



BÁRBARA NOGUEIRA DE SOUZA

**SILÍCIO NO DESENVOLVIMENTO
MORFOFISIOLÓGICO DE MUDAS DE
MARACUJAZEIRO AMARELO**

LAVRAS - MG

2015

BÁRBARA NOGUEIRA DE SOUZA

**SILÍCIO NO DESENVOLVIMENTO MORFOFISIOLÓGICO DE
MUDAS DE MARACUJAZEIRO AMARELO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador

Dr. Moacir Pasqual

LAVRAS - MG

2015

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Souza, Bárbara Nogueira de.

Silício no desenvolvimento morfofisiológico de mudas de
maracujazeiro amarelo / Bárbara Nogueira de Souza. – Lavras:
UFLA, 2015.

79 p.: il.

Dissertação (mestrado acadêmico)—Universidade Federal de
Lavras, 2015.

Orientador(a): Moacir Pasqual.

Bibliografia.

1. Ácido Silícico. 2. Citometria de Fluxo. 3. Anatomia Foliar. I.
Universidade Federal de Lavras. II. Título.

BÁRBARA NOGUEIRA DE SOUZA

**SILÍCIO NO DESENVOLVIMENTO MORFOFISIOLÓGICO DE
MUDAS DE MARACUJAZEIRO AMARELO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 11 de fevereiro de 2015.

Dr. Ângelo Alberico Alvarenga EPAMIG

Dra. Leila Aparecida Salles Pio UFLA

Dr. Moacir Pasqual
Orientador

Dra. Gabrielen de Maria Gomes Dias
Coorientadora

LAVRAS - MG

2015

*À minha mãe, Mara, e ao meu padrasto, Carlos;
Às minhas irmãs, Alexandra e Mariana;
Ao meu noivo, Irton,
por tanto amor, dedicação, confiança, incentivo e apoio.*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus. Pelo dom da vida, por estar sempre presente me abençoando e por me proporcionar essa grande vitória.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), pela oportunidade concedida para a realização desse mestrado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro.

Ao meu orientador, Dr. Moacir Pasqual, pela orientação, confiança, disponibilidade e paciência.

À minha coorientadora, Dra. Gabrielen de Maria Gomes Dias, pelos ensinamentos, confiança, carinho, apoio e colaboração durante o mestrado.

Aos membros da banca examinadora, Dra. Leila Aparecida Salles Pio e Dr. Ângelo Alberico Alvarenga, que gentilmente aceitaram o convite para a avaliação deste trabalho.

A todos do laboratório de Cultura de Tecidos Vegetais, pelos ensinamentos e pelos momentos de descontração.

Aos laboratoristas, Vantuil e Claret, pela atenção, carinho, ensinamentos, e pelos momentos de descontração.

À Marli, secretária da Pós-Graduação em Fitotecnia, pela atenção e apoio.

Aos meus amigos, Adalvan, Franscinely, Mirielle, Gabrielen, Rayane, Carolina, Daniel, Paula, Natália, Guilherme e Neilton, pela amizade, companheirismo, ensinamentos e momentos de muitas risadas e descontração.

À minha família, que acreditou em mim, que me ama e que me apoia sempre.

Ao meu noivo, Irton, pelo apoio, ensinamentos, companheirismo, carinho e dedicação.

Enfim, a todos, em especial àqueles que não foram citados, e que de alguma forma contribuíram para minha formação pessoal e profissional.

Muito Obrigada!

“Pouca Ciência torna os homens orgulhosos; muita Ciência torna-os humildes. Assim, as espigas vazias elevam a cabeça soberba, enquanto as cheias inclinam-se humildemente a terra” (Anônimo)

RESUMO

O objetivo do trabalho foi melhorar a qualidade final das mudas de maracujazeiro amarelo pela adição de silício ao substrato, e verificar o acúmulo de silício pelas plantas. O experimento foi desenvolvido em casa de vegetação, localizada no Departamento de Agricultura, da Universidade Federal de Lavras (UFLA). Sementes de maracujazeiro (*Passiflora edulis* Sims. f. *flavicarpa* Deg.) foram semeadas em bandejas de poliestireno até que atingissem porte suficiente para serem transplantadas para vasos. Após 60 dias, as mudas com aproximadamente 15 cm de altura, foram transplantadas para vasos de polietileno contendo 1,1 kg de substrato Tropstrato[®]. As mudas dispostas aleatoriamente sobre a bancada da casa de vegetação foram irrigadas diariamente, a fim de suprir suas necessidades hídricas. Os tratamentos consistiram de quatro concentrações (0; 0,28; 0,55 e 0,83 g/vaso) de silício na forma de solução de ácido silícico ($\text{SiO}_2 \cdot \text{XH}_2\text{O}$) a 1%. Esta solução foi aplicada ao redor do caule das plantas (*drench*), sendo a primeira aplicação realizada 15 dias após o transplante das mudas. No total, foram realizadas três aplicações, em intervalos de 15 dias. Os vasos que constituíram o controle (testemunha) receberam água na mesma quantidade. Após a última aplicação, as plantas foram submetidas a análise química de concentração de silício, microanálise de raios X, citometria de fluxo, anatomia, atividade fotossintética, características ultraestruturais e às análises fitotécnicas. Pode-se concluir que o silício proporciona melhor crescimento e desenvolvimento das mudas de maracujazeiro, entre as concentrações 0,28 e 0,55 g/vaso, a absorção de silício e sua deposição nas folhas de maracujazeiro são proporcionais a disponibilidade desse elemento para a planta, e a estabilidade genética, é preservada nas plantas de maracujazeiro tratadas com silício. Além disso, este elemento proporciona alterações anatômicas, como o aumento da espessura da epiderme adaxial e a redução do parênquima paliçádico, interferindo também no aparato fotossintético das plantas.

Palavras-chave: Ácido silícico. Citometria de fluxo. Anatomia foliar.

ABSTRACT

The aim of this study was to improve the final quality of the seedlings of yellow passion fruit by adding silicon to the substrate and check the silicon accumulation by the plants. The experiment was conducted in a greenhouse located at the Department of Agriculture, Federal University of Lavras (UFLA). Passion fruit seeds (*Passiflora edulis* Sims. F. *Flavicarpa* Deg.) were sown in polystyrene trays until sized reached enough to be transplanted to pots. After 60 days the seedlings with about 15 cm of tall were transplanted in a plastic pots containing 1.1 kg of Tropstrato® substrate. The seedlings randomly arranged on the counter in greenhouse were irrigated daily in order to supplement their water needs. The treatments consisted of four concentrations (0, 0.28, 0.55 and 0.83 g / pot) of silicon in the form of silicic acid solution ($\text{SiO}_2 \cdot \text{XH}_2\text{O}$) 1%. This solution was applied around the stems of the plants (drench), the first application were at 15 days after the seedlings transplanting. In total were realized three applications with intervals of 15 days. The pots that constituted the control treatment received water in the same amount. After the last application, the plants were subjected to chemical analysis of silicon concentration, X-ray microanalysis, flow cytometry, anatomy, photosynthetic activity, ultrastructural characteristics and analysis phytotechnical. It can be concluded that silicon provides better growth and development of seedlings, concentrations between 0.28 and 0.55 g / pot, the silicon absorption and deposition in passion fruit leaves are proportional to the availability of this element for the plant and plant genetic stability is preserved in the passion fruit treated with silicon. Furthermore, this element provides anatomical changes, such as increasing the thickness of the adaxial epidermis and the reduction of palisade parenchyma, also interfering in the photosynthetic apparatus of plants.

Keywords: Silicic acid. Flow cytometry. Leaf anatomy.

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2

- Tabela 1 Massa seca do caule, número, comprimento e largura de folhas de mudas de maracujazeiro (*Passiflora edulis* Sims. f. *flavicarpa* Deg.), submetidas a diferentes concentrações de silício. (Lavras, 2014)44
- Tabela 2 Análise química do percentual de silício em folha, caule e raiz de maracujazeiro (*Passiflora edulis* f. *Flavicarpa* Deg.) submetidas a diferentes concentrações de silício. (Lavras, 2014)47
- Tabela 3 Quantificação de DNA de folhas de maracujazeiro (*Passiflora edulis* f. *Flavicarpa* Deg.) analisados por citometria de fluxo. (Lavras, 2014)48

CAPÍTULO 3

- Tabela 1 Taxa fotossintética (A), carbono interno (Ci), transpiratória (E), condutância estomática (Gs) e relação carbono interno e externo (Ci/Ca), em folha de mudas de maracujazeiro (*Passiflora edulis* f. *Flavicarpa* O.Deg.) submetidas a diferentes concentrações de silício. (Lavras, 2014)66
- Tabela 2 Caracteres anatômicos de folhas de maracujazeiro (*Passiflora edulis* Sims. f. *flavicarpa* Deg.), mesófilo, parênquima esponjoso (PE), nervura central (NC), epiderme abaxial (EAB), diâmetro equatorial (DE), diâmetro polar (DP) dos estômatos e relação DP/DE. (Lavras, 2014) 68

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 2

- Figura 1 Mapeamento para silício da epiderme abaxial de folhas de *Passiflora edulis* fo. *Flavicarpa* O.Deg., mostrando a presença de silício. A) Testemunha: mostrando mapeamento de vários elementos e ausência de silício; B) 0,28 g/vaso; C) 0,55 g/vaso; D) 0,83 g/vaso de silício. (Lavras, 2014).....46
- Figura 2 Histogramas obtidos pela análise de citometria em maracujazeiro (*Passiflora edulis* Sims. f. *Flavicarpa* Deg.). a) Testemunha; b) 0,28 g/vaso; c) 0,55 g/vaso; d) 0,83 g/vaso de silício. (Lavras 2014).....50

CAPÍTULO 3

- Figura 1 Fitomicrografias de secções transversais da lâmina foliar de *Passiflora edulis* Sims. f. *flavicarpa* Deg., submetidas a diferentes concentrações de silício. a) e b) Testemunha; c) e d) 0,28 g/vaso; e) e f) 0,55 g/vaso; g) e h) 0,83 g/vaso de silício. (Lavras, 2014)73
- Figura 2 Fitomicrografias de secções paradérmicas evidenciando estômatos da face abaxial de folhas de *Passiflora edulis* Sims. f. *flavicarpa* Deg., submetidas a diferentes concentrações de silício. a) Testemunha; b) 0,28 g/vaso; c) 0,55 g/vaso; d) 0,83 g/vaso de silício. (Lavras, 2014)73
- Figura 3 Eletromicrografias de varredura do aspecto da epiderme abaxial de folhas de *Passiflora edulis* f. *Flavicarpa* O.Deg., submetidas a diferentes concentrações de silício. a) Testemunha; b) 0,28 g/vaso; c) 0,55 g/vaso; d) 0,83 g/vaso de silício. (Lavras, 2014).....73

LISTA DE GRÁFICOS

CAPÍTULO 2

Gráfico 1 Características fitotécnicas de mudas de maracujazeiro (*Passiflora edulis* Sims. f. *flavicarpa* Deg.), submetidas a diferentes concentrações de silício. (Lavras, 2014)41

Gráfico 2 Quantificação do silício em folhas de maracujazeiro (*Passiflora edulis* Sims. f. *flavicarpa* Deg.) por meio de microanálise de raio X submetidas a diferentes concentrações de silício. (Lavras, 2014)45

CAPÍTULO 3

Gráfico 2 Caracteres anatômicos de folhas de maracujazeiro (*Passiflora edulis* Sims. f. *flavicarpa* Deg.), submetidas a diferentes concentrações de silício. (Lavras, 2014)
.....69

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO Introdução geral.....	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1	Classificação botânica	16
2.2	Importância econômica	16
2.3	Silício	18
2.4	Atividade fotossintética	21
2.5	Anatomia foliar	22
2.6	Microscopia eletrônica	22
2.7	Microanálise de raios X	23
2.8	Citometria de fluxo	24
	REFERÊNCIAS	26
	CAPÍTULO 2 Silício no crescimento, morfologia e conteúdo de DNA de mudas de maracujazeiro	33
1	INTRODUÇÃO	35
2	MATERIAL E MÉTODOS	37
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
4	CONCLUSÕES	51
	REFERÊNCIAS	52
	CAPÍTULO 3 Silício na fotossíntese foliar de mudas de maracujazeiro	59
1	INTRODUÇÃO	61
2	MATERIAL E MÉTODOS	63
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	66
4	CONCLUSÕES	74
	REFERÊNCIAS	75

1 INTRODUÇÃO

Introdução geral

O mercado de frutas é um dos mais prósperos do território brasileiro, principalmente, devido as condições climáticas favoráveis, que aliadas as inovações tecnológicas, tornam o maracujazeiro amarelo uma fonte de renda para o pequeno produtor durante o ano todo, com mercado voltado para o consumo de fruto *in natura* e a produção de suco concentrado. O Brasil é o maior produtor mundial de maracujá-amarelo, com aproximadamente 61.631 ha de área cultivada (AGRIANUAL, 2014), sendo a região nordeste a maior produtora (MELETTI, 2011). No entanto, esta cultura está sujeita a doenças de origem fúngica, bacteriana, às causadas por fitoplasmas, nematóides e, principalmente, àquelas induzidas por vírus (ANJOS et al., 2001; CHAGAS; COLARICCIO, 2006; FISCHER; REZENDE, 2008).

No Brasil, apenas duas espécies de maracujazeiros são de interesse comercial, *Passiflora edulis* utilizada na produção de suco, e *Passiflora alata* para consumo *in natura*. Esta última, também é explorada comercialmente como ornamental, e o extrato de suas folhas é utilizado na formulação de alguns fitoterápicos (DOYAMA et al., 2005).

A propagação do maracujazeiro pode ser realizada sexuadamente ou assexuadamente, por meio de enxertia ou estaquia. No entanto, a propagação seminífera é a preferida, em detrimento aos métodos assexuados, pela facilidade e antecipação da formação das mudas (FERREIRA, 2000), razão pela qual, se torna importante conhecer e melhorar o desenvolvimento e crescimento na produção de mudas, em escala comercial, de maneira mais eficiente.

Para uma maior eficiência nas técnicas de propagação do maracujazeiro, foi adicionado silício ao substrato em casa de vegetação. A adição de silício ao substrato poderá auxiliar na obtenção de mudas mais vigorosas. Seu uso

contribui para a qualidade final do vegetal, pois, seu acúmulo na cutícula das folhas permite proteção às plantas, aumento da capacidade fotossintética, redução de perda de água, e ainda promove maior crescimento.

Diante do exposto, o objetivo do trabalho foi melhorar a qualidade final das mudas de maracujazeiro amarelo, pela adição de silício ao substrato, e verificar o acúmulo de silício pelas plantas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Classificação botânica

O gênero *Passiflora* L. (Passifloraceae, tribo *Passiflorieae*), possui aproximadamente 520 espécies, distribuídas principalmente em regiões tropicais e subtropicais, sendo cerca de 150 espécies do Brasil (CERVI, 2005). Das espécies já descritas, *Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Deg. (maracujá-amarelo ou maracujá-azedo), *P. edulis* fo. *edulis* Sims (maracujá-roxo), *Passiflora alata* Curtis (maracujá-doce), *Passiflora ligularis* Juss. e *Passiflora quadrangularis* L., são as mais difundidas e cultivadas comercialmente (MELETTI, 2011).

