



IRTON DE JESUS SILVA COSTA

**SILÍCIO NA MORFOFISIOLOGIA DE PLANTAS DE
COQUINHO-AZEDO (*Butia capitata*)**

**LAVRAS - MG
2017**

IRTON DE JESUS SILVA COSTA

SILÍCIO NA MORFOFISIOLOGIA DE PLANTAS DE COQUINHO-AZEDO
(Butia capitata)

Tese 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 Doutor.

Prof. Dr. Moacir Pasqual
Orientador

Prof. Dra. Leila Aparecida Salles Pio
Coorientadora

LAVRAS – MG
2017

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

Costa, Irton de Jesus Silva.

Silício na morfofisiologia de plantas de coquinho-azedo (*Butia capitata*) / Irton de Jesus Silva Costa. - 2017.

75 p. : il.

Orientador(a): Moacir Pasqual.

Coorientador(a): Leila Aparecida Salles Pio.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2017.

Bibliografia.

1. Palmeira. 2. Ácido silícico. 3. Arecaceae. I. Pasqual, Moacir . II. Pio, Leila Aparecida Salles. III. Título.

IRTON DE JESUS SILVA COSTA

SILÍCIO NA MORFOFISIOLOGIA DE PLANTAS DE COQUINHO-AZEDO
(Butia capitata)

Tese 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 Doutor.

Aprovado em 21 de fevereiro de 2017.

Prof. Dra. Leila Aparecida Salles Pio	UFLA
Prof. Dr. Eduardo Alves	UFLA
Prof. Dr. Rafael Pio	UFLA
Dra. Ester Alice Ferreira	EPAMIG

Prof. Dr. Moacir Pasqual
Orientador

LAVRAS – MG
2017

A minha mãe, Socorro, e ao meu pai, in memoriam;

Ao meu padrasto;

Aos meus irmãos;

A minha esposa, Bárbara, por tanto amor, dedicação, confiança, incentivo, apoio e exemplo de vida,

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 do doutorado.

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. Leila Aparecida Salles Pio, pelos ensinamentos, confiança, carinho, apoio e colaboração durante o doutorado.

Aos membros da banca examinadora, Dr. Eduardo Alves, Dr. Rafael Pio e Dra. Ester Alice Ferreira, que, gentilmente, aceitaram o convite para a avaliação deste trabalho.

Ao professor Paulo Sérgio da UFMG, pela ajuda na coleta dos materiais em estudo e ensinamentos no trabalho.

A Héliida Magalhães, pelo apoio e ensinamentos na elaboração do experimento.

À grande mulher, amiga e esposa, Bárbara, que tenho ao meu lado em todos os momentos, que me ajudou incondicionalmente sem medir esforços.

A Adalvan Daniel, pela grande ajuda em todo o processo de coleta e montagem do experimento. A Flávia e a Franscinely pela enorme ajuda durante o experimento.

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

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

Aos técnicos do pomar da UFLA, Evaldo e Arnaldo, pela imensa ajuda em todo o trabalho.

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

“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

Butia capitata (Mart.) Becc, também conhecido pelos nomes butiá, coco-cabeçudo, coquinho, butiá-da-praia e coco-babão, pertence à família *Arecaceae*. Essa espécie possui grande potencial econômico, pois seus frutos são amplamente utilizados. A adição de silício ao substrato poderá auxiliar na obtenção de mudas mais vigorosas. Seu uso contribui para a qualidade final das plantas, pois, o mesmo proporciona acúmulo na cutícula das folhas permitindo proteção às plantas, aumento da capacidade fotossintética, redução de perda de água e ainda promove maior crescimento. Objetivou-se avaliar o efeito do silício no crescimento, morfofisiologia e acúmulo desse elemento pelas plantas de coquinho-azedo. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial duplo (5 x 5), com cinco concentrações e cinco épocas de avaliação, subdividida no tempo, com 8 plantas/parcela, totalizando 400 plantas. Foram utilizadas 10 repetições por tratamento. Os tratamentos consistiram de cinco concentrações (0; 0,30; 0,60; 0,90 e 1,20 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 da estirpe das plantas (*drench*), os vasos que constituíram o controle (testemunha) receberam água na mesma quantidade. Foram realizadas análises de crescimento, concentração de silício, citometria de fluxo, anatômicas, ultraestruturais, trocas gasosas, teor de clorofila, índice relativo de clorofila, conteúdo relativo de água e extravasamento de eletrólitos. Conclui-se que o uso de silício proporciona melhor crescimento de coquinho-azedo e a espécie é acumuladora de silício na folha e raiz. O conteúdo de DNA é modificado nas plantas de coquinho-azedo na concentração 0,90 g/vaso de silício o qual proporciona alterações na anatomia foliar e radicular de *Butia capitata*. O silício propicia aumento na taxa fotossintética e transpiratória. Há deposição de silício em ambas as faces das folhas dessa espécie. A concentração 0,60 g/vaso de silício proporciona maiores teores de clorofila *b* e carotenóides. As concentrações 0,90 e 1,20 g/vaso de silício propiciam maior relação clorofila *a/b*. A concentração 0,60 g/vaso de silício proporciona maior conteúdo relativo de água em folhas de *Butia capitata*.

