiro amarelo, submetidas à solução nutritiva com níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub>.

FV	G.L	QUADRADO MÉDIO		
		Na	SiO <sub>2</sub>	Cl
NaCl	4	1680776,251555**	49030,962946**	991606,786738**
SiO <sub>2</sub>	3	148125,065154**	152949,707216**	79512,911999**
NaCl*SiO <sub>2</sub>	12	36205,642881**	6958,136046**	25191,285970 <sup>ns</sup>
Resíduo	60	2368,385362	577,427039	
Total	79			
CV (%)		8,04	16,23	24,14

(\*\*) significativo a 1%. (ns) não significativo.

**TABELA 17** Resumo das análises de variância do acúmulo de Na, SiO<sub>2</sub> e Cl nas folhas de maracujazeiro amarelo, submetidas à solução nutritiva com níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub>.

QUADRADO MÉDIO			
FV	G.L.	Na	SiO <sub>2</sub>
NaCl	4	15601204,427107**	354881,134825**
SiO <sub>2</sub>	3	82105,117891**	1334751,120703**
NaCl*SiO <sub>2</sub>	12	96224,316389**	43793,208097**
Resíduo	60	22989,43544	2350,786613
Total	79		
CV (%)		-9,70	11,80

(\*\*) significativo a 1%.

**TABELA 18** Resumo das análises de variância das relações Na/K, Na/Ca e Na/Mg nas raízes de maracujazeiro amarelo, submetidas à solução nutritiva com níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub>.

QUADRADO MÉDIO			
FV	G.L.	Na/K	Na/Ca
NaCl	4	0,771519**	26,435593**
SiO <sub>2</sub>	3	0,004855**	0,309989*
NaCl*SiO <sub>2</sub>	12	0,003653**	0,254287**
Resíduo	60	0,001458	
Total	79		
CV (%)		18,73	25,63

(\*\*) significativo a 1%. (\*) significativo a 5%. (ns) não significativo.

**TABELA 20** Resumo das análises de variância da translocação do N, P e K à parte aérea do maracujazeiro amarelo, submetidas à solução nutritiva com níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub>.

QUADRADO MEDIO				
FV	GL	N	P	K
NaCl	4	133,658309**	174,807359**	244,615775**
SiO <sub>2</sub>	3	27,559171**	13,382318 <sup>ns</sup>	18,695567 <sup>ns</sup>
NaCl*SiO <sub>2</sub>	12	18,709258**	19,391217**	8,639887 <sup>ns</sup>
Resíduo	60	3,110000	6,053496	6,808829
Total	79			
CV (%)		2,05	3,02	3,18

(\*\*) significativo a 1%. (ns) não significativo.

**TABELA 19** Resumo das análises de variância das relações Na/K, Na/Ca e Na/Mg nas folhas de maracujazeiro amarelo, submetidas à solução nutritiva com níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub>.

QUADRADO MEDIO				
FV	GL	Na/K	Na/Ca	Na/Mg
NaCl	4	5,512752**	11,639757**	2475,770051**
SiO <sub>2</sub>	3	0,046104 <sup>ns</sup>	0,362145**	118,105208**
NaCl*SiO <sub>2</sub>	12	0,039328 <sup>ns</sup>	0,040645 <sup>ns</sup>	22,757097 <sup>ns</sup>
Resíduo	60	0,028132	0,057791	21,191670
Total	79			
CV (%)		21,22	20,80	29,65

(\*\*) significativo a 1%. (ns) não significativo.

**TABELA 21** Resumo das análises de variância da translocação do Ca, Mg e S à parte aérea do maracujazeiro amarelo, submetidas à solução nutritiva com níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub>.

FV	G.L	QUADRADO MÉDIO		
		Ca	Mg	S
NaCl	4	33,605222**	482,959229**	75,913667**
SiO <sub>2</sub>	3	10,073383**	87,270695*	7,525562 <sup>ns</sup>
NaCl*SiO <sub>2</sub>	12	2,045547 <sup>ns</sup>	24,282638 <sup>ns</sup>	4,006110 <sup>ns</sup>
Resíduo	60	1,552438	27,721974	3,817390
Total	79			
CV (%)		1,33	6,63	2,19

(\*\*) significativo a 1%. (\*) significativo a 5%. (ns) não significativo.

**TABELA 22** Resumo das análises de variância da translocação do B, Cu e Fe à parte aérea do maracujazeiro amarelo, submetidas à solução nutritiva com níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub>.

FV	G.L	QUADRADO MÉDIO		
		B	Cu	Fe
NaCl	4	90,764101**	584,097691**	1288,083290**
SiO <sub>2</sub>	3	25,002941**	288,104978**	322,205642**
NaCl*SiO <sub>2</sub>	12	17,603678**	150,409270**	92,102408**
Resíduo	60	3,457365	19,813760	15,463844
Total	79			
CV (%)		2,08	6,52	7,61

(\*\*) significativo a 1%. (\*) significativo a 5%. (ns) não significativo.

**TABELA 24** Resumo das análises de variância da translocação do Na, SiO<sub>2</sub> e Cl à parte aérea do maracujazeiro amarelo, submetidas à solução nutritiva com níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub>.

<b>QUADRADO MÉDIO</b>				
FV	GL	Na	SiO <sub>2</sub>	Cl
NaCl	4	198,896404**	603,747769**	84,291395**
SiO <sub>2</sub>	3	45,212847**	9498,175162**	3,940600 <sup>ns</sup>
NaCl*SiO <sub>2</sub>	12	46,237887**	384,948811**	32,253367**
Resíduo	60	2,311328	28,119282	3,067664
Total	79			
CV (%)		1,61	6,76	1,92

(\*\*) significativo a 1%. (\*) significativo a 5%. (ns) não significativo.

**TABELA 23** Resumo das análises de variância da translocação do Mn e Zn à parte aérea do maracujazeiro amarelo, submetidas à solução nutritiva com níveis de NaCl e SiO<sub>2</sub>.

<b>QUADRADO MÉDIO</b>				
FV	GL	Mn	Zn	
NaCl	4	160,654656**	8,281752**	
SiO <sub>2</sub>	3	52,503544**	2,194905**	
NaCl*SiO <sub>2</sub>	12	10,374196**	0,740718**	
Resíduo	60	0,803327	0,077715	
Total	79			
CV (%)		10,53	15,26	

(\*\*) significativo a 1%. (\*) significativo a 5%.