O maracujazeiro (*Passiflora* spp.) é uma planta trepadeira, sublenhosa, que produz frutos em bagas, e pertence à Malpighiales, Passifloraceae, Passiflorae (CUNHA et al., 2004). As formas de passiflora descritas são todas sinônimas, o nome aceito segundo a Lista do Brasil seria *Passiflora edulis* Sims. A Passifloraceae abrange cerca de 20 gêneros e 600 espécies, distribuídas em regiões de clima quente, como nas Américas e na Ásia (SOUZA; LORENZI, 2005).

2.2 Importância econômica

A fruticultura é um dos investimentos mais atrativos da agricultura brasileira, devido as condições de clima favoráveis do país, que permite a produção de frutas durante o ano inteiro, e a geração de renda em áreas relativamente pequenas (NASCIMENTO, 2003). Mudanças nos padrões de demanda da sociedade, acompanhadas por inovações tecnológicas, têm permitido o crescimento do mercado de frutas e derivados, a taxas superiores às dos demais produtos agrícolas (ANDRADE; RIBEIRO; JUNGHANS, 2010).

Assim, a cultura do maracujá tem ocupado uma posição de destaque na fruticultura brasileira, mesmo quando comparado a outras frutas tropicais com maior tradição de consumo (MELETTI; OLIVEIRA; RUGGIERO, 2010).

A partir do final da década de 60, ocorreu grande expansão da cultura do maracujazeiro no Brasil. A produção de maracujá possui grande importância econômica e social, sendo que o Brasil, atualmente, ocupa a primeira posição em termos de produção mundial, com cultivos em quase todos os estados da federação (AGRIANUAL, 2014; MELETTI; OLIVEIRA; RUGGIERO, 2010). Apesar do investimento inicial elevado, o pequeno produtor encontra na cultura do maracujazeiro, uma base de sustentação para a sua família e sua propriedade, e uma opção técnica economicamente viável, o que o leva a contar com produção o ano inteiro. Foi assim que a cultura se desenvolveu, e, até hoje, a agricultura familiar tem sido responsável pela expansão dos pomares comerciais (MELETTI, 2011). Assim, a cultura do maracujá, desempenha uma função social importante, e garante um nível de emprego razoável no campo e na indústria (MELETTI, 2011).

Em 2011, os estados da Bahia, Espírito Santo, São Paulo e Minas Gerais, eram os principais produtores, e representavam 58,1% da produção nacional. Atualmente, o Brasil apresenta produção de 923.035 mil toneladas numa área aproximada de 61.631 ha (AGRIANUAL, 2014). Em 2011, as regiões Nordeste e Sudeste, foram responsáveis por 87,82 % da produção nacional, com estimativas de 46.153 e 7.655 hectares de área colhida, respectivamente, e o estado da Bahia é o maior produtor nacional (AGRIANUAL, 2014).

O maracujazeiro pode ser propagado por sementes, ou vegetativamente, por enxertia ou estaquia (SÃO JOSÉ, 1994).

Apesar da importância econômica e social para o país, o cultivo do maracujazeiro ainda é prejudicado devido a problemas fitossanitários que resultam em rendimentos limitados.

2.3 Silício

O silício (Si) é considerado um elemento agronomicamente benéfico para muitas monocotiledôneas, tais como, arroz, cana-de-açúcar e cereais de inverno. Plantas que crescem em ambiente rico em silício, diferem daquelas presentes em condições de deficiência, principalmente quanto a composição química, a resistência mecânica das células, as características da superfície foliar, e a tolerância a vários tipos de estresses abióticos e ao ataque de pragas e patógenos (RODRIGUES, 2010).

O silício é um elemento benéfico para o crescimento da planta. Diversos benefícios do silício têm sido relatados, tais como, melhora da resistência a pragas e a patógenos, e à seca, tolerância a metais pesados e melhoria da qualidade das culturas agrícolas e produtividade, em uma grande variedade de espécies de plantas (FAUTEUX et al., 2005; LIANG et al., 2007; MA; YAMAJI, 2006, 2008; RICHMOND; SUSSMAN, 2003). Tem sido demonstrado, que o silício está relacionado ao aumento de clorofila e à melhoria no metabolismo da planta, ao aumento na tolerância das plantas a estresses ambientais, como frio, calor e seca, reduzindo o desequilíbrio de nutrientes e a toxicidade dos metais na planta, reforçando as paredes celulares de plantas e aumentando a resistência a patógenos e a pragas (EPSTEIN, 2001).

As plantas das famílias Poaceae, Ciperaceae e Equisetaceae, demonstram alto acúmulo de silício (>4% Si); Brassicaceae, Urticaceae e Commelinaceae demonstram acúmulo de silício intermediário (2-4% Si), enquanto a maioria das espécies demonstra acúmulo abaixo de 2% (HODSON et

al., 2005; MA; MIYAKEY; TAKAHASHI, 2002). Segundo Mitani; Ma (2005), plantas consideradas não acumuladoras, como tomate, por exemplo, têm menor densidade de transportadores de silício do apoplasto para o simplasto, e um defeito nos transportadores de silício das células do córtex para o xilema, comparadas às plantas acumuladoras.

Fatores de estresse, tanto bióticos quanto abióticos, induzem distúrbios fisiológicos que conduzem à perda do rendimento (DĘBICZ; WRÓBLEWSKA, 2011). Embora o silício não seja um elemento essencial para o crescimento e o desenvolvimento de plantas superiores, de acordo com Epstein (2001), sob condições de estresse, o tratamento com silício pode causar notável diferença no seu desempenho. Este elemento é também aplicado na forma de silicatos, como, por exemplo, silicato de sódio e silicato de potássio, como adubos líquidos ou aplicações foliares, e pode também ser adicionado ao meio na forma de cinza de casca de arroz (FRANTZ et al., 2005; KAMENIDOU; CAVINS; MAREK, 2008, 2010).

Por não ser considerado um elemento essencial as plantas, o silício não tem sido muito estudado na formação de mudas em casa de vegetação. Contudo, do ponto de vista fisiológico, esse elemento tem demonstrado efeito benéfico sobre o aumento de produção de diversas culturas (GOMES et al., 2008. Para estes mesmos autores, acredita-se que o silício possa interferir na arquitetura das plantas, ao proporcionar folhas mais eretas, o que significa maior eficiência fotossintética. O Si também promove uma barreira mecânica e acúmulo de compostos fenólicos, que impedem a infecção por patógenos e diminuem a palatabilidade aos insetos-praga (GOUSSAIN et al., 2002; TERRY; JOYCE, 2004). Tendo em vista que o método de controle mais empregado pelos agricultores é o químico, e sabendo que os inseticidas afetam os insetos polinizadores, como as mamangavas (GALLO et al., 2002), o Si pode então ser utilizado como alternativa para substituir ou diminuir o uso de produtos

químicos no controle de pragas e doenças, de forma preventiva, como relatado em pulgões na cultura do trigo (COSTA et al., 2007; GOMES et al., 2005) e em lagartas na cultura do milho (GOUSSAIN et al., 2002; NERI et al., 2005).

O silício é absorvido pelas raízes na forma de ácido monossilícico (H_4SiO_4), uma molécula de carga neutra e, nessa mesma forma, é transportado até a parte aérea, pelo xilema. Nas folhas, a perda de água por transpiração faz com que o ácido monossilícico se concentre e polimerize em sílica (SiO_2), depositando-se nos diferentes tecidos vegetais (MA; YAMAJI, 2006). O transporte de silício a longa distância, da raiz até a parte aérea, é realizado essencialmente via apoplasto. O transporte de silício nas paredes celulares e espaços intercelulares para o lúmen das células e citosol, envolve difusão e fluxo de massa (RAVEN, 2001).

A absorção de silício está relacionada a alguma forma de defesa, seja ela contra estresse biótico ou abiótico. Assim, as plantas absorvem mais desse elemento nestas condições e, com isso, resistem melhor a esse distúrbio (DALLAGNOL et al., 2009). A concentração de sílica é maior na parte aérea que na raiz e é maior nas folhas velhas em relação as folhas novas (WIESE; NIKOLIC; ROMHELD, 2007), em algumas culturas.

O conteúdo de silício nas plantas varia de 0,1% a 10% em base seca, concentrando-se nos tecidos de suporte do caule e das folhas, mas pode ser encontrado também em pequenas quantidades nos grãos. Sendo assim, as plantas podem ser classificadas como acumuladoras, intermediárias e não acumuladoras de silício, e serem avaliadas de acordo com a relação molar Si:Ca encontrada nos tecidos. Nas relações acima de 1,0, as plantas são consideradas acumuladoras, já entre 1,0 e 0,5, são consideradas intermediárias, e menores do que 0,5, não acumuladoras (MA; MIYAKE; TAKAHASHI, 2001). Há também uma variação genotípica na concentração de Si dentro de cada espécie, embora a

variação não seja tão grande quanto a observada entre espécies (HODSON et al., 2005).

Dessa forma, a adição do silício ao substrato pode promover efeitos benéficos as plantas, como o aumento da rigidez na parede celular, elevando as taxas de crescimento e sobrevivência das plântulas (CAMARGO; KORNDÖRFER; PEREIRA, 2007).

2.4 Atividade fotossintética

A fotossíntese pode variar conforme o ambiente de cultivo da planta, e as duas principais limitações ambientais para a taxa fotossintética são a disponibilidade de CO₂ e a de radiação (ZHOU; HAN, 2005).

Plantas que experimentam mudanças nas condições de luz são capazes de em maior ou menor grau aclimatar-se a nova condição. Esta aclimação ocorre no sentido de maximizar o ganho total de carbono, que pode ocorrer através de mudanças nas propriedades de assimilação pelas folhas, por meio de ajustes fisiológicos e morfológicos, e alterações nas características foliares relacionadas a fotossíntese (razão clorofila a/b, espessura foliar, teor de nitrogênio, densidade estomática) ou ainda a mudanças no padrão de alocação de biomassa, em favor da parte vegetativa mais afetada pela mudança de luz (LEE et al., 2000).

Além do efeito direto da luz sobre o processo fotossintético, a intensidade luminosa pode afetar de forma indireta a eficiência fotossintética, uma vez que a síntese e degradação das clorofilas, bem como a frequência estomática, fatores que estão diretamente ligados a taxa fotossintética, são afetados pela intensidade luminosa (BOEGER; WISNIESWSKI, 2003; ENGEL; POGGIANI, 1991).

Para melhor compreensão das características morfológicas, anatômicas e fisiológicas das plantas, são utilizadas técnicas diversas para auxiliar no entendimento da adaptabilidade desses órgãos vegetais.

2.5 Anatomia foliar

A análise das estruturas formadoras do corpo dos vegetais remete à teoria celular, e a assumir a unidade básica do corpo vegetal como a célula. As células variam de forma apreciável quanto a sua morfologia, funções e relações com outras células. Estas variações possibilitam a organização de células com funções similares em grupos, que são denominados tecidos, e estes tecidos se organizam em sistemas com funções também semelhantes, e que por fim, se organizam em órgãos especializados das plantas (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009).

O estudo da estrutura interna dos vegetais pode auxiliar na compreensão de vários fenômenos relacionados ao corpo do vegetal, bem como nos estudos de identificação taxonômica (APPEZZATO-DA-GLÓRIA; CARMELLO-GUERREIRO, 2012).

2.6 Microscopia eletrônica

O microscópio eletrônico de transmissão (MET) foi introduzido, como instrumento de pesquisa, por volta de 1950, e sua utilização trouxe contribuições marcantes para o conhecimento humano, ao mostrar detalhes jamais antes visualizados nas áreas biológica e da ciência de matérias. Na mesma época, surgiu a microscopia eletrônica de varredura (MEV), que causou uma segunda revolução no estudo do mundo microscópico, devido a alta profundidade de campo, conferindo aspecto tridimensional às imagens (ALVES, 2004).

O MEV consiste num dos equipamentos mais versáteis da atualidade, no que diz respeito a análise microestrutural de materiais sólidos. Apesar do fato de ele envolver certa complexidade de mecanismos para a aquisição da imagem, o resultado final proporcionado, consiste de imagens com uma aparência tridimensional característica de fácil interpretação, de grande utilidade para avaliar a estrutura superficial de uma dada amostra. Em termos de aumento máximo atingido com o MEV, observa-se que este se situa entre o microscópio de luz convencional (ML) e o MET. Todavia, a grande vantagem do MEV em relação ao ML, consiste em seu alto poder de resolução, que se situa na ordem de 2 a 5 nm, ao passo que o ML atinge 0,5 μm . Já quando comparado com o MET, a grande vantagem que pode ser destacada para o MEV, consiste na facilidade de preparação das amostras (ALVES; PERINA, 2012).

A microscopia eletrônica de varredura é muito utilizada na propagação convencional. Pozza et al. (2004), utilizou a microscopia eletrônica para visualizar o depósito de silício em folhas de três variedades de cafeeiro adubadas com silicato de cálcio, possibilitando a resistência a cercosporiose do cafeeiro.

2.7 Microanálise de raios X

A microanálise de raios X (MAX) consiste numa metodologia analítica aplicada no contexto do funcionamento do MEV, que possibilita obter informações qualitativas e quantitativas acerca da composição de elementos de amostras (orgânicas e inorgânicas) em escala microscópica, a partir da detecção da energia de raios X. Sendo assim, um MEV dotado de um sistema de detecção de raios X consiste num dos mais importantes instrumentos para a análise de elementos químicos localizados em materiais orgânicos e inorgânicos (ALVES; PERINA, 2012).

Por meio da identificação dos raios X emitidos pela amostra, quando da interação com o feixe eletrônico, é possível determinar a composição de regiões com até 1 μm de diâmetro. Esta metodologia consiste de uma técnica não destrutiva, podendo determinar quantidades de até 1%-2% dos elementos presentes em volumes micrométricos da amostra. A MAX fundamenta-se na descoberta de que a frequência de emissão dos raios X característicos, é função do número atômico dos elementos presentes na amostra e tem, portanto, valores de energia em ‘padrões’ específicos a cada átomo, de um elemento em particular. A comparação dos raios X obtidos com valores padrões permite identificar os elementos que emitiram os raios X detectados (ALVES; PERINA, 2012).

A microanálise de raios X é muito utilizada na comprovação da deposição de silício (Si) nas folhas, como também a presença do elemento entre as lâminas foliares da face adaxial e abaxial das plantas de arroz, trigo, café e uva (ANDRADE; ANDRADE; MIGLIORANZA, 2012; LEITE; ANDERSEN, 2009; POZZA et al., 2004; REZENDE et al., 2009).

2.8 Citometria de fluxo

A citometria de fluxo é uma técnica que envolve a análise das propriedades ópticas (dispersão da luz e fluorescência) de partículas que fluem numa suspensão líquida. Esta particularidade é uma das diferenças existentes entre a citometria de fluxo e outras técnicas de análise quantitativa de núcleos isolados ou cromossomos, que necessitam da fixação das partículas a uma superfície. A medição em fluxo permite análises em alta velocidade, e garante que os citomas analisados sejam selecionados aleatoriamente, de toda a população, sem qualquer subjetividade associada (DOLEŽEL et al., 1997).

A citometria de fluxo é uma técnica rápida e conveniente que permite a determinação exata do conteúdo de DNA nuclear (DOLEŽEL, 1991; FOX; GALBRAITH, 1990). A análise é baseada na utilização de fluorocromos específicos ao DNA, e na análise da intensidade de fluorescência relativa emitida por núcleos corados. Para determinar o conteúdo de DNA nuclear em unidades absolutas, a intensidade da fluorescência dos núcleos, é comparada com a intensidade da fluorescência de núcleos isolados de uma espécie, com o tamanho do genoma nuclear conhecido.