Palavras-chave: Palmeira. Ácido silícico. *Arecaceae*. Trocas gasosas.

ABSTRACT

Butia capitata (Mart.) Becc, also known by the names butiá, coco-cabeçudo, coquinho, butiá-da-praia and coco-babão, belongs to the family Arecaceae. This species has great economic potential because its fruits are widely used. The addition of silicon to the substrate may help to obtain more vigorous seedlings. Its use contributes to the final quality of the plants, as it provides accumulation in the leaves' cuticle allowing protection to the plants, increase of the photosynthetic capacity, reduction of water loss and also it improves growth. The objective of this study was to evaluate the effect of silicon on the growth, morphophysiology and its accumulation by coquinho-azedo plants. The design was a completely randomized in a double factorial scheme (5 x 5), with five concentrations and five evaluation periods, subdivided in time, with 8 plants / plot, totaling 400 plants. Ten replicates were used per treatment. The treatments consisted of five concentrations (0, 0.30, 0.60, 0.90 and 1.20 g / pot of silicon), in the form of 1% silica solution ($\text{SiO}_2 \cdot \text{XH}_2\text{O}$). This solution was applied around the drench strain, the pots that constituted the control received water in the same amount. Growth analysis, silicon concentration, flow, anatomical and ultrastructural cytometry, gas exchange, chlorophyll content, relative chlorophyll index, relative water content and electrolyte extravasation were performed. It is concluded that the use of silicon provides better growth of coquinho-azedo and its species is accumulator of silicon in the leaf and root. The DNA content is modified in coquinho-azedo plants at a concentration of 0.90 g / pot of silicon which changes foliar and root anatomy of *Butia capitata*. Silicon increases the photosynthetic and transpiratory rate. There is deposition of silicon on both sides of the leaves of this species. The concentration 0.60 g / pot of silicon provides higher levels of chlorophyll *b* and carotenoids. The concentrations 0.90 and 1.20 g / pot of silicon provide a higher chlorophyll *a* / *b* ratio. The concentration 0.60 g / pot of silicon provides greater relative water content in *Butia capitata* leaves.

Keywords: Palm tree. Silicic acid. *Areaceae*. Gas exchange

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	9
1 INTRODUÇÃO GERAL	9
2 REFERENCIAL TEÓRICO	10
2.1 Família Arecaceae	10
2.2 Gênero <i>Butia</i>	10
2.3 Espécie <i>Butia capitata</i>	11
2.4 Propagação	12
2.5 Silício	12
REFERÊNCIAS	14
CAPÍTULO 2	18
Silício no crescimento e estabilidade genética de plantas de coquinho-azedo (<i>Butia capitata</i>)	18
1 INTRODUÇÃO	20
2 MATERIAL E MÉTODOS	21
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
4 CONCLUSÕES	31
REFERÊNCIAS	32
CAPÍTULO 3	35
Silício nas trocas gasosas e características anatômicas de plantas de coquinho-azedo (<i>Butia capitata</i>)	35
1 INTRODUÇÃO	37
2 MATERIAL E MÉTODOS	38
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
4 CONCLUSÕES	53
REFERÊNCIAS	54
CAPÍTULO 4	58
Silício na tolerância protoplasmática, conteúdo relativo de água e teor de clorofila de plantas de coquinho-azedo (<i>Butia capitata</i>)	58
1 INTRODUÇÃO	60
2 MATERIAL E MÉTODOS	61
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	63
4 CONCLUSÕES	70
REFERÊNCIAS	71

CAPÍTULO 1

1 INTRODUÇÃO GERAL

O coquinho-azedo (*Butia capitata* (Mart.) Becc.), também conhecido como butiá, coco-cabeçudo, coquinho, butiá-da-praia e coco-babão, pertence à família Arecaceae que engloba 189 gêneros e aproximadamente 3.000 espécies. Ocorre nos estados da Bahia, Goiás e Minas Gerais, inclusive em algumas regiões do Sul do Brasil estendendo ao Uruguai em áreas de cerrado e/ou terrenos arenosos, como dunas e restingas (LORENZI et al., 2004; MARTINS, et al., 2010).