Uma das vantagens da citometria sobre a tradicional técnica de contagem de cromossomos, é que ela pode ser utilizada para a análise de muitas plantas em pouco tempo e pode ser aplicada a qualquer tecido vegetal (ROUX et al., 2003).

A análise com citometria de fluxo tem sido utilizada em um grande número de espécies, incluindo cereais e leguminosas de importância econômica, e está se tornando cada vez mais útil para a análise genômica e as diferenciações em plantas (DOLEŽEL et al., 2004). Assim, a utilização das ferramentas, poderá identificar a melhorar a eficiência na produção de mudas de maracujazeiro em casa de vegetação.

REFERÊNCIAS

AGRIANUAL 2014. **Anuário da Agricultura Brasileira**. São Paulo: AgraFNP, 2014. p. 335-340.

ALVES, E. **Introdução à microscopia eletrônica**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2004. 88 p.

ALVES, E.; PERINA, F.J. **Apostila do curso introdutório à microscopia eletrônica de varredura e microanálise de raios x**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2012. 63 p.

ANDRADE, F.A.; ANDRADE, C.G.T.J.; MIGLIORANZA, É. Detecção de sílica em folha bandeira de trigo. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, p. 2555-2562, 2012. (Suplemento 1).

ANDRADE, S.R.M. de; RIBEIRO, L.M.; JUNGHANS, T.G. **Limpeza clonal de maracujá para eliminação do vírus do endurecimento do fruto**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2010.

ANJOS, J.R.N.; JUNQUEIRA, N.T.V.; CHARCHAR, M.J.A. **Incidência e distribuição do vírus do endurecimento dos frutos do maracujazeiro no cerrado do Brasil Central**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2001. 17 p.

APPEZZATO-DA-GLÓRIA, B.; CARMELLO-GUERREIRO, S.M. (Ed.). **Anatomia vegetal**, Viçosa, MG: UFV, 2012. 404 p.

BOEGER, M.R.T.; WISNIEWSKI, C. Comparação da morfologia foliar de espécies arbóreas de três estágios sucessionais distintos de floresta ombrófila densa (Floresta Atlântica) no Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 26, n. 1, p.61-72, 2003.

CAMARGO, M.S.; KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA, H.S. Solubilidade do silício em solos: influência do calcário e ácido silícico aplicados. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 4, p. 637-647, 2007.

CASTRO, E.M.; PEREIRA, F.J.; PAIVA, R. **Histologia vegetal**: estrutura e função de órgãos vegetativos. Lavras: UFLA, 2009. 234 p.

CHAGAS, C.M.; COLARICCIO, A. Doenças causadas por vírus e associadas à fitoplasmas. In: **Aspectos fitossanitários do maracujazeiro**. São Paulo: Instituto Biológico de São Paulo, 2006. p. 21-36.

CERVI, A. C. Espécies de *Passiflora* L. (Passifloriaceae) publicadas e descritas nos últimos 55 anos (1950-2005) na América do Sul e principais publicações brasileiras. **Estudos de Biologia**, v.27, p.19-24, 2005.

CUNHA, M. A. P.; BARBOSA, L.V.; FARIA, G.A. Botânica. In: LIMA, A. A.; CUNHA, M. A. P. (Eds.). **Maracujá**: produção e qualidade na passicultura, Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2004. p.15-35.

COSTA, R. R.; MORAES, J. C.; ANTUNES, C. S. Resistência induzida em trigo ao pulgão *Schizaphis graminum* (hemiptera: aphididae) por silício e acibenzolar-s-methyl. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, p.393-397, 2007.

DALLAGNOL, L.J. et al. Defective active silicon uptake affects some components of rice resistance to brown spot. **Phytopathology**, St. Paul, v. 99, n. 1, p. 116-121, jan. 2009.

DEBICZ, R.; WRÓBLEWSKA, K. The effect of silicon foliar application on the development of Seasonal ornamental plants: *Sanvitalia speciosa* 'Sunbini', *Verbena* 'Patio Blue' and *Portulaca umbraticola* 'Duna Red'. **Acta Agrobotanica**, Gdynia, v. 64, n. 4, p. 99-106, 2011.

DOLEŽEL, J. Flow cytometric analysis of nuclear DNA content in higher plants. **Phytochemical Analysis**, Sussex, v. 2, n. 4, p. 143-154, 1991.

DOLEŽEL, J. et al. Use of flow cytometry for rapid ploidy determination in *Musa* species. **Infomusa**, Montpellier, v. 6, n. 6/9, p. 35-39, 1997.

DOLEŽEL, J. et al. **Encyclopedia of Plant and Crop Science**, 2004.

DOYAMA, J.T.; RODRIGUES, H.G.; NOVELLI, E.L.B.; CEREDA, E.; VILEGAS, W. Chemical investigation and effects of the tea of *Passiflora alata* on biochemical parameters in rats. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 96, p. 371-374, 2005.

ENGEL, V.L.; POGGIANI, F. Estudo da concentração de clorofila nas folhas e seu espectro de absorção de luz em função do sombreamento em mudas de quatro espécies nativas. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 3, n. 1, p. 39-45, 1991.

EPSTEIN, E. Silicon in plants: facts vs concepts. In: DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDÖRFER, G. H. **Silicon in agriculture**. Netherlands: Elsevier Science, 2001.

FAUTEUX, F. et al. Silicon and plant disease resistance against pathogenic fungi. **FEMS Microbiology Letters**, Amsterdam, v. 249, p. 1-6, 2005.

FERREIRA, G. Propagação do maracujazeiro. **Informe Agropecuário**, v. 21, n. 206, p. 18-24, 2000.

FISHER, I.H.; REZENDE, J.A.M. Diseases of Passion Flower (*Passiflora* spp.). **Pest Technology**, v. 2, n.1, p.1-19, 2008.

FOX, M. H.; GALBRAITH, D. W. Application of Flow Cytometry and Sorting to higher plant systems. In: MELAMED, M. R.; LINDMO, T.; ENDELSON, M. L. (Ed.). **Flow cytometry and sorting**. 2 ed. Wiley-Liss, New York: Wiley-Liss, 1990. p. 633-650.

FRANTZ, J.M. et al. Silicon is deposited in leaves of New Guinea impatiens. **Plant Health Progress**, St. Paul, v. 217, p. 1, Feb. 2005. Disponível em: <<http://www.plantmanagmentnetwork.org/sub/php/research/2005/silicon>>. Acesso em: 20 jan. 2015.

GALLO, D.; NAKANO, O.; SILVEIRA NETO, S.; CARVALHO, R.P.L.; BATISTA, G.C. de; BERTI FILHO, E.; PARRA, J.R.P.; ZUCCHI, R.A.; ALVES, S.B.; VENDRAMIM, J.D.; MARCHINI, L.C.; LOPES, J.R.S.; OMOTO, C. **Entomologia agrícola**. Piracicaba: FEALQ, 2002. p. 682.

GOMES, F.B.; MORAES, J.C.; SANTOS, C.D.; GOUSSAIN, M.M. Resistance induction in wheat plants by silicon and aphids. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 62, n. 6, p.547-551, 2005.

GOMES, F.B. et al. Uso de silício como indutor de resistência em batata a *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae). **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 37, n. 2, p.185-190, mar./abr. 2008.

GOUSSAIN, M.M.; MORAES, J.C.; CARVALHO, J.G.; NOGUEIRA, N. L. ROSSI, M.L. Efeito da aplicação de silício em plantas de milho no desenvolvimento biológico da lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). **Neotropical Entomology**, Londrina, v.31, n.2, p. 305-310, 2002.;

HODSON, M.J. et al. Phylogenetic variation in the silicon composition of plants. **Annals of botany**, London, v. 96, p. 1027-1046, 2005.

KAMENIDOU, S.; CAVINS, T.J.; MAREK, S. Silicon supplements affect horticultural traits of greenhouse-produced ornamental sunflowers. **HortScience**, Alexandria, v. 43, p. 236-239, 2008.

KAMENIDOU, S.; CAVINS, T.J.; MAREK, S. Silicon supplements affect floricultural quality traits and elemental nutrient concentrations of greenhouse produced gerbera. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 123, p. 390-394, 2010.

LEITE, B.; ANDERSEN, P.C. Localized accumulation of silicon (Si) in grape leaves affected by Pierce's disease. **Microscopy and Microanalysis**, New York, v. 15, p. 915-919, 2009.

LIANG, Y. et al. Mechanisms of silicon-mediated alleviation of abiotic stresses in higher plants: a review. **Environ. Pollut.**, v. 147, p. 422-428, 2007.

LEE, D.W.; OBERBAUER, S.F.; JOHNSON, P.; KRISHNAPILAY, B.; MANSOR, M.; MOHAMAD, H.; YAP, S.K.; Effects of irradiance and spectral quality on leaf structure and function in seedlings of two Southeast Asian Hopea (Dipterocarpaceae) species. **American Journal of Botany**, New York, v. 87, n. 4, p. 447-455, 2000.

MA, J.F.; YAMAJI, N. A silicon transporter in rice. **Nature**, London, v. 440, p. 688-691, 2006.

_____. Functions and transport of silicon in plants. **Cellular and Molecular Life Sciences**, Basel, v. 65, p. 3049-3057, 2008.

MA, J.F.; MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Silicon as a beneficial element for crop plants. In: DATINOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDÖRFER, G. H. (Ed.). **Silicon in agriculture**. Amsterdam: Elsevier Science, 2002. p. 17-39.

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

MELETTI, L.M.M.; OLIVEIRA, J.C.; RUGGIERO, C. **Maracujá**. Série Frutas Nativas (6). Jaboticabal, SP: Funep. 2010, 55p.

MITANI, N.; MA, J.F. Uptake system of silicon in different plant species. **Journal Experimental Botany**, Oxford, v. 56, p. 1255-1261, 2005.

NASCIMENTO, A. C. **Produtividade, incidência e severidade de doenças em nove genótipos de maracujazeiro azedo sob três níveis de adubação potássica no Distrito Federal**. 2003.133 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2003.

NERI, D.K.P.; MORAES, J.C.; GAVINO, M.A. Interação silício com inseticida regulador de crescimento no manejo da lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) em milho. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 4, p.1167-1174, 2005.

POZZA, A.A.A. et al. Efeito do silício no controle da cercosporiose em três variedades de cafeeiro. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 2, p. 185-188, 2004.

RAVEN, J.A. Silicon transport at the cell and tissue level. In: DATNOFF, L.E. et al. (Ed.). **Silicon in agriculture**. The Netherlands: Elsevier Science, 2001. 403 p.

REZENDE, D.C. et al. Effect of root foliar applications of silicone on brown spot development in rice. **Australasian Plant Pathology**, Clayton, v. 38, p. 67-73, 2009.

RICHMOND, K.E.; SUSSMAN, M.R. Got Silicon? The non-essential, beneficial plant nutrient. **Current Opinions in Plant Biology**, Cambridge, v. 6, p. 268-272, 2003.

RODRIGUES, F. A. **Silício na agricultura**. 5. ed. Viçosa, MG: UFV, 2010. p. 111-134.

ROUX, N. et al. Rapid detection of aneuploidy in *Musa* using flow cytometry. **Plant Cell Report**, Heidelberg, v. 21, p. 483-490, 2003.

SÃO JOSÉ, A.R. **A cultura do maracujazeiro**: produção e mercado. Vitória da Conquista: DFZ/UESB, 1994, 255p.

SOUZA, V.C.; LORENZI, H. **Botânica Sistemática**. Instituto Plantarum de Estudos da Flora Ltda. 2005, 337 p.

TERRY, L.A.; JOYCE, D.C. Elicitors induced disease resistance in postharvest horticultural crops: a brief review. **Postharvest Biology Technology**, Amsterdam, v.32, p.1-13, 2004.

WIESE, H.; NIKOLIC, M.; ROMHELD, V. Silicon in plant nutrition. In: SATTELMACHER, B.; HORST, W. J. (Ed.). **The apoplast of higher plants**: compartment of storage, transport and reactions. Dordrecht: Springer, 2007. p. 33-47.

ZHOU, Y.M.; HAN, S.J. Photosynthetic response and stomatal behaviour of *Pinus koraiensis* during the fourth year of exposure to elevated CO₂ concentration. **Photosynthetica**, Amsterdam, v. 43, n. 3, p. 445-449.

CAPÍTULO 2

Silício no crescimento, morfologia e conteúdo de DNA de mudas de maracujazeiro

RESUMO

O gênero *Passiflora* é o mais importante economicamente, e possui 129 espécies conhecidas, nativas do Brasil. O objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito da adição de silício no crescimento, morfologia e estabilidade genética, em mudas de maracujazeiro. O experimento foi desenvolvido em casa de vegetação, localizada no Departamento de Agricultura, da Universidade Federal de Lavras (UFLA). Sementes de maracujazeiro (*Passiflora edulis* Sims. f. *flavicarpa* Deg.), foram semeadas em bandejas de poliestireno até que atingissem porte suficiente para serem transplantadas para vasos. Após 60 dias, as mudas com aproximadamente 15 cm de altura, foram transplantadas para vasos de polietileno contendo 1,1 kg de substrato Tropstrato®. As mudas dispostas aleatoriamente sobre a bancada da casa de vegetação foram irrigadas diariamente, a fim de suprir as suas necessidades hídricas. Os tratamentos consistiram de quatro concentrações (0; 0,28; 0,55 e 0,83 g/vaso) de silício, na forma de solução de ácido silícico ($\text{SiO}_2 \cdot \text{XH}_2\text{O}$) a 1%. Esta solução foi aplicada ao redor do caule das plantas (*drench*), sendo a primeira aplicação realizada 15 dias após o transplantio das mudas. No total, foram realizadas três aplicações, em intervalos de 15 dias. Os vasos que constituíram o controle (testemunha) receberam água na mesma quantidade. Após a última aplicação, as plantas foram submetidas a análise química de concentração de silício, microanálise de raios X e citometria de fluxo. As análises fitotécnicas foram realizadas no decorrer das aplicações. O uso do silício proporciona melhor crescimento e desenvolvimento das mudas de maracujazeiro, entre as concentrações 0,28 e 0,55 g/vaso, a absorção de silício e sua deposição nas folhas de maracujazeiro são proporcionais a disponibilidade desse elemento para a planta, e a estabilidade genética é preservada nas plantas de maracujazeiro tratadas com silício.

Palavras-chave: Citometria de fluxo. Ácido silícico. *Passiflora*.

ABSTRACT

The genus *Passiflora* is the most important economically and has 129 known species, native to Brazil. The objective of this study was to evaluate the effect of the addition of silicon on growth, morphology and genetic stability in passion fruit seedlings. The experiment was conducted in a greenhouse located at the Department of Agriculture, Federal University of Lavras (UFLA). Passion fruit seeds (*Passiflora edulis* Sims. F. *Flavicarpa* Deg.) were sown in polystyrene trays until sized reached enough to be transplanted to pots. After 60 days the seedlings with about 15 cm of tall were transplanted in a plastic pots containing 1.1 kg of Tropstrato® substrate. The seedlings randomly arranged on the counter in greenhouse were irrigated daily in order to supplement their water needs. The treatments consisted of four concentrations (0, 0.28, 0.55 and 0.83 g / pot) of silicon in the form of silicic acid solution (SiO₂.XH₂O) 1%. This solution was applied around the stems of the plants (drench), the first application were at 15 days after the seedlings transplanting. In total were realized three applications with intervals of 15 days. The pots that constituted the control treatment received water in the same amount. After the last application, the plants were subjected to chemical analysis of silicon concentration, X-ray microanalysis, flow cytometry. The analysis phytotechnical were performed during the course of the applications. The use of silicon provides better growth and development of seedlings, concentrations between 0.28 and 0.55 g / pot, the silicon absorption and deposition in passion fruit leaves is proportional to the availability of this element in plant and genetic stability is preserved in passion fruit plants treated with silicon.