Essa espécie possui grande potencial econômico, pois seus frutos são amplamente utilizados pelas populações regionais na fabricação de sucos, sorvetes e picolés (MARTINS, 2003; MOURA, 2008). Os mesmos possuem polpa bastante nutritiva, rica em vitaminas A e C, potássio e óleo. As sementes também são comestíveis, ricas em óleos, proteínas e minerais.

A espécie em estudo corre risco de extinção devido ao extrativismo intensivo de seus frutos e, além disso, a propagação dessa palmeira é exclusivamente via sementes (LORENZI et al., 2004), cuja germinação é baixa, lenta e desuniforme, necessitando de até um ano para completar o seu processo germinativo (FERNANDES, 2008; MOURA, 2008). Esses fatores limitam a regeneração das populações naturais, pois, além da propagação dessa espécie ser difícil, não há cultivos comerciais para diminuir o risco de extinção. Portanto, a produção de mudas e técnicas que otimizem a germinação dessa palmeira são necessárias.

Considerando que o crescimento e desenvolvimento dessa espécie são lentos, o silício adicionado ao substrato poderá auxiliar na obtenção de plantas mais vigorosas e de melhor qualidade, uma vez que o mesmo pode se acumular na cutícula das folhas, permitindo proteção às plantas, aumento da capacidade fotossintética, redução de perda de água e maior crescimento.

Objetivou-se avaliar o efeito do silício no crescimento, morfofisiologia e acúmulo desse elemento pelas plantas de coquinho-azedo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Família Arecaceae

A família Arecaceae é representada por cerca de 2.700 espécies reunidas em mais de 240 gêneros. Seus vestígios remontam há mais de 120 milhões de anos (LORENZI et al., 2010). Segundo Leitman et al. (2010), no Brasil são encontrados 39 gêneros e mais de 266 espécies de palmeiras.

A sistemática da família é tradicionalmente baseada nas características morfológicas dos estipes, das folhas, dos frutos, das flores, nas particularidades anatômicas dos seus órgãos, em comparação com características citológicas e histológicas, estudos das distribuições geográficas atuais e história da evolução da família e seus gêneros (HENDERSON et al., 1997; DRANSFIELD et al., 2008).

As palmeiras representam a terceira família botânica mais importante para o ser humano (JOHNSON, 1998). Possuem ampla distribuição, abundância, produtividade e diversidade de usos, é de grande importância alimentar, medicinal, sociocultural e econômica para populações locais (ZAMBRANA et al., 2007). Ademais são importantes para a fauna, e algumas espécies são de interesse paisagístico, por apresentarem grande diversidade de forma e tamanho das folhas, e pela beleza de seus caules que podem ser revestidos por espinhos, fibras ou por bases remanescentes do pecíolo de folhas caídas (LORENZI et al., 1996).

2.2 Gênero *Butia*

O gênero *Butia* pertence à família Arecaceae e está distribuído por vários países da América do Sul, entre eles o Brasil (SOARES; LONGHI, 2011), com diversas espécies presentes em território brasileiro (LORENZI et al., 2004).

Em 2010 houve uma ampla revisão da taxonomia do gênero *Butia*. A espécie que ocorre no Bioma Pampa, que até então era citada como *Butia capitata* (Mart.) Becc., passou a ser designada de *Butia odorata* (Barb. Rodr.) Noblick. A denominação *Butia capitata* (Mart.) Becc. ficou restrita para uma espécie que ocorre no Cerrado brasileiro (LORENZI et al., 2010; LEITMAN et al., 2010). *B. odorata* é uma das 266 espécies de palmeiras que ocorrem no Brasil (LEITMAN et al., 2010).

2.3 Espécie *Butia capitata*

Dentro desse gênero, a espécie *Butia capitata* ganha destaque pela utilização como alimento. Ela é uma palmeira com altura variando entre 3 e 5 metros, com folíolos rígidos e pecíolo com espinhos nas margens (SILVA, 2008; SILVA; SCARIOT, 2013). A espécie é popularmente conhecida como coquinho-azedo, butiá ou cabeçudo, sendo encontrada nos Estados mais ao centro do Brasil, como: Goiás, Minas Gerais e Bahia (LIMA, 2011).

As suas folhas são do tipo pinadas e arqueadas de coloração verde-acinzentada, distribuídas no topo do caule de maneira espiralada, com folíolos compridos, estreitos, lanceolados e alternos. Bainha e pecíolo são indistintos, com margens providas de fibras achatadas, finas e resistentes, usadas na fabricação de vassouras, cestos, cordas e estofados (LORENZI et al., 2004).

A planta é monoica, com a inflorescência protegida por uma espata que no início a envolve inteiramente (LORENZI et al., 2004). As flores pistiladas são encontradas apenas na região basal da ráquila (próximo à ráquis) até a região mediana, estando cada flor pistilada ladeada por duas estaminadas, enquanto que no ápice da ráquila foram encontradas apenas flores estaminadas (FONSECA et al., 2007). O estipe é robusto, com cerca de 8 metros de altura e de 40 a 60 cm de diâmetro, apresentando cicatrizes dos restos de pecíolos (PROBIDES, 1995). Rosa, Castellani e Reis (1998) observaram que a floração desta espécie ocorre de julho a fevereiro, com o maior número de inflorescências em antese no mês de novembro e a maturação dos frutos ocorrendo de novembro a maio. Reitz, Klein e Reis (1988) relatam um período mais curto de floração de setembro a janeiro e frutificação de dezembro a março.

O fruto do coquinho-azedo é caracterizado como uma drupa oval comestível, formada por epicarpo amarelado, avermelhado ou arroxeadado, mesocarpo carnoso e fibroso e endocarpo duro e denso com três poros germinativos, sendo funcional apenas a quantidade de poros semelhante à quantidade de sementes do fruto, que pode ser de uma a três (REITZ, 1974; CARPENTER, 1988; SILVA, 1998; BROCHAT, 1998; MARTINS, 2003; MARCATO; PIRANI, 2006). A polpa dos frutos (mesocarpo + epicarpo) possui teores consideráveis de vitamina C (GENOVESE et al., 2008), sendo muito apreciada e utilizada para consumo *in natura* e fabricação de sucos, licores, sorvetes e picolés. As sementes (amêndoas) também são aproveitadas na fabricação de óleo comestível (SILVA, 1998; MARTINS, 2003).

2.4 Propagação

A propagação do coquinho-azedo é feita exclusivamente por sementes, como ocorre com a maioria das palmeiras que não são propagadas por divisão de touceiras (LORENZI et al., 2004). Entretanto, a taxa de germinação das sementes desta espécie é baixa (em torno de 1%), lenta e desuniforme, necessitando de até um ano para completar o seu processo germinativo (FERNANDES, 2008; MOURA, 2008), inviabilizando a produção de mudas em larga escala. Isto ocorre em cerca de 25% das espécies de palmeiras que necessitam de período superior a 100 dias para germinar, além de a germinação total ser menor que 20% (TOMLINSON, 1990).

Nas palmeiras, a baixa germinação está associada à dormência, que, por sua vez, pode ser ocasionada por embriões imaturos, resistência mecânica da cobertura da semente (endocarpo), impermeabilidade a gases e/ou à água, presença de inibidores químicos e/ou à combinação destes fatores (BEWLEY; BLACK, 1994).

No caso do coquinho-azedo, uma das possíveis causas para a baixa porcentagem de germinação e o estabelecimento lento de plântulas seria a impermeabilidade do endocarpo (GEYMONAT; ROCHA, 2009).

2.5 Silício

O silício (Si) é o segundo elemento em maior abundância na crosta terrestre, perdendo apenas para o oxigênio (EPSTEIN, 1999). O Si não é considerado um elemento essencial para as plantas, mas pode ser considerado um elemento agronomicamente essencial, pois propicia vários efeitos positivos para mais de 30 espécies vegetais (EPSTEIN; BLOOM, 2005).

Diversos benefícios do silício para a planta têm sido relatados, tais como, melhora da resistência a pragas e a patógenos, e à seca, tolerância a metais pesados e melhora 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 melhora 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 e aumentando a resistência a patógenos e a pragas (EPSTEIN, 2001).

As plantas absorvem o silício da solução do solo na forma de ácido monossilícico (H_4SiO_4) (MITANI; MA, 2005). O processo de absorção do ácido monossilícico, que possui carga neutra, ocorre pela dissolução através da membrana, podendo ocorrer por apoplasto ou por simplasto. O mecanismo de absorção radicular de silício pelas plantas foi considerado por muito tempo como sendo, exclusivamente, passivo, sendo feito por difusão ou fluxo em massa (JONES; HANRECK, 1967), porém, atualmente são bem detalhados os mecanismos de absorção ativa de silício, que ocorrem por proteínas e membranas específicas, codificadas por genes específicos para esse fim nas culturas do arroz, milho e cevada (MA; YAMAJI, 2008; MITANI et al., 2009; CHIBA et al., 2009).