Keywords: Flow cytometry. Silicic acid. *Passiflora*.

1 INTRODUÇÃO

O gênero *Passiflora* é o mais importante economicamente, e possui 129 espécies conhecidas, nativas do Brasil, das quais 83 são endêmicas, podendo ser utilizadas como alimento, remédios e ornamento (CERVI et al., 2010).

O cultivo do maracujazeiro no Brasil adquiriu expressão econômica somente após 1970, com a espécie *Passiflora edulis* Sims. f. *flavicarpa* Deg., a partir do desenvolvimento da indústria de processamento de sucos, e também pela crescente demanda da fruta fresca pelo mercado consumidor. A produção de maracujazeiro apresenta importância econômica no Brasil, colocando o país como o maior produtor e consumidor mundial. Desde 1995, a área plantada com maracujazeiro vinha se mantendo ao redor de 36 mil hectares, mas em 2007, houve um aumento expressivo de 30% da área plantada, que foi de 46.866 ha. Em 2010, a área plantada foi de 62.200 ha com uma produção 920.000 t (IBGE, 2012).

A adubação, frequentemente, aumenta as produções agrícolas, devido ao aumento do vigor vegetal (ESPINDULA et al., 2010). No entanto, a prática de adubação deve exigir conhecimentos sobre as características morfofisiológicas da planta, além daquelas relacionadas com a disponibilidade dos nutrientes no solo e com seu comportamento na planta (ALMEIDA; DAMATTO JÚNIOR; LEONEL, 2007).

O efeito benéfico do silício (Si), no acúmulo de fitomassa em plantas cultivadas está associado a alterações na estrutura das plantas, permitindo, por exemplo, a melhor captação de energia solar e redução do acamamento. Embora ainda seja desconhecida a função do Si no metabolismo vegetal (EPSTEIN; BLOOM, 2006), postula-se que esse elemento solubilizado na planta tem papel na síntese de moléculas de defesa em plantas (MA; YAMAJI, 2008; RODRIGUES et al., 2004). Desse modo, o silício pode estimular o crescimento

e a produção vegetal indiretamente, causando aumento no teor de clorofila nos tecidos foliares, alterando a arquitetura das plantas, tornando-as mais eretas e evitando o autossombreamento excessivo, atrasando a senescência, aumentando a rigidez estrutural dos tecidos, protegendo as plantas de agentes bióticos e abióticos (EPSTEIN; BLOOM, 2006; MA; YAMAJI, 2008; MARSCHNER, 1995).

Há poucos estudos sobre os efeitos do silício no crescimento das plantas, com a maior parte das publicações tratando de aspectos nutricionais e do papel benéfico desse elemento na resistência a estresse biótico, com eventual avaliação da produtividade final do cultivo (LAVIOLA et al., 2007; POZZA et al., 2009; REIS et al., 2008). Além desse aspecto, os efeitos benéficos do Si não são sempre constatados (DANN; MUIR, 2002). Ma; Yamaji (2008) comentam que os efeitos benéficos do Si no crescimento vegetal, são comumente verificados em plantas em condições de estresse. Do ponto de vista fisiológico, para o crescimento e o desenvolvimento das plantas, o silício tem demonstrado efeito benéfico sobre o aumento de produção de diversas culturas (GOMES et al., 2008).

A falta de silício afeta negativamente a síntese de DNA e de clorofila em diatomáceas (WERNER, 1977; RAVEN, 1983). No entanto, não há relatos sobre o excesso de silício alterando o conteúdo de DNA de plantas. Neste sentido, a técnica de citometria de fluxo ganhou atenção especial, uma vez que permite a estimativa da quantidade relativa de DNA nuclear de células de plantas, de forma rápida e com alta precisão (JIN et al., 2008; BAIRU et al., 2011; SMULDERS; KLERK, 2011).

Assim, este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar o efeito da adição de silício no crescimento, morfologia e estabilidade genética, em mudas de maracujazeiro.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido em casa de vegetação, localizada no Departamento de Agricultura, da Universidade Federal de Lavras (UFLA).

Sementes de maracujazeiro (*Passiflora edulis* Sims. f. *flavicarpa* Deg.) foram semeadas em bandejas de poliestireno, até que atingissem porte suficiente para serem transplantadas para vasos.

Após 60 dias, as mudas com aproximadamente 15 cm de altura foram transplantadas para vasos de polietileno, contendo 1,1 kg de substrato Tropstrato[®]. As mudas dispostas aleatoriamente sobre a bancada da casa de vegetação, foram irrigadas diariamente, a fim de suprir suas necessidades hídricas.

Os tratamentos consistiram de quatro concentrações (0; 0,28; 0,55 e 0,83 g/vaso) de silício, na forma de solução de ácido silícico ($\text{SiO}_2 \cdot \text{XH}_2\text{O}$) a 1% (PEREIRA et al., 2010).

Esta solução foi aplicada ao redor do caule das plantas (*drench*), sendo a primeira aplicação realizada 15 dias após o transplantio das mudas. No total foram realizadas três aplicações, em intervalos de 15 dias. Os vasos que constituíram o controle (testemunha), receberam água na mesma quantidade. Após a última aplicação, as plantas foram submetidas a análise química de concentração de silício, microanálise de raios X e citometria de fluxo. As análises fitotécnicas foram realizadas no decorrer das aplicações.

Análises fitotécnicas - Foram avaliadas todas as mudas do experimento, quanto ao número de folhas, altura da planta (cm), diâmetro do caule (mm), comprimento da folha (mm), largura da folha (mm), massa fresca e seca de parte aérea (g) e massa fresca e seca de raiz (g). A massa seca do material vegetal foi realizada após secagem em estufa, a 60 °C, por 72 horas, até peso constante.

Concentração de silício - A análise foi realizada no Laboratório de Fertilizantes da Universidade Federal de Uberlândia, Instituto de Ciências Agrárias. Coletou-se folhas, caule e raiz de 12 plantas, que foram secas em estufa ventilada, a 60 °C, por 72 horas, até peso constante e moído separadamente. A determinação de silício foi realizada de acordo com a metodologia proposta por (KORNDÖRFER , PEREIRA; NOLLA (2004).

Microanálise de raios X - Foi realizada no Laboratório de Microscopia Eletrônica, no Departamento de Fitopatologia da UFLA. Amostras do terço mediano de 2 folhas, em 3 plantas, foram fixadas em Karnovsky (1965), desidratadas em soluções crescentes de acetona (30%, 50%, 70%, 90% e 100%), sendo, então, submetidas à secagem ao ponto crítico, utilizando-se CO₂ como líquido de transição. Posteriormente, foram recobertas com carbono CED 020 Baltec e analisadas, ao microscópio eletrônico de varredura LEO-EVO, seguindo o protocolo (ALVES, 2004).

Citometria de fluxo – Foi realizada no laboratório de Cultura de Tecidos Vegetais do Departamento de Agricultura da UFLA. Foram recolhidas amostras de folhas de maracujazeiro, aproximadamente 30 mg, acrescidas com a mesma quantidade de massa foliar de tomate (*Solanum lycopersicon*) (padrão de referência de quantidade de DNA de 1,96 pg), que foram trituradas em placa de Petri, contendo 1 mL de tampão de extração de núcleos Marie (DOLEZEL; BINAROVA; LUCRETTI, 1989). Foram realizadas leituras de 5.000 núcleos das amostras extraídas em 1 mL de tampão Marie, e corados com 25µL/mL de iodeto de propídeo. Os histogramas foram obtidos no citômetro FacsCalibur® (Becton Dickinson), com o programa Cell Quest (DICKINSON, 1998). O conteúdo de DNA (pg) das plantas foi obtido por meio da equação: conteúdo de DNA (pg) = posição do pico G1 da amostra/posição do pico G1 de padrão x pg. Realizou-se 3 repetições, e a análise estatística dos dados foi feita pelo programa WinMDI 2.8 (TROTTER, 2000).

Delineamento experimental e análise estatística – O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, com 4 tratamentos e 20 repetições/tratamento. Todos os dados obtidos foram submetidos a análise de variância, utilizando-se o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011), sendo realizada regressão dos dados ou teste de Scott-Knott.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve interação entre os tratamentos e as épocas de aplicação, portanto, os fatores foram estudados separadamente.

O diâmetro do caule mostrou aumento quadrático, onde o diâmetro máximo de 2,33 foi atingido na concentração de 0,21 g/vaso de silício (Gráfico 1a). Do mesmo modo, a altura da planta também mostrou aumento quadrático, onde a altura máxima de 9,82 foi atingida na concentração de 0,28 g/vaso de silício (Gráfico 1b).

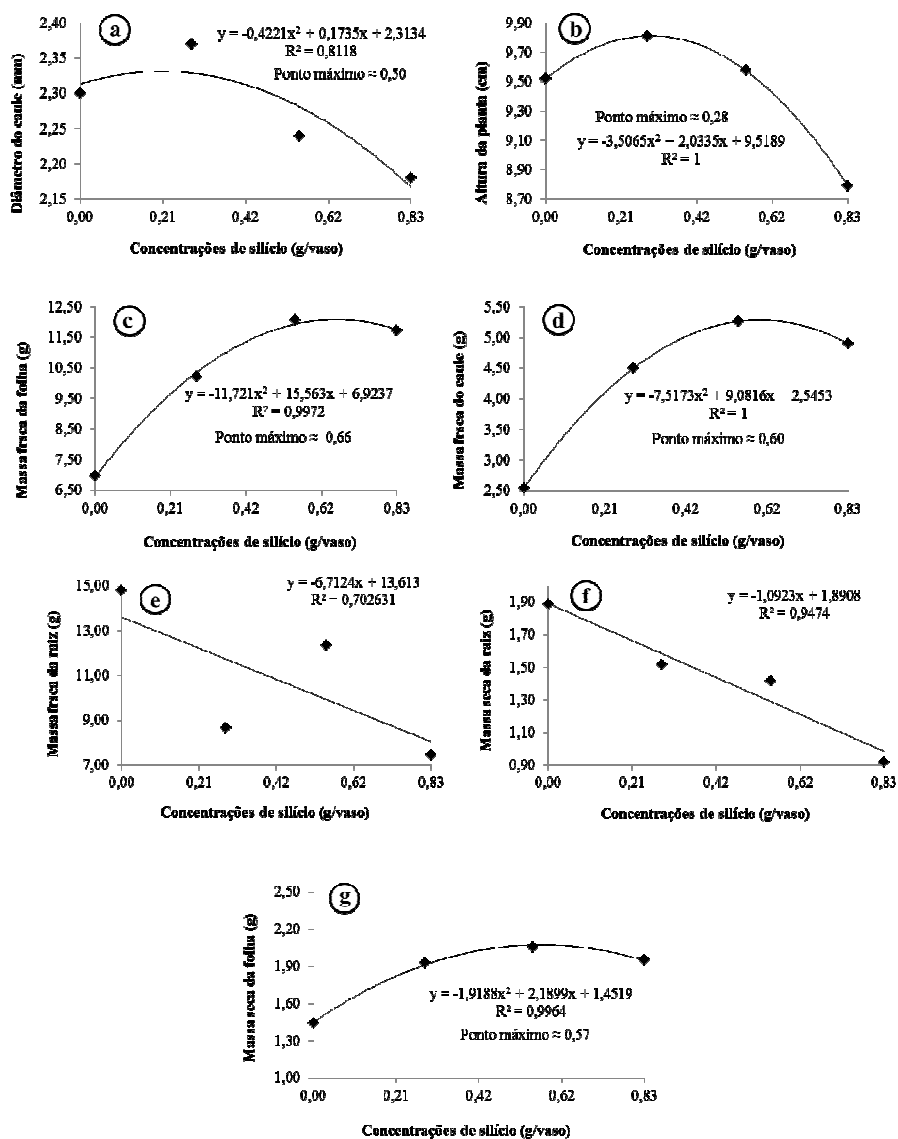


Gráfico 1 Características fitotécnicas de mudas de maracujazeiro (*Passiflora edulis* Sims. f. *flavicarpa* Deg.), submetidas a diferentes concentrações de silício. (Lavras, 2014)

Estes resultados concordam com aqueles de Prado; Natale (2005), que trabalhando com silicato de cálcio no desenvolvimento de mudas de maracujazeiro, observaram também que a aplicação de silício aumentou de forma quadrática, o desenvolvimento das mudas de maracujazeiro, para a altura e para o diâmetro do caule.

Prado; Natale (2004), trabalhando com aplicação da escória de siderurgia ferrocromo, com quantidade de Silício de $333,4 \text{ g kg}^{-1}$, no desenvolvimento de mudas de maracujazeiro, observaram que a aplicação de doses da escória de siderurgia ferrocromo no substrato, aumentou de forma quadrática o desenvolvimento das mudas de maracujazeiro quanto ao diâmetro do caule e a altura da planta, corroborando com os resultados obtidos nesse trabalho.

Essa relação positiva entre a altura e o diâmetro do caule foi observada também por Ferri (1985), que indica serem características vegetativas de grande importância morfofisiológica, visto que refletem de modo prático no crescimento e na diferenciação do vegetal. Além disso, vários estudos têm demonstrado que a oferta de silício pode influenciar positivamente no crescimento vegetal e na produtividade (SÁVIO et al., 2011).

A massa fresca e seca da folha mostrou aumento quadrático, onde a massa fresca máxima de 12,09 foi atingida na concentração de 0,66 g/vaso de silício e a massa seca máxima de 2,08 foi atingida na concentração 0,57 g/vaso de silício (Gráfico 1c, g). Do mesmo modo, a massa fresca do caule da planta também mostrou aumento quadrático, onde a massa fresca do caule máxima de 5,29 foi atingida na concentração de 0,60 g/vaso de silício (Gráfico 1d).

Houve um decréscimo linear para massa fresca e seca da raiz à medida que houve o incremento da concentração de silício (Gráfico 1e, f).

Dentre os benefícios relacionados a adubação silicatada, podem ser mencionados o aumento da matéria seca da parte aérea e das raízes, e a

importância do silício para o crescimento e desenvolvimento das plantas (EPSTEIN, 1994).

Prado; Natale (2005), que trabalhando com silicato de cálcio no desenvolvimento de mudas de maracujazeiro, observaram o aumento quadrático da matéria seca da parte aérea e das raízes das plantas, o que refletiu o maior crescimento das mudas de maracujazeiro.

Os mesmos autores, trabalhando com escória siderúrgica, em mudas de maracujazeiro, observaram o aumento quadrático da matéria seca da parte aérea e das raízes (PRADO; NATALE, 2004).

O mesmo ocorreu nesse experimento com relação a massa seca e fresca da folha e do caule, mostrando o efeito positivo do silício no desenvolvimento e crescimento das mudas de maracujazeiro. Porém, houve um decréscimo para a massa fresca e seca da raiz, isso pode ter ocorrido devido a produção de fotoassimilados serem direcionados para a produção vegetativa da planta, expressando assim o maior crescimento e desenvolvimento da mesma. Desse modo, a produção de fotoassimilados para a raiz foi menor, o que fez com que a mesma apresente menor massa fresca e seca.