Após ser absorvido e transportado até a parte aérea, o ácido monossilícico se deposita na forma de sílica amorfa hidratada inicialmente nos tecidos mais jovens e posteriormente se acumula rapidamente nas células senescentes, sob a forma de sílica polimerizada (SiO_2) (DAYANANDAM et al., 1983). Em geral, a concentração de sílica é maior nas folhas velhas do que na raiz e ocorre de forma mais rápida nas gramíneas (RAFI; EPSTEIN, 1999).

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; entre 1,0 e 0,5 intermediárias e menores do que 0,5 não acumuladoras (MA; MIYAKE; TAKAHASHI, 2001). Há também variação genotípica na concentração de Si dentro de cada espécie, embora 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 às plantas, como o aumento da rigidez na parede celular, elevando as taxas de crescimento e sobrevivência das plântulas (CAMARGO; KORNDÖRFER; PEREIRA, 2007).

REFERÊNCIAS

- BEWLEY, J. D.; BLACK, M. **Seeds: physiology of development and germination**. New York: Plenum Press, 1994.
- BROSCHAT, T. K. Endocarp removal enhances *Butia capitata* (Mart.) Becc. (Pindo Palm) seed germination. **Hort Technology**, Alexandria, v. 8, n. 4, p. 586-587, 1998.
- 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.
- CARPENTER, W. J. Seed after-ripening and temperature influence *Butia capitata* germination. **HortScience**, v. 23, n. 4, p. 702-703, 1988.
- CHIBA, Y.; MITANI, N.; YAMAJI, N.; MA, J. F. HvLsi1 is a silicon influx transporter in barley. **The Plant Journal**, London, v. 57, n. 5, p. 810-818, 2009.
- DAYANANDAN, P.; KAUFMAN, P. B.; FRANKLIN, C. I. Detection of silica in plants. **American Journal of Botany**, St. Louis, v. 70, n. 30, p. 1079-1084, 1983.
- DRANSFIELD, J.; UHL, N. W.; ASMUSSEN, C. B.; BAKER, W. J.; HARLEY, M. M.; LEWIS, C. E. Genera Palmarum: the evolution and classification of palms. **Kew Publishing, Royal Botanical Garden**, Londres, 2008, 732p.
- EPSTEIN, E. Silicon. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 50, n. 1, p. 641-664, 1999.
- 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.
- EPSTEIN, E.; BLOOM, A. **Mineral Nutrition of Plants: principles and perspectives**. 2a ed., Sinuauer Associates. Inc., 400 p. 2005.
- FAUTEUX, F.; RÉMUS-BOREL, W.; MENZIES, J. G.; BÉLANGER, R. R. Silicon and plant disease resistance against pathogenic fungi. **FEMS Microbiology Letters**, Amsterdam, v. 249, n. 1, p. 1-6, 2005.
- FERNANDES, R. C. **Estudos propagativos do coquinho-azedo (*Butia capitata* (Martius) Beccari) para fins de uso sustentável na região norte de Minas Gerais**. 2008. 70 f. Dissertação (Mestrado em Agroecologia)—Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros, 2008.
- FONSECA, R. S.; RIBEIRO, L. M.; SIMÕES, M. O. M.; MENINO, G. C. O.; JESUS, F. M.; REIS, S. B. Morfometria da flor e inflorescência de *Butia capitata* (Mart) Becc. (Arecaceae) em diferentes fases de desenvolvimento, no cerrado de Montes Claros- MG. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, supl. 1, p. 657-659, 2007.