Estes resultados concordam com aqueles obtidos por Ribeiro et al. (2011), que trabalhando com silicato de cálcio em mudas de cafeeiro, encontraram que a maior dose de silicato de cálcio (6 Mg ha^{-1}), proporcionou a redução do sistema radicular das mudas de cafeeiro, sem comprometimento da funcionalidade e do desenvolvimento da parte aérea das plantas.

De acordo a Tabela 1, não houve diferença significativa para o número de folhas. Porém, houve diferença significativa para a massa seca do caule, comprimento da folha e largura da folha, onde as concentrações 0,28; 0,55 e 0,83 g/vaso de silício proporcionaram maior massa seca do caule com relação à testemunha, o que reflete o resultado encontrado para a massa fresca do caule. O

silício acumula nos tecidos de suporte e sustentação do caule, fortalecendo substancialmente a estrutura da planta (PLUCKNETT, 1971).

Tabela 1 Massa seca do caule, número, comprimento e largura de folhas de mudas de maracujazeiro (*Passiflora edulis* Sims. f. *flavicarpa* Deg.), submetidas a diferentes concentrações de silício. (Lavras, 2014)

Concentrações de silício (g/vaso)	Massa seca do caule (g)	Número de folhas	Comprimento da folha (mm)	Largura da folha (mm)
Testemunha	0,81 b	9,97 a	78,83 a	41,92 a
0,28	1,32 a	10,08 a	79,62 a	43,64 a
0,55	1,38 a	9,75 a	69,89 b	38,63 b
0,83	1,12 a	9,87 a	74,48 b	40,33 b
CV	29,38	12,33	18,72	17,07

*Médias seguidas das mesmas letras minúsculas na coluna não diferem significativamente entre si, pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$).

A testemunha e a concentração 0,28 g/vaso de silício proporcionaram maior comprimento e largura da folha com relação aos demais tratamentos. As folhas constituem a parte mais importante da planta com relação a quantidade de CO₂ fixada pela fotossíntese, um processo fisiológico que resulta no acúmulo de matéria seca (RITCHIE et al., 1994).

Assim, o crescimento e o desenvolvimento das plantas podem ser afetados pela quantidade de matéria seca acumulada pela planta. A produção de matéria seca está diretamente relacionada com a quantidade de luz absorvida, e aumenta à medida que a área foliar também aumenta (GOMES et al., 2008). Entretanto, a quantidade de matéria seca produzida, depende não somente da quantidade de radiação recebida pela planta, mas também da eficiência na utilização dessa energia (SHIBLES; WEBER, 1966). Dessa forma, pode-se concluir que aumento da área foliar, nem sempre significa aumento na quantidade de matéria seca produzida pelas plantas (GOMES et al., 2008). O que foi observado com os resultados obtidos nesse trabalho, é que apesar da testemunha ter apresentado área foliar maior que os demais tratamentos, a massa

seca da folha e do caule foram maiores nas concentrações 0,28; 0,55 e 0,83 g/vaso de silício quando comparadas a testemunha.

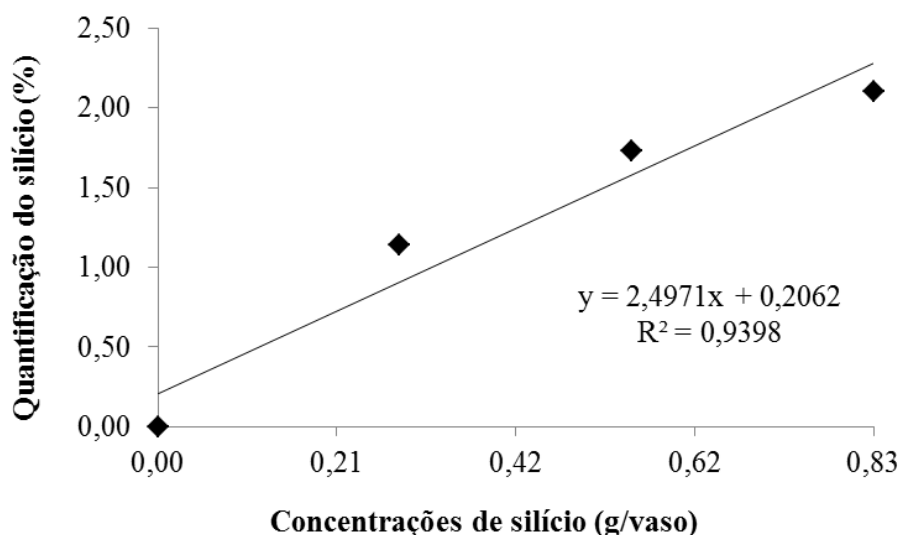


Gráfico 2 Quantificação do silício em folhas de maracujazeiro (*Passiflora edulis* Sims. f. *flavicarpa* Deg.) por meio de microanálise de raio X submetidas a diferentes concentrações de silício. (Lavras, 2014)

Houve um aumento linear no percentual de silício, a medida que houve o incremento da concentração de silício (Gráfico 2).

O silício é um elemento mineral, que depois de absorvido pelas plantas, polimeriza-se, e acumula na parede celular da epiderme (JARVIS, 1987).

Para o mapeamento de silício da epiderme abaxial das folhas de maracujazeiro, a testemunha não apresentou silício no mapeamento, e os demais tratamentos apresentaram a evolução da presença do silício (Figura 1). A polimerização de silício na superfície inferior da folha, processo denominado silicificação, é comum em gramíneas (LUX et al., 2002) e pode ocorrer em dicotiledôneas, como o cafeeiro (POZZA et al., 2004).

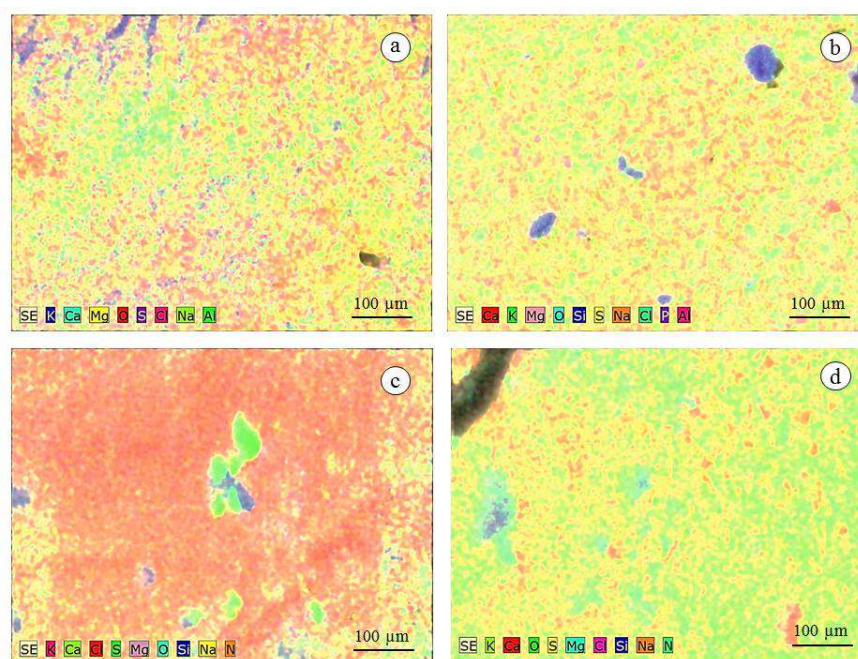


Figura 1 Mapeamento para silício da epiderme abaxial de folhas de *Passiflora edulis* fo. *Flavicarpa* O.Deg., mostrando a presença de silício. A) Testemunha: mostrando mapeamento de vários elementos e ausência de silício; B) 0,28 g/vaso; C) 0,55 g/vaso; D) 0,83 g/vaso de silício. (Lavras, 2014)

De acordo a Tabela 2, não houve diferença significativa para o teor de silício no caule. Porém, houve diferença significativa para o teor de silício na folha e na raiz, onde a concentração 0,83 g/vaso de silício apresentou teor de silício na folha, superior aos demais tratamentos. As concentrações 0,28 e 0,55 g/vaso de silício não diferiram entre si, mas apresentaram teor de silício na folha superior a testemunha. Para o teor de silício na raiz as concentrações 0,55 e 0,83 g/vaso de silício apresentaram teor de silício superior aos demais tratamentos. A concentração 0,28 g/vaso de silício, apresentou teor de silício superior a testemunha.

Tabela 2 Análise química do percentual de silício em folha, caule e raiz de maracujazeiro (*Passiflora edulis* f. *Flavicarpa* Deg.) submetidas a diferentes concentrações de silício. (Lavras, 2014)

Concentrações de silício (g/vaso)	Folha (%)	Caule (%)	Raiz (%)
Testemunha	0,27 c	0,08 a	0,51c
0,28	0,30 b	0,05 a	0,61 b
0,55	0,31 b	0,06 a	0,73 a
0,83	0,36 a	0,05 a	0,77 a
CV	8,60	38,60	10,18

*Médias seguidas das mesmas letras minúsculas na coluna não diferem significativamente entre si, pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$).

A presença de silício na testemunha pode ser explicada pelo fato de o silício ser um elemento abundante na natureza, estando presente em toda parte, inclusive na água (LUZ et al., 2006).

Esses resultados concordam com aqueles obtidos por Ferreira (2012), que trabalhando com desenvolvimento de videiras tratadas com silício, verificou para o teor foliar, um efeito linear positivo em função das doses de silício aplicada.

O silício é acumulado na folha, por isso, foi encontrada menor quantidade desse elemento no caule da planta. Todavia, foram encontrados teores superiores na raiz quando comparados a folha, fato ainda não verificado em outros experimentos com aplicação de silício em maracujazeiro. Segundo Oliveira; Castro (2002), o conteúdo médio de silício das raízes é menor, se comparado com o caule e folhas, em alguns casos, como por exemplo, a soja, o teor de silício na raiz é maior do que nas folhas. Fawe et al. (2001), sugerem que o silício nas raízes desempenha papel na rede de sinalização, e pode induzir resistência sistêmica em outros órgãos.

Observou-se nesse trabalho, que o maracujazeiro é acumulador de silício nas raízes, e não acumulador na folha e caule, pois, segundo Ma; Miyake ; Takahashi (2001), nas relações acima de 1,0, as plantas são consideradas

acumuladoras; entre 1,0 e 0,5, são consideradas intermediárias, e menor do que 0,5, não acumuladoras.

Os trabalhos de citometria de fluxo possuem vantagens em relação aos métodos convencionais, tais como, contagem de cromossomos ou medições do comprimento dos estômatos, pela facilidade e rapidez da técnica (CHEN et al., 2011; NGUYEN et al., 2003).

De acordo a Tabela 3, não houve diferença significativa para o conteúdo de DNA e CV, com relação aos tratamentos, de modo que a aplicação de silício não modificou o conteúdo de DNA das plantas, o que é importante, pois o silício mantém a estabilidade genética das mesmas.

Tabela 3 Quantificação de DNA de folhas de maracujazeiro (*Passiflora edulis* f. *Flavicarpa* Deg.) analisados por citometria de fluxo. (Lavras, 2014)

Concentrações de silício (g/vaso)	Conteúdo de DNA (pg) *
Testemunha	0,68 a
0,28	0,69 a
0,55	0,68 a
0,83	0,68 a
CV	1,57

*Médias seguidas das mesmas letras minúsculas na coluna não diferem significativamente entre si, pelo teste de Scott-Knott, a 5%

A técnica de citometria de fluxo é capaz de distinguir diferenças no conteúdo de DNA de plantas que foram mantidas em condições estressantes, como micropropagação, ou que foram submetidas a tratamentos químicos. Muitas espécies economicamente importantes tiveram seu conteúdo de DNA alterado e avaliado por citometria de fluxo como *Vitis vinifera* (YANG et al., 2008; PRADO et al., 2010), *Gossypium hirsutum* (JIN et al., 2008), *Musa* spp. (MSOGOYA et al., 2011, ESCOBEDO-GRACIA; MEDRANO et al., 2014), *Passiflora* spp. (SILVA et al., 2011), *Elaeis guineensis* (MADON et al., 2012),

Coffea arabica (CLARINDO et al., 2012), *Prunus cerasus* (VUJOVIĆ et al 2012) e , *Saccharum* spp (NOGUEIRA et al., 2013)

As plantas tratadas com silício, no presente trabalho, não tiveram nenhuma alteração no conteúdo de DNA. Esse resultado é importante, visto que adubações com silício podem ser realizadas até a quantidade de 83g por vaso, que não causam nenhum efeito danoso no genoma da planta. No entanto, devido a ausência de trabalhos na área de estudos citométricos com o silício, faz-se necessário a realização de mais pesquisas na área.

Neste trabalho, utilizou-se como padrão interno, o tomate (*Lycopersicon esculentum*), que têm o conteúdo de DNA de 1,96 pg (Figura 2). Este padrão foi escolhido por formar seu pico em um canal próximo ao da amostra estudada, sem sobrepor o pico da amostra. Quanto mais próximos os dois picos, menor é o erro experimental.

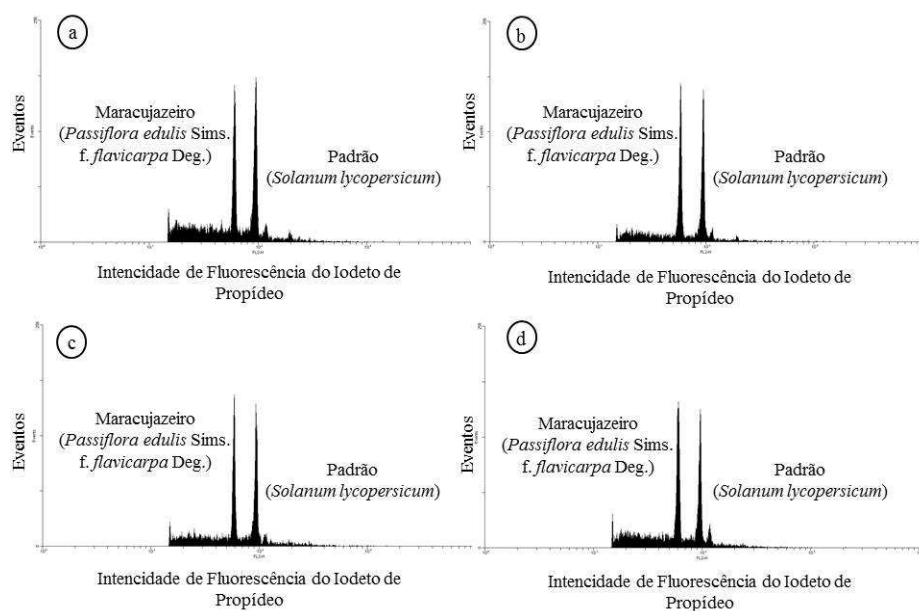


Figura 2 Histogramas obtidos pela análise de citometria em maracujazeiro (*Passiflora edulis* Sims. f. *Flavicarpa* Deg.). a) Testemunha; b) 0,28 g/vaso; c) 0,55 g/vaso; d) 0,83 g/vaso de sílcio. (Lavras 2014)

Outro ponto positivo neste estudo, foi que a média dos coeficientes de variação (CV) para as amostras foliares, variou entre 1,88 e 2,30. Esses valores demonstraram a qualidade dos resultados obtidos, e a confiabilidade nas estimativas de quantidade de DNA das mudas de maracujazeiro (Tabela 3). Isso pode ser observado pela espessura dos picos na Figura 2.