- GENOVESE, M. I.; PINTO, M. S.; GONÇALVES, A. E. S. S.; LAJOLO, F.M. Bioactive compounds and antioxidant capacity of exotic fruits and commercial frozen pulps from Brazil. **Food Science and Technology International**, v. 14, n. 3, p. 207-214, 2008.
- GEYMONAT, G.; ROCHA, N. Mbotiá. Ecosistema único en el mundo. **Castillos: Casa Ambiental**, 405p. 2009.
- HENDERSON, A.; GALEANO-GARCES, G.; BERNAL, R. **Field guide to the palms of the Americas**. Pinceton University Press, New Jersey, 363p. 1997.
- HODSON, M. J.; WHITE, P. J.; MEAD, A.; BROADLEY, M. R. Phylogenetic variation in the silicon composition of plants. **Annals of Botany**, London, v. 96, n.6, p.1027-1046, 2005.
- JOHNSON, D. V. Non-wood forest products 10. **Tropical palms**. Rome: **FAO Regional Office for Asia and the Pacific, Food and Agriculture Organization of the United Nations**, 1998.
- JONES, L. H. P.; HANDRECK, K. A. Silica in soils, plants, and animals. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 19, p. 107-149, 1967.
- LEITMAN, P.; HENDERSON, A.; NOBLICK, L.; SOARES, K. **Arecaceae. In: Lista de espécies da flora do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2010.
- LIANG, Y.; SUN, W.; ZHU, Y. G.; CHRISTIE, P. Mechanisms of silicon-mediated alleviation of abiotic stresses in higher plants: a review. **Environmental Pollution**, v. 147, n. 2, p. 422-428, 2007.
- LIMA, V. V. F. **Estrutura e dinâmica de populações de coquinho-azedo (*Butia capitata* (Mart.) Beccari, Arecaceae) em áreas de extrativismo no Norte de Minas Gerais, Brasil**. 2011. 56 f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Ciências Florestais) –Instituto de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília. 2011.
- LORENZI, H.; SOUZA, H. D.; COSTA, J. D. M.; CERQUEIRA, L. D.; FERREIRA, E. **Palmeiras brasileiras e exóticas cultivadas**. Instituto Plantarum, 2004. 117p.
- LORENZI, H. J. **Flora brasileira: 'Arecaceae'(palmeiras)**. Instituto Plantarum, 2010.
- LORENZI, H.; SOUZA, H. M.; MEDEIROS-COSTA, J. T. **Palmeiras do Brasil: nativas e exóticas**. Nova Odessa: Instituto Plantarum de Estudos da Flora, 303 p. 1996.
- MA, J. F.; MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Silicon as a beneficial element for crop plants. **Studies in Plant Science**, Amsterdam, v. 8, p. 17-39, 2001.
- MA, J. F.; TAMAI, K.; YAMAJI, N.; MITANI, N.; KONISHI, S.; KATSUHARA, M.; ISHIGURO, M.; MURATA, Y.; YANO M. A silicon transporter in rice. **Nature**, London, v. 440, n. 7084, p. 688-691, 2006.
- MA, J. F.; YAMAJI, N. Functions and transport of silicon in plants. **Cellular and Molecular Life Sciences**, Switzerland, v. 65, n. 19, p. 3049-3057, 2008.

- MARCATO, A. C.; PIRANI, J. R. Flora de Grão Mogol, Minas Gerais: Palmae (Arecaceae). **Boletim de Botânica**, Universidade de São Paulo, v. 24, n.1, p. 1-8, 2006.
- MARTINS, E. R. Projeto conservação de recursos genéticos de espécies frutíferas nativas do norte mineiro: coleta, ecogeografia e etnobotânica. **Montes Claros: UFMG**, 2003.
- MARTINS, R. C.; SANTELLI, P.; FILGUEIRAS, T. S. Coquinho-azedo. In: VIEIRA, R. F. (Ed.) **Frutas nativas da região Centro-Oeste do Brasil**. Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2010. p.163-173.
- MITANI, N.; MA, J. F. Uptake system of silicon in different plant species. **Journal Experimental Botany**, Oxford, v. 56, n. 414, p. 1255-1261, 2005.
- MITANI, N.; MA, J. F.; YAMAJI, N. Identification of maize silicon influx transporters. **Plant and Cell Physiology**, v. 50, n. 1, p. 5-12, 2009.
- MOURA, R. C. **Caracterização vegetativa e reprodutiva do coquinho-azedo, *Butia capitata* (Martius) Beccari (Arecaceae), no norte de Minas Gerais**. 2008. 73 f. Dissertação (Mestrado em Agroecologia)–Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros, 2008.
- PROBIDES (Programa de Conservación de la Biodiversidad y Desarrollo Sustentable en los Humedales del Este). **El palmar, la palma y el butiá**. Montevideo: Productora Editorial. Ficha didácticas, n.4.1995. 24p.
- RAFI, M. M.; EPSTEIN, E. Silicon absorption by wheat (*Triticum aestivum* L.). **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 211, n. 2, p. 223-230, 1999.
- REITZ, R. Palmeiras. In: REITZ, R. (Ed.). **Flora Ilustrada Catarinense. Itajaí: Herbário Barbosa Rodrigues**, Itajaí, 1974. 189p.
- REITZ, R.; KLEIN, R. M.; REIS, A. Madeira do Rio Grande do Sul: projeto. In: **Madeira do Rio Grande do Sul: projeto**. Porto Alegre: SUDESUL/HERBÁRIO BARBOSA RODRIGUES, 1988. 525p.
- RICHMOND, K. E.; SUSSMAN, M. R. Got Silicon? The non-essential, beneficial plant nutrient. **Current Opinions in Plant Biology**, Cambridge, v. 6, n.3, p. 268-272, 2003.
- ROSA, L.; CASTELLANI, T. T.; REIS, A. Biologia reprodutiva de *Butia capitata* (Martius) Beccari var. *odorata* (Palmae) na restinga do município de Laguna, SC. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 21, n. 3, 16p. 1998.
- SILVA, P. A. D. **Ecologia Populacional e Botânica Econômica de *Butia capitata* (Mart.) Beccari no Cerrado no Norte de Minas Gerais**. 2008. 105 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Instituto de Ciências Biológicas, Universidade de Brasília, Brasília. 2008.
- SILVA, P. A. D.; SCARIOT, A. Phenology, biometric parameters and productivity of fruits of the palm *Butia capitata* (Mart.) Beccari in the Brazilian cerrado in the north of the state of Minas Gerais. **Acta Botanica Brasilica**, v. 27, n. 3, p. 580- 589, 2013.