4 CONCLUSÕES

O uso de silício proporciona melhor crescimento e desenvolvimento das mudas de maracujazeiro, entre as concentrações 0,28 e 0,55 g/vaso.

A absorção de silício e sua deposição nas folhas de maracujazeiro, são proporcionais à disponibilidade desse elemento para a planta.

A estabilidade genética é preservada nas plantas de maracujazeiro tratadas com silício.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, E.L.P.; DAMATTO JÚNIOR, E.R.; LEONEL, S. Nutrição mineral e adubação. In: LEONEL, S.; SAMPAIO, A.C. (Ed.). **Maracujá doce**: aspectos técnicos e econômicos. Jaboticabal: UNESP, 2007. p. 59-71.

ALVES, E. **Introdução à microscopia eletrônica**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2004. 88 p.

BAIRU, M.W.; AREMU, A.O.; VAN STADEN, J. Somaclonal variation in plants: causes and detection methods. **Plant Growth Regulation**, v. 63, p.147-173, 2011.

CERVI, A.C.; AZEVEDO, M.A.M. de; BERNACCI, L.C. Passifloraceae. In: FORZZA, R.F. et al. (Ed.). **Catálogo de plantas e fungos do Brasil**, Rio de Janeiro, Jardim Botânico do Rio de Janeiro. v. 2, p.1432-1436, 2010.

CHEN, C. et al. Induction of *Anthurium andraeanum* “Arizona” tetraploid by colchicine in vitro. **Euphytica**, Wageningen, v. 181, p. 137-145, 2011.

CLARINDO, W.R.; CARVALHO, C.R.; MENDONÇA, M.A.C. Ploidy instability in long-term in vitro cultures of *Coffea arabica* L. monitored by flow cytometry. **Plant Growth Regulation**, v. 68, p.533–538, 2012.

DANN, E.K.; MUIR, S. Peas growth in media with elevated plant-available silicon levels have higher activities of chitinase and α -1,3 glucanase, are less susceptible to a fungal leaf spot pathogen and accumulate more foliar silicon. **Austr. Plant Pathology**, v. 31, p. 9-13, 2002.

DICKINSON, B. **Cell quest software**: reference manual. San Jose: Becton Dickinson Immunocytometry Systems, 1998. 227 p.

DOLEZEL, J.; BINAROVA, P.; LUCRETTI, S. Analysis of nuclear DNA content in plant cells by flow cytometry. **Biol Plantarum**, Prague, v. 31, n. 2, p. 113-120, Mar. 1989.

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

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. **Nutrição mineral de plantas: Princípios e perspectivas**. Londrina, Planta, 2006. 403 p.

ESCOBEDO-GRACIAMEDRANO, R.M. et al. Using flow cytometry and cytological analyses to assess the genetic stability of somatic embryo-derived plantlets from embryogenic *Musa acuminata* Colla (AA) ssp. *malaccensis* cell suspension cultures. **Plant Cell Tissue Organ Culture**, v. 116, p. 175-185, 2014.

ESPINDULA, M.C., ROCHA, V.S., SOUZA, M.A., GROSSI, J.A.S.; SOUZA, L.T. Doses e formas de aplicação de nitrogênio no desenvolvimento e produção da cultura do trigo. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v.34, n. 6, 2010.

FAWE, A.; MENZIES, J.G.; CHERIF, M.; BELANGER, R.R. Silicon and disease resistance in dicotyledons. In: DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H.; KORNDÖRFER, G.H. editors. **Silicon in agriculture**. The Netherlands: Elsevier Science; p. 159-169, 2001.

FERREIRA, S.G.M. **Desenvolvimento e fitossanidade de videiras e ameixeiras tratadas com silício em sistema orgânico**. 2012. 56 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Centro-Oeste. Guarapuava,PR. 2012.

FERREIRA, D. F. SISVAR: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, nov./dez. 2011.

FERRI, M. G. **Fisiologia vegetal**. São Paulo: EPU, 1985.

GOMES, F. B.; MORAES, J. C. e ASSIS, G. A. Silício e imidacloprid na colonização de plantas por *Myzus persicae* e no desenvolvimento vegetativo de batata inglesa. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.5, p.1209-1213, 2008.

IBGE. Sistema IBGE de recuperação automática – Sidra. **Produção agrícola municipal: produção de maracujá**. 2012. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 20 jan. 2015.

JARVIS, S. C. The uptake and transport of silicon by perennial ryegrass and wheat. **Plant soil**, Dordrecht, v. 97, n. 2/3, p. 429-437, 1987.

JIN,S. et al. Detection of somaclonal variation of cotton (*Gossypium hirsutum*) using cytogenetics, flow cytometry and molecular markers. **Plant Cell Reports**, v.27, p.1303-1316, 2008.

KARNOVSKY, M. J. A formaldehyde-glutaraldehyde fixative of high osmolality for use in electron microscopy. **Journal of Cell Biology**, New York, v. 27, n. 15, p. 137-138, Apr. 1965.

KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA, H.S.; NOLLA, A. **Análise de silício: solo, planta e fertilizante**. Uberlândia: GPSi/ICIAG/UFU, 2004. 34 p. (Boletim Técnico, 2).

LAVIOLA, B.G. et al. Dinâmica de cálcio e magnésio em folhas e frutos de *Coffea arabica*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p.319- 329, 2007.

LUX, A. et al. Silicification in sorghum (*Sorghum bicolor*) cultivars with different drought tolerance. **Physiologia Plantarum**, Malden, v. 115, p. 87-92, 2002.

LUZ, J. M. Q. et al. Produção hidropônica de alface em solução nutritiva com e sem silício. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 24, n. 3, p. 295-300, Sept. 2006.

MA, J.F.; YAMAJI, N. Functions and transport of silicon in plants. **Cellular and Molecular Life Sciences**, v. 65, p. 3049-3057, 2008.

MA, J. F.; MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Silicon as a beneficial element for crop plant. In: DATNOFF, L. E.; KORNDÖRFER, G. H.; SNYDER, G. (Ed.). **Silicon in agriculture**, New York: Elsevier Science, 2001. p. 17-39.

MADON, M. et al. Analysis of oil palm calli and regenerants using flow and image cytometry and 18S-25S ribosomal DNA fluorescence in situ hybridisation (FISH). **Journal of Oil Palm Research**, v. 24, p.1318-1329, 2012.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London, Academic Press, 1995. 920 p.

MSOGOYA, T.J.; GROUT, B.W.; ROBERTS, A. Reduction in genome size and DNA methylation alters plant and fruit development in tissue culture induced off-type banana (*Musa* spp.). **Journal of Animal and Plant Sciences**, v. 11, p. 1450-1456, 2011.

NGUYEN, X.D. et al. Flow cytometric analysis of T cell proliferation in a mixed lymphocyte reaction with dendritic cells. **Journal of Immunological Methods**, Amsterdam, v. 275, n. 1/2, p. 57-68, 2003.

NOGUEIRA, G.F.; PASQUAL, M.; SCHERWINSKI-PEREIRA, J.E. Survival of sugarcane shoot tips after cryopreservation by droplet-vitrification. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, p.1524-527, 2013.

OLIVEIRA, L.A.; CASTRO, N.M. Ocorrência de sílica nas folhas de *Curatella americana* L. e de *Davilla elliptica* St. Hil. **Revista Horizonte Científico**, 2002.

PEREIRA, R.R.C. et al. Resistance inducing agents on the biology and probing behaviour of the greenbug in wheat. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 67, n. 4, p.430-434, jul./ago. 2010.

PLUCKNETT, D.L. **The use soluble silicates in Hawaii agriculture.** University of Queensland, Hawaii, v.1, n. 6, p.203-223, 1971.

POZZA, A.A.A. et al. Efeito do silício no controle da cercosporiose em três variedades de cafeeiro. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 2, p. 185-188, 2004.

PRADO, R.M.; NATALE, W. Efeitos da aplicação da escória de siderurgia ferrocromo no solo, no estado nutricional e na produção de matéria seca de mudas de maracujazeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal - SP, v. 26, n. 1, p. 140-144, 2004.

_____. Efeito da aplicação de silicato de cálcio no crescimento, no estado nutricional e na produção de matéria seca de mudas de maracujazeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. 2, p.185-190, 2005.

PRADO, M .J. et al. Detection of somaclonal variants in somatic embryogenesis regenerated plants of *Vitis vinifera* by flow cytometry and microsatellite markers. **Plant Cell Tissue Organ Culture**, v. 103, p. 49-59, 2010.

RAVEN, J.A. The transport and function of silicon in plants. **Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society**, v. 58, p. 179-207, 1983.

REIS, T.H.P.; FIGUEIREDO, F.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; BOTREL, P.P.; RODRIGUES, C.R. Efeito da associação silício líquido solúvel com fungicida no controle fitossanitário do cafeeiro. **Coffee Science**, v. 3, p. 76-80, 2008.

RIBEIRO, R.V. et al. O alto teor de silício no solo inibe o crescimento radicular de cafeeiros sem afetar as trocas gasosas foliares. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 35, p. 939-948, 2011.

RITCHIE, P.M. et al. How a soybean plants develops. Ames: Iowa **State University of Science and Techonology**, Cooperative Extension Service, 1994. 20 p. (Special Report, 53).

RODRIGUES, F.A.; MCNALLY, D.J.; DATNOFF, L.E.; JONES, J.B.; LABBÉ, C.; BENHAMOU, N.; MENZIES, J.G.; BÉLANGER, R.R. Silicon enhances the accumulation of diterpenoid phytoalexins in rice: A potential mechanism for blast resistance. **Phytopathology**, v. 94, p.177-183, 2004.

SÁVIO, F.L.; SILVA, G.C.; TEIXEIRA, I.R.; BORÉM, A. Produção de biomassa e conteúdo de silício em gramíneas forrageiras sob diferentes fontes de silicato. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 1, p. 103-110, 2011.

SHIBLES, R.M.; WEBER, C.R. Interception of solar radiation and dry matter production by various soybean planting patterns. **Crop Science**, v. 6, n. 1, p.55-59, 1966.

SILVA, R.C.; LUIS, Z.G.; SCHERWINSKI-PEREIRA, J.E. Differential responses to somatic embryogenesis of different genotypes of Brazilian oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). **Plant Cell Tissue Organ Culture**, v. 111, p. 59-67, 2012.

SMULDERS M.J.M.; KLERK, G.J. de. Epigenetics in plant tissue culture. **Plant Growth Regulation**, v. 63, p.137-146, 2011.

TROTTER, J. **WinMDI**©: version 2.8. La Jolla: The Scripps Research Institute, 2000. Disponível em: <<http://facs.scripps.edu/software.html>> Acesso em: 15 jan. 2015.

VUJOVIĆ, T.; CEROVIĆ, R.; RUŽIĆ, D. (2012) Ploidy level stability of adventitious shoots of sour cherry 'Cacanski Rubin' and Gisela 5 cherry rootstock. **Plant Cell Tissue Organ Culture**, v.111, p. 323-333, 2012.

WERNER,D. Silicate metabolism. In: WERNER,D. **The biology of diatoms**, Oxford: Blackwells Scientific, 1977. p.110-149.

YANG, X.M. et al. Somatic embryogenesis from immature zygotic embryos and monitoring the genetic fidelity of regenerated plants in grapevine. **Biologia Plantarum**, v. 52, n. 209–214, 2008.

CAPÍTULO 3

Silício na fotossíntese e anatomia foliar de mudas de maracujazeiro

RESUMO

O maracujá-amarelo tem ocupado um lugar de destaque na fruticultura, mesmo quando comparado a outras frutas tropicais, com maior tradição de consumo. O trabalho tem como objetivo, mensurar os tecidos foliares, visando identificar as alterações anatômicas, ultraestruturais e fotossintéticas de mudas de maracujazeiro, submetidas a diferentes concentrações de silício. O experimento foi desenvolvido em casa de vegetação, localizada no Departamento de Agricultura, da Universidade Federal de Lavras (UFLA). Sementes de maracujazeiro (*Passiflora edulis* Sims. f. *flavicarpa* Deg.), foram semeadas em bandejas de poliestireno, até que atingissem porte suficiente para serem transplantadas para vasos. Após 60 dias, as mudas, com aproximadamente 15 cm de altura, foram transplantadas para vasos de polietileno, contendo 1,1 kg de substrato Tropstrato®. As mudas dispostas aleatoriamente sobre a bancada da casa de vegetação foram irrigadas diariamente, a fim de suprir as suas necessidades hídricas. Os tratamentos consistiram de quatro concentrações (0; 0,28; 0,55 e 0,83 g/vaso) de silício, na forma de solução de ácido silícico ($\text{SiO}_2 \cdot \text{XH}_2\text{O}$) a 1%. Esta solução foi aplicada ao redor do caule das plantas (*drench*), sendo a primeira aplicação realizada 15 dias após o transplante das mudas. No total, foram realizadas três aplicações, em intervalos de 15 dias. Os vasos que constituíram o controle (testemunha) receberam água na mesma quantidade. Após a última aplicação, as plantas foram submetidas a análises anatômicas, atividade fotossintética e características ultraestruturais. O uso de silício proporciona alterações anatômicas em mudas de maracujazeiro, como o aumento da espessura da epiderme adaxial, a redução do parênquima paliçádico, e o aumento da funcionalidade dos estômatos. Além disso, este elemento também aumenta o aparato fotossintético das mudas de maracujazeiro.

Palavras-chave: Taxa fotossintética. Ácido silícico. Características ultraestruturais.

ABSTRACT

The yellow passion fruit has occupied a prominent place in fruit growing, even when compared to other tropical fruits with the highest tradition of consumption. The study aims to measure the leaf tissue, to identify the changes anatomical, ultrastructural and photosynthetic of passion fruit seedlings under the different silicon concentrations. The experiment was conducted in a greenhouse located at the Department of Agriculture, Federal University of Lavras (UFLA). Passion fruit seeds (*Passiflora edulis* Sims. F. *Flavicarpa* Deg.) were sown in polystyrene trays until sized reached enough to be transplanted to pots. After 60 days the seedlings with about 15 cm of tall were transplanted in a plastic pots containing 1.1 kg of Tropstrato® substrate. The seedlings randomly arranged on the counter in greenhouse were irrigated daily in order to supplement their water needs. The treatments consisted of four concentrations (0, 0.28, 0.55 and 0.83 g / pot) of silicon in the form of silicic acid solution ($\text{SiO}_2 \cdot \text{XH}_2\text{O}$) 1%. This solution was applied around the stems of the plants (drench), the first application were at 15 days after the seedlings transplanting. In total were realized three applications with intervals of 15 days. The pots that constituted the control treatment received water in the same amount. After the last application, the plants were subjected to anatomical analyzes, photosynthetic activity and ultrastructural characteristics. The use of silicon provides anatomical changes in passion fruit, such as increasing the thickness of the adaxial epidermis reducing the palisade parenchyma and increased stomatal functionality. In addition, this element also increases the photosynthetic apparatus passion fruit seedlings.

Keywords: Photosynthetic rate. Silicic acid. Ultrastructural features.