SILVA, S.R. **Plantas do cerrado utilizadas pelas comunidades da região do Grande Sertão Veredas**. Fundação Pró-Natureza - FUNATURA, Brasília, DF, 1998.

SOARES, K. P.; LONGHI, S. J. A New *Butia* (BECC.) BECC. Species (Arecaceae) of Rio Grande do Sul, Brazil. **Ciência Florestal (Brazil)**, v. 21, n. 2, p. 203-208, 2011.

TOMLINSON, P. B. **The structural biology of palms**. Oxford: Clarendon Press, 1990.

ZAMBRANA, N. Y. P.; BYG, A.; SVENNING, J. C.; MORAES, M.; GRANDEZ, C.; BALSLEV, H. Diversity of palm uses in the western Amazon. **Biodiversity and Conservation**, Andova, v. 16, n. 10, p. 2771-2787, 2008.

CAPÍTULO 2

Silício no crescimento e estabilidade genética de plantas de coquinho-azedo (*Butia capitata*)

RESUMO

O coquinho-azedo (*Butia capitata* (Martius) Beccari) é uma palmeira nativa do Cerrado, com grande potencial econômico porém, seu cultivo ainda é pouco estudado, principalmente quanto ao manejo de adubação silicatada dessa cultura. Assim, o objetivo foi avaliar o efeito da adição de silício no crescimento, morfologia e estabilidade genética de plantas de coquinho-azedo. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial duplo (5 x 5), com cinco concentrações e cinco épocas de avaliação, subdividida no tempo, com 8 plantas/parcela, totalizando 400 plantas. Foram utilizadas 10 repetições por tratamento. Os tratamentos consistiram de cinco concentrações (0; 0,30; 0,60; 0,90 e 1,20 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 da estirpe das plantas (*drench*), os vasos que constituíram o controle (testemunha) receberam água na mesma quantidade. Foram realizadas análises de crescimento, concentração de silício e citometria de fluxo. Conclui-se que o uso de silício em concentrações de 0,78 e 0,88 g/vaso proporciona melhor crescimento de coquinho-azedo. Essa espécie é uma planta acumuladora de silício na folha e raiz. O conteúdo de DNA é modificado nas plantas de coquinho-azedo na concentração 0,90g/vaso de silício.

Palavras-chave: Ácido silícico. Palmeira. Adubação silicatada. Citometria de fluxo.

Silicon in the growth and genetic stability of coquinho-azedo (*Butia capitata*)

ABSTRACT

The coquinho-azedo (*Butia capitata* (Martius) Beccari) is a palm tree native of the Cerrado, with great economic potential, but its cultivation is little studied yet, mainly regarding the management of silicate fertilization of this crop. Thus, the objective was to evaluate the effect of silicon addition on the growth, morphology and genetic stability of coquinho-azedo plants. The design was a completely randomized in a double factorial scheme (5 x 5), with five concentrations and five evaluation periods, subdivided in time, with 8 plants / plot, totaling 400 plants. Ten replicates were used per treatment. The treatments consisted of five concentrations (0, 0.30, 0.60, 0.90 and 1.20 g / pot) of silicon, in the form of 1% silica solution ($\text{SiO}_2 \cdot \text{XH}_2\text{O}$). This solution was applied around the drench strain, the pots that constituted the control received water in the same amount. Analyzes of growth, silicon concentration and flow cytometry were performed. It is concluded that the use of silicon in concentrations of 0.78 and 0.88 g / pot provides better growth of coquinho-azedo. This species is a silicon accumulating plant in the leaf and root. The DNA content is modified in coquinho-azedo plants at a concentration of 0.90 g / pot of silicon.

Keywords: Silicic acid. Palm tree. Silicate fertilization. Flow cytometry

1 INTRODUÇÃO

O coquinho-azedo (*Butia capitata* (Martius) Beccari) é uma palmeira nativa do Cerrado, com grande potencial econômico, pois seus frutos são amplamente utilizados pelas populações regionais na fabricação de sucos, sorvetes e picolés (MARTINS, 2003; MOURA, 2008), além disso essa espécie tem uma grande importância ecológica, especialmente em termos de fornecimento de recursos alimentares para a fauna nativa (SARMENTO; VILLELA, 2010).

O silício (Si) não é considerado um elemento essencial para as plantas, mas agronomicamente pode ser, porque propicia vários efeitos positivos para mais de 30 espécies vegetais (EPSTEIN; BLOOM, 2005). Dentre os benefícios que o silício pode proporcionar às plantas, pode-se citar estímulo ao crescimento e produção vegetal por meio de várias ações indiretas, deixando as folhas mais eretas com diminuição do autossombreamentos, redução do acamamento, maior rigidez estrutural dos tecidos, proteção contra estresses abióticos como redução de toxidez de Fe, Mn, Al e Na, diminuição na incidência de patógenos e aumento na proteção contra herbívoros, incluindo os insetos fitófagos (EPSTEIN, 1994; MARSCHNER, 1995).

Estudos recentes mostram que o silício proporcionou o aumento no crescimento, desenvolvimento ou produtividade de algumas frutíferas como, maracujazeiro (COSTA et al., 2016), morangueiro (SILVA et al., 2013), melancia (SANTOS et al., 2010) e mamoeiro (SÁ et al., 2015). Todavia, estudos com silício relacionados ao crescimento e desenvolvimento dos vegetais ainda são escassos, visto que a aplicação do silício é mais estudada na indução de resistência a fatores bióticos e abióticos. Assim, são necessárias mais pesquisas no intuito de esclarecer o efeito nutricional desse elemento às plantas.

O estudo da estabilidade genética dos vegetais quando da aplicação de Si torna-se importante, já que existe a hipótese de que o mesmo pode alterar a quantidade de DNA das plantas. 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).

Diante do exposto, o objetivo foi avaliar o efeito da adição de silício no crescimento, morfologia e estabilidade genética de plantas de coquinho-azedo (*Butia capitata*).

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na área experimental do Setor de Fruticultura da Universidade Federal de Lavras (UFLA), cujas coordenadas geográficas são 21°14' S, longitude 45° 00' W e 918 m de altitude. De acordo com a classificação climática de Köppen (DANTAS et al., 2007), o clima é Cwa.

Os frutos de coquinho-azedo (*Butia capitata*) foram colhidos na safra de 2014/2015 na localidade de Mirabela, região Norte do Estado de Minas Gerais, despulpados manualmente, mantidos à sombra para secagem durante quatro dias e levados ao Laboratório de Cultura de Tecidos do Departamento de Agricultura. As sementes foram retiradas do endocarpo com auxílio de torno de mesa, tratadas com fungicida carboxin-thiram (Vitavax®-thiran 200 SC), imersas em solução do fungicida na sua concentração pura e secas à sombra por 4 horas.

Em seguida, as sementes foram levadas à câmara de fluxo laminar onde se retirou o opérculo da cavidade embrionária; e semeadas em bandejas de plástico com capacidade para 50 sementes, contendo vermiculita de textura média como substrato (60mg + 300ml de água destilada). As bandejas foram colocadas em incubadora tipo BOD, com temperatura constante de 30° C e umidade de 80%, com fotoperíodo de 12 horas, por um período de 30 dias até total germinação. Posteriormente, as plantas foram acondicionadas em vasos de polietileno, contendo 1,1 kg de substrato Tropstrato®, os quais foram dispostos aleatoriamente sobre a bancada da casa de vegetação e irrigados diariamente.

Os tratamentos consistiram de cinco concentrações (0; 0,30; 0,60, 0,90 e 1,20 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 da estirpe