1 INTRODUÇÃO

O maracujá-amarelo tem ocupado um lugar de destaque na fruticultura, mesmo quando comparado a outras frutas tropicais com maior tradição de consumo. Sua participação no mercado de hortifrutigranjeiros é garantida, adequando-se perfeitamente a este segmento, que valoriza produtos de alto valor agregado (MELETTI; OLIVEIRA; RUGGIERO, 2010). A produtividade média brasileira é de 12 a 15 toneladas por hectare, havendo potencial para produção de 30 a 35 toneladas por hectare (NOGUEIRA FILHO et al., 2010).

A nutrição mineral contribui para o aumento da produtividade do maracujazeiro-amarelo, neste sentido, as adubações com nitrogênio e potássio são mais comuns, possivelmente, em razão de não interferirem apenas no crescimento, mas, também, no rendimento e na qualidade do produto colhido (EPSTEIN; BLOOM, 2006).

Embora o silício (Si) não seja considerado um elemento essencial para a maioria das plantas, os benefícios da fertilização silicatada têm sido estudados e reconhecidos em espécies cultivadas (EPSTEIN; BLOOM, 2006; MA; YAMAJI, 2008; RICHMOND; SUSSMAN, 2003).

A absorção de silício ocorre por difusão passiva e também com a participação de transportadores localizados na exoderme e endoderme das raízes (MA; YAMAJI, 2008; MITANI; MA, 2005), sendo o conteúdo acumulado variável de acordo com a espécie (EPSTEIN; BLOOM, 2006; MA; YAMAJI, 2006).

A deposição de Si na folha aumenta a resistência e a rigidez das paredes celulares, e reduz a transpiração cuticular e estomática, culminando no aumento da resistência à seca (MA; YAMAJI, 2006). Também, favorece a fotossíntese por interferir na arquitetura das folhas deixando-as mais eretas, melhorando a interceptação de luz (DEREN et al., 1994), e pode aumentar a capacidade de

defesa antioxidante em várias espécies vegetais (LIANG et al., 2003; ZHU et al., 2004; GONG et al., 2005).

Dentre os benefícios fisiológicos, advindos da nutrição ocasionada pelo silício, há registros de aumento no teor de clorofila, aumento na atividade da enzima de carboxilação (Rubisco) e diminuição da transpiração (EPSTEIN, 1994).

A perda de água através dos estômatos é inevitável para a absorção de CO₂ pelas plantas, sendo o controle estomático das trocas gasosas, essencial em condição de baixa disponibilidade hídrica. A aplicação de Si tem causado aumento da tolerância ao déficit hídrico (MA et al., 2004).

Diante disso, o trabalho tem como objetivo mensurar os tecidos foliares, visando identificar as alterações anatômicas, ultraestruturais e fotossintéticas de mudas de maracujazeiro, submetidas a diferentes concentrações silício.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido em casa de vegetação, do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras (UFLA).

Sementes de maracujazeiro (*Passiflora edulis* Sims. f. *flavicarpa* Deg.) foram semeadas em bandejas de poliestireno, até que atingissem porte suficiente para serem transplantadas para vasos.

Após 60 dias, as mudas com aproximadamente 15 cm de altura foram transplantadas para vasos de polietileno, contendo 1,1 kg de substrato Tropstrato[®]. As mudas dispostas aleatoriamente sobre a bancada da casa de vegetação, foram irrigadas diariamente, a fim de suprir as suas necessidades hídricas.

Os tratamentos consistiram de quatro concentrações (0; 0,28; 0,55 e 0,83 g/vaso) de silício na forma de solução de ácido silícico ($\text{SiO}_2 \cdot \text{XH}_2\text{O}$) a 1% (PEREIRA et al., 2010).

Esta solução foi aplicada ao redor do caule das plantas (*drench*), sendo a primeira aplicação realizada 15 dias após o transplantio das mudas. No total, foram realizadas três aplicações, em intervalos de 15 dias. Os vasos que constituíram o controle (testemunha), receberam água na mesma quantidade. Após a última aplicação, as plantas foram submetidas a análises anatômicas, atividade fotossintética e características ultraestruturais.

Análises anatômicas - foram realizadas no Laboratório de Anatomia Vegetal do Departamento de Biologia. Amostras do terço médio da segunda folha completamente expandida, coletada de 4 plantas diferentes por tratamento, previamente fixada em FAA 70% (formaldeído - ácido acético glacial - álcool etílico 70%) (JOHANSEN, 1940), por 72 horas e, posteriormente, conservada em etanol 70% (v/v⁻¹). As secções transversais foram obtidas em micrótomo de mesa tipo LPC e as secções paradérmicas à mão livre, com uso de lâmina de

ação, que foram submetidas a clarificação com hipoclorito de sódio (1%-1,25% de cloro ativo), tríplex lavagem em água destilada, coloração com solução safrablau (azul de astra 0,1% e safranina 1%), para as secções transversais e safranina 1%, para as secções paradérmicas, sendo, posteriormente, montadas em lâminas semipermanentes com água glicerinada (KRAUS; ARDUIN, 1997).

As lâminas foram observadas e fotografadas em microscópio óptico, modelo Olympus BX 60, acoplado à câmera digital Canon A630. As imagens foram analisadas em software, para análise de imagens UTHSCSA ImageJ, com 6 repetições, para cada variável analisada. Mediu-se a espessura da epiderme da face adaxial e abaxial, do mesofilo, nervura central, parênquima paliçádico e parênquima esponjoso. Para a caracterização dos estômatos, foram analisadas a densidade estomática (número de estômatos por mm^2), diâmetro polar (DP), diâmetro equatorial (DE) e a relação DP/DE, obtidos em microscópio Olympus CBB e Ken-a-vision 2100.

Atividade fotossintética - As taxas fotossintética e transpiratória das plantas, foram avaliadas com analisador de trocas gasosas por infravermelho (IRGA) modelo LI-6400, pertencente ao Laboratório de Anatomia Vegetal do Departamento de Biologia. Para a avaliação dessas variáveis, foram selecionadas folhas completamente expandidas em seis plantas por tratamento, a partir das 08h00min, e a densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos foi fixada na câmara do aparelho para $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Características ultraestruturais – a análise foi realizada no Laboratório de Microscopia Eletrônica, no Departamento de Fitopatologia da UFLA. Amostras do terço mediano de 4 folhas foram fixadas em Karnovsky (1965), pós-fixadas em tetróxido de ósmio (OsO_4) e, em seguida, desidratadas em soluções crescentes de acetona (30%, 50%, 70%, 90% e 100%). Foram, então, submetidas à secagem ao ponto crítico, utilizando-se CO_2 como líquido de transição (ROBARDS, 1978). Posteriormente, foram recobertas com ouro (20

nm), e analisadas, ao microscópio eletrônico de varredura LEO-EVO, seguindo o protocolo de (ALVES, 2004).

Delineamento experimental e análise estatística – O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, com 4 tratamentos e 20 repetições/tratamento. Todos os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, utilizando-se o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011), sendo realizada regressão dos dados ou teste de Scott-Knott.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve diferença significativa entre os tratamentos para a taxa fotossintética (Tabela 1).

Tabela 1 Taxa fotossintética (A), carbono interno (Ci), transpiratória (E), condutância estomática (Gs) e relação carbono interno e externo (Ci/Ca), em folha de mudas de maracujazeiro (*Passiflora edulis* f. *Flavicarpa* O.Deg.) submetidas a diferentes concentrações de silício. (Lavras, 2014)

Silício (g/vaso)	A ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Ci (mol)	E (μmol)	Gs ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Ci/Ca
Testemunha	1,96 b	160,4809 a	0,0002 a	0,0139 a	0,4069 a
0,28	4,01 a	159,6577 a	0,0006 a	0,0401 a	0,4072 a
0,55	4,53 a	147,4656a	0,0005 a	0,0333 a	0,3762 a
0,83	4,98 a	164,4160 a	0,0007 a	0,0436 a	0,4198 a
CV	47,45	42,02	88,65	96,17	41,38

*Médias seguidas das mesmas letras minúsculas na coluna não diferem significativamente entre si, pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$).

As concentrações 0,28; 0,55 e 0,83 g/vaso, apresentaram maior taxa fotossintética com relação a testemunha. Sabe-se, que a adubação silicatada, proporciona melhor arquitetura das plantas, devido a adaptações morfofisiológicas deixando as folhas mais eretas, tornando-as mais eficientes na interceptação de luz, o que reflete no aumento da taxa fotossintética das plantas (DEREN et al., 1994).

A concentração de 0,28 g/vaso aumentou 48,82% à taxa fotossintética líquida em relação à testemunha, seguida das concentrações de 0,55 e 0,83 g/vaso que aumentaram respectivamente, 43,25% e 39,30%. Pinto et al. (2012), também observaram um aumento na taxa fotossintética líquida, trabalhando com silício em cacau *Theobroma cacao*. Os autores observaram que independentemente do genótipo, a concentração de 3 mL L⁻¹ aumentou em 44%

a taxa de fotossíntese líquida, em relação a testemunha, seguida da concentração 6 mL L^{-1} , com 14%. Outros experimentos também têm demonstrado o efeito benéfico do silício sobre a fotossíntese, em tomate *Lycopersicon esculentum* (ROMERO-ARANDA et al., 2006), cana-de-açúcar *Sacharum* spp. (MADEIROS et al., 2009), café *Coffea arabica* (BOTELHO et al., 2009) e soja *Glycine max* (SHEN et al., 2010).

Com relação a taxa transpiratória (E), carbono interno (Ci), condutância estomática (Gs) e razão carbono interno e externo (Ci/Ca), não se observou diferença estatística entre os tratamentos (Tabela 1).

Pinto et al. (2012) trabalhando com silício em cacau também não encontraram diferenças significativas para a condutância estomática (gs), a transpiração (E) e a concentração de carbono interno (Ci).

A deposição de Si na folha aumenta a resistência e rigidez das paredes celulares, e reduz a transpiração cuticular e estomática, culminado no aumento da resistência à seca (MA; YAMAJI, 2006). Porém, devido as mudas de maracujazeiro, não terem passado por um estresse abiótico, as mesmas podem não terem expressado essa característica. Talvez, para um próximo experimento, seja importante induzir condições de estresse à planta, para que desse modo, o silício possa expressar melhor o seu potencial como indutor de resistência a estresse abiótico.

Não houve diferença significativa entre os tratamentos para os caracteres anatômicos, mesófilo, parênquima esponjoso, nervura central e epiderme abaxial. Já para os caracteres diâmetro equatorial, diâmetro polar dos estômatos e relação DP/DE, houve diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 2).

Tabela 2 Caracteres anatômicos de folhas de maracujazeiro (*Passiflora edulis* Sims. f. *flavicarpa* Deg.), mesofilo, parênquima esponjoso (PE), nervura central (NC), epiderme abaxial (EAB), diâmetro equatorial (DE), diâmetro polar (DP) dos estômatos e relação DP/DE. (Lavras, 2014)

Silício (g/vaso)	Mesofilo (μm)	PE (μm)	NC (μm)	EAB (μm)	DE (μm)	DP (μm)	DP/D E
Testemunha	319,04 a	166,07 a	587,60 a	47,14 a	28,09 a	38,92a	1,39 a
0,28	318,91 a	146,31 a	580,09 a	46,27 a	27,41 a	39,03 a	1,43 a
0,55	302,77 a	126,92 a	652,60 a	45,81 a	24,94 b	37,39 a	1,50 a
0,83	336,20 a	161,25 a	628,35 a	50,69 a	24,37 b	34,73 b	1,43 a
CV	13,9	25,74	9,70	11,12	6,65	5,86	7,32

*Médias seguidas das mesmas letras minúsculas na coluna não diferem significativamente entre si, pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$).

As concentrações 0,0 (testemunha) e 0,28 g/vaso, apresentaram estômatos com o maior diâmetro equatorial com relação aos demais tratamentos. As concentrações 0,0 (testemunha), 0,28 e 0,55 g/vaso apresentaram estômatos com maior diâmetro polar com relação à concentração 0,83 g/vaso. As concentrações 0,28, 0,55 e 0,83 g/vaso apresentaram maior relação DP/DE quando comparada à testemunha, que apresentou uma relação menor (Tabela 2).

Khan et al. (2002) afirmam que a relação diâmetro polar e equatorial (DP/DE) está associada ao formato das células-guarda, e constitui uma importante particularidade sobre a funcionalidade dos estômatos, visto que a forma elíptica (maior DP/DE), é característica de estômatos funcionais, ao passo que a forma arredondada (menor DP/DE), está associada a estômatos que não apresentam funcionalidade normal.

De acordo o Gráfico 1^a, houve um decréscimo na densidade de estômatos, até o ponto mínimo que corresponde à concentração 0,50 g/vaso e uma densidade de estômatos de 43,68.

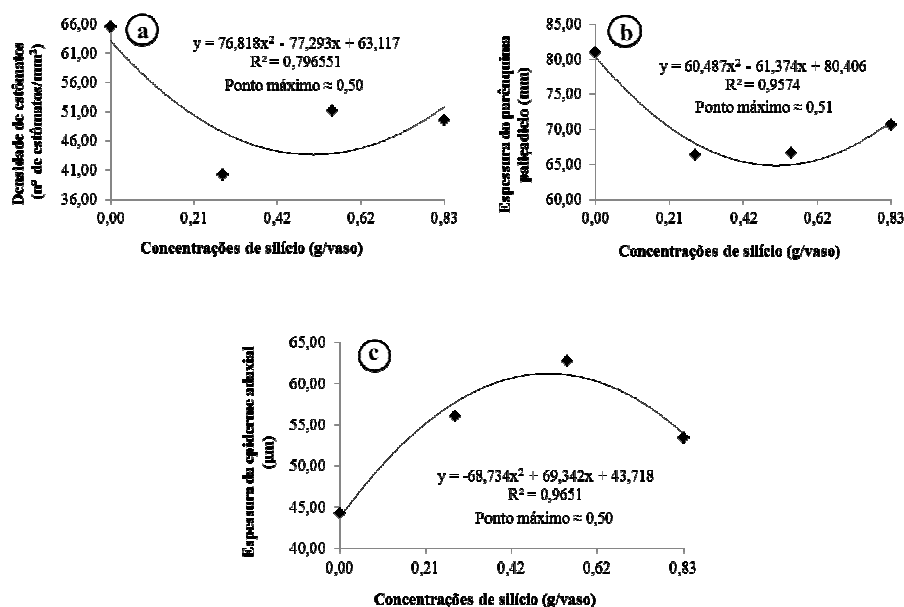


Gráfico 1 Caracteres anômicos de folhas de maracujazeiro (*Passiflora edulis* Sims. f. *flavicarpa* Deg.), submetidas a diferentes concentrações de silício. (Lavras, 2014)

Isso pode ter ocorrido devido ao aumento da funcionalidade dos estômatos, como visto na tabela anterior, apesar de ter ocorrido o decréscimo da densidade dos estômatos (Tabela 2), sendo importante para a resistência aos possíveis fatores abióticos, durante o desenvolvimento da planta. Segundo Epstein; Bloom (2006), o papel mais importante do silício, está na sua função mais marcante e original, que confere tolerância em plantas a vários fatores abióticos e/ou estresses bióticos.

Do mesmo modo, houve um decréscimo da espessura do parênquima paliçada até o ponto mínimo que corresponde à concentração 0,51 g/vaso e a espessura de 64,84 µm (Gráfico 1b). Já para espessura da epiderme adaxial, houve um aumento até o ponto máximo que corresponde à concentração 0,50 g/vaso e a espessura de 61,21 µm (Gráfico 1c).

De acordo a Figura 1, as secções transversais da lâmina foliar apresentam epiderme uniestratificada. O mesofilo dorsiventral apresenta uma camada de células paliçádicas, ocupando aproximadamente, um terço da espessura do mesofilo. O parênquima esponjoso é constituído de seis a sete camadas, com presença de células braciformes, com nervura mediana biconvexa estando de acordo com (BERALDO; KATO,2010).

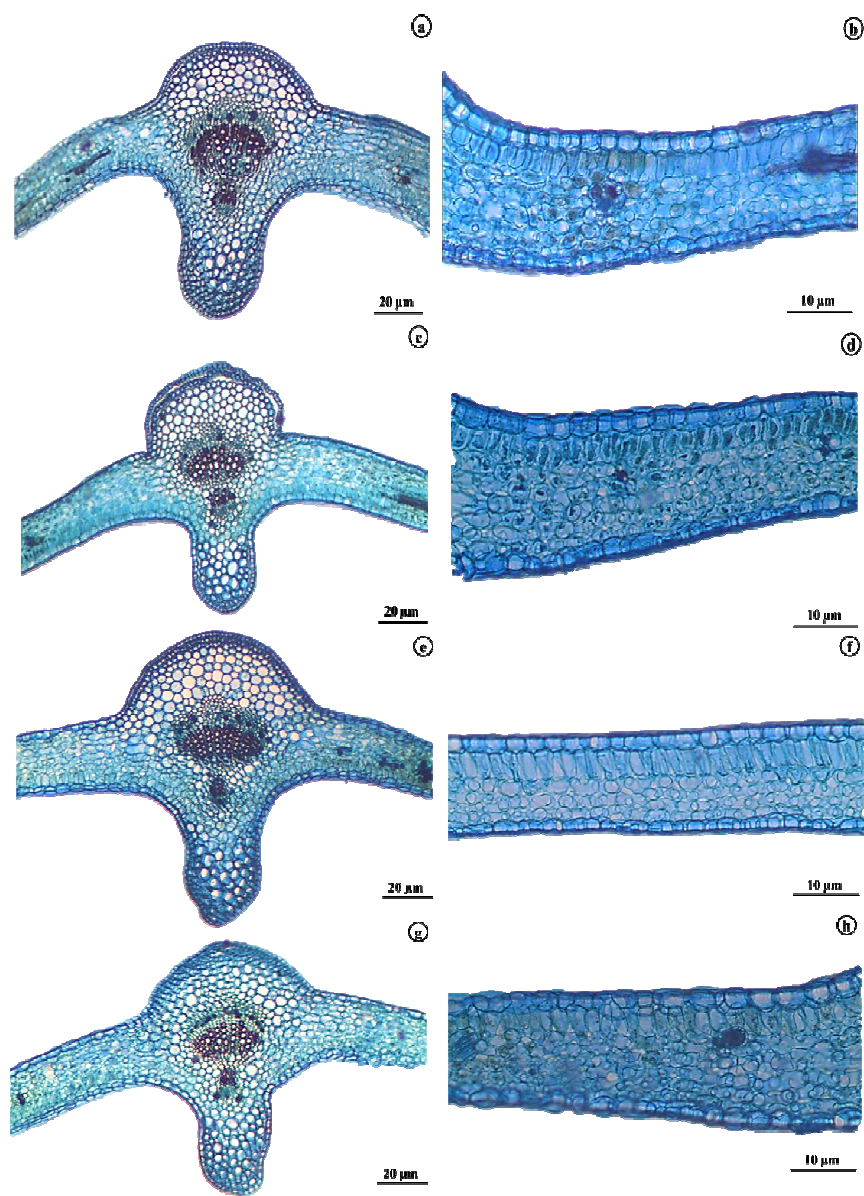


Figura 1 Fitomicrografias de secções transversais da lâmina foliar de *Passiflora edulis* Sims. f. *flavicarpa* Deg., submetidas a diferentes concentrações de silício. a) e b) Testemunha; c) e d) 0,28 g/vaso; e) e f) 0,55 g/vaso; g) e h) 0,83 g/vaso de silício. (Lavras, 2014)

De acordo com as observações anatômicas, as folhas de maracujazeiro apresentam estômatos do tipo anomocítico, mostrando estômatos ladeados por duas ou quatro células subsidiárias (Figura 2). Os estômatos estão distribuídos na superfície da epiderme abaxial, classificando-os como folhas do tipo hipoestomáticas, estando de acordo com (BERALDO; KATO, 2010).

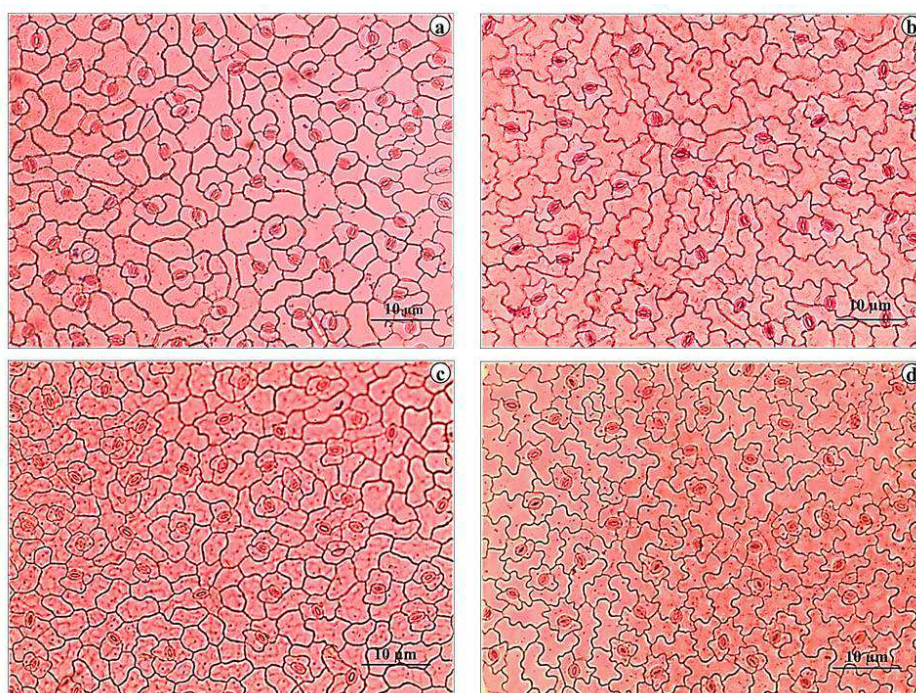


Figura 2 Fitomicrografias de seções paradérmicas evidenciando estômatos da face abaxial de folhas de *Passiflora edulis* Sims. f. *flavicarpa* Deg., submetidas a diferentes concentrações de silício. a) Testemunha; b) 0,28 g/vaso; c) 0,55 g/vaso; d) 0,83 g/vaso de silício. (Lavras, 2014)

Por meio do MEV, na caracterização da superfície foliar, a maior deposição de silício foi visualizada na epiderme abaxial das folhas de maracujazeiro, submetidas a diferentes concentrações de silício, em relação a testemunha (Figura 3).

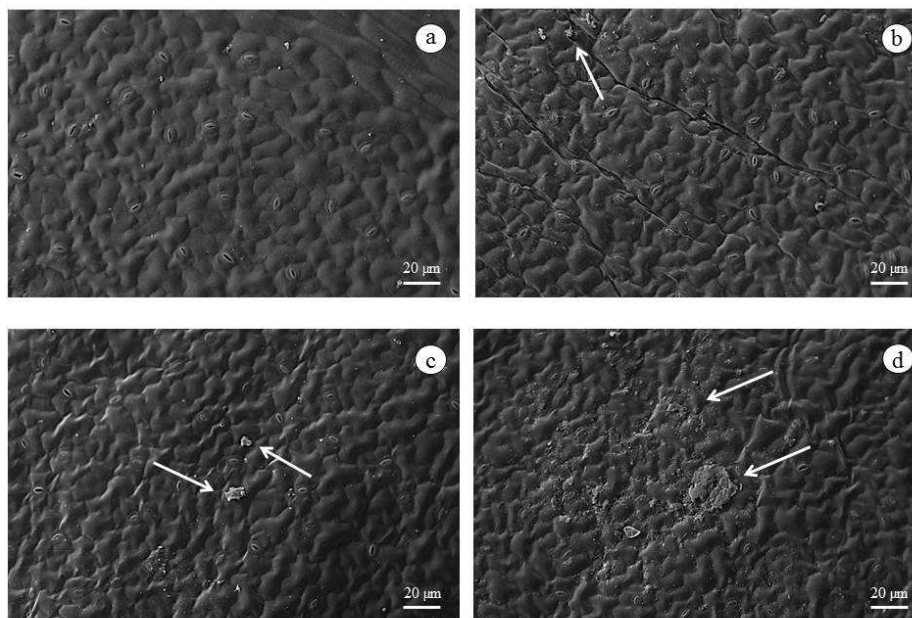


Figura 3 Eletromicrografias de varredura do aspecto da epiderme abaxial de folhas de *Passiflora edulis* f. *Flavicarpa* O.Deg., submetidas a diferentes concentrações de silício. a) Testemunha; b) 0,28 g/vaso; c) 0,55 g/vaso; d) 0,83 g/vaso de silício. (Lavras, 2014)

Segundo Pozza et al. (2004), isso se dá, devido ao aumento da cutícula na superfície inferior, das folhas tratadas com silício, principalmente, devido a camada de cera epicuticular mais desenvolvida. Os mesmos autores, concluem que este processo é importante para impedir os processos vitais da patogênese, como a germinação e a penetração, além de permitir o acúmulo de substâncias antifúngicas na cutícula.

4 CONCLUSÕES

O uso do silício proporciona alterações anatômicas em mudas de maracujazeiro, como o aumento da espessura da epiderme adaxial, a redução do parênquima paliçádico e o aumento da funcionalidade dos estômatos.

O uso do silício aumenta o aparato fotossintético das mudas de maracujazeiro.

A aplicação de silício aumenta a deposição desse elemento na superfície foliar da epiderme abaxial.

REFERÊNCIAS

- ALVES, E. **Introdução à microscopia eletrônica**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2004. 88 p.
- BERALDO, J.; KATO, E.T.M. Morfoanatomia de folhas e caules de *Passiflora edulis* Sims, Passifloraceae. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 20, n. 2, p. 233-239, abr./mai. 2010.
- BOTELHO D.M.S. et al. Aspectos anatômicos e fisiológicos de mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) com cercosporiose (*Cercospora coffeicola* Berk. & Cook.) adubadas com ácido silícico. **Coffee Science**, v. 4, p. 93-99, 2009.
- DEREN, C.W.; DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H.; MARTIN, F.G. Silicon concentration, disease response, and yield components of rice genotypes grown on flooded organic histosols. **Crop Science**, v. 34, n. 2, p.733-737, 1994.
- EPSTEIN, E. The anomaly of silicon in plant biology. Proceedings of the **National Academy of Sciences of the USA**, Washington, v. 91, n. 1, p.11-17, 1994.
- EPSTEIN, E.; BLOOM, A. **Nutrição mineral de plantas: Princípios e perspectivas**. Londrina: Planta, 2006. 403 p.
- FERREIRA, D. F. SISVAR: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, nov./dez. 2011.
- GONG, H.; ZHU, X.; CHEN, K.; WANG, S.; ZHANG, C. Silicon alleviates oxidative damage of wheat plants in pots under drought. **Plant Science**, v.169, p.313-321, 2005.
- JOHANSEN, D.A. **Plant microtechnique**. New York: McGraw Hill, 1940. 523 p.

KHAN, P.S.V. et al. Growth and net photosynthetic rates of *Eucalyptus tereticornis* Smith under photomixotrophic and various photoautotrophic micropropagation conditions. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, Amsterdam, v. 71, n. 2, p. 141-146, nov. 2002.

KRAUS, J.E.; ARDUIN, M. **Manual básico de métodos em morfologia vegetal**. Rio de Janeiro: UFRRJ, 1997. 198 p.

LIANG, Y.C.; CHEN, Q.; LIU, Q.; ZHANG, W.H.; DING, R.X. Exogenous silicon (Si) increases antioxidant enzyme activity and reduces lipid peroxidation in roots of salt-stressed barley (*Hordeum vulgare* L.). **Journal of Plant Physiology**, v.160, p. 1157-1164, 2003.

MA, J.F.; MITANI, N.; NAGAO, S.; KONISHI, S.; TAMAI, K.; IWASHITA, T.; YANO, M. Characterization of the silicon uptake system and molecular mapping of the silicon transporter gene in rice. **Plant Physiology**, Rockville, v.136, n.9, p.3284-3289, 2004.

MA, J.F.; YAMAJI, N. Silicon uptake and accumulation in higher plants. **Trends Plant Science**, v. 11, p. 392-397, 2006.

_____. Functions and transport of silicon in plants. Cellular and Molecular. **Life Sciences**, v. 65, p. 3049-3057, 2008.

MADEIROS, L.B.; VIEIRA, A.O.; AQUINO, B.F. Influência da escória siderúrgica sobre trocas gasosas e produção de biomassa da cana-de-açúcar. **Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia**, v. 6, p. 121-129, 2009.

MELETTI, L.M.M.; OLIVEIRA, J.C.; RUGGIERO, C. **Maracujá**. Jaboticabal: FUNEP, 2010.

- MITANI, N.; MA, J.F. Uptake system of silicon in different plant species. **Journal Experimental Botany**, v. 56, p.1255-1261, 2005.
- NOGUEIRA FILHO, G.C. et al. Aspectos histológicos da união da enxertia hipocotiledonar do maracujazeiro-amarelo. **Revista Brasileira Fruticultura**, Jaboticabal, v. 32, n. 2, p. 515-521, 2010.
- PEREIRA, R.R.C. et al. Resistance inducing agents on the biology and probing behaviour of the greenbug in wheat. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 67, n. 4, p. 430-434, jul./ago. 2010.
- PINTO, D. G. et al. Alterações fisiológicas após aplicação de silício em cacau e sua influência na preferência por pulgões. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 59, n. 3, p. 360-367, mai./jun. 2012.
- POZZA, A. A. A. et al. Efeito do silício no controle da cercosporiose em três variedades de cafeeiro. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 2, p. 185-188, 2004.
- RICHMOND, K.E.; SUSSMAN, M. Got silicon? The nonessential beneficial plant nutrient. *Cur. Opin. Plant Biology*, v. 6, p. 268-272, 2003.
- ROBARDS, A. W. An introduction to techniques for scanning electron microscopy of plant cells. In: HALL, J. L. (Ed.). **Electron microscopy and cytochemistry of plant cells**. New York: Elsevier, 1978. p. 343-444.
- ROMERO-ARANDA M.R.; JURADO, O.; CUARTERO, J. Silicon alleviates the deleterious salt effect on tomato plant growth by improving plant water status. **Journal Plant Physiology**, v. 163, p. 847-855, 2006.
- SHEN, X. et al. Silicon effects on photosynthesis and antioxidant parameters of soybean seedlings under drought and ultraviolet-B radiation. **Journal Plant Physiology**, v. 167, p.1248-1252, 2010.

ZHU, X.; GONG, H.; CHEN, G.; WANG, S.; ZHANG, C. Silicon alleviates salt estresse and increases antioxidant enzymes activity in leaves of salt-stressed cucumber (*Cucumis sativus* L.). **Plant Science**, v. 167, n. 3, p. 527-533, 2004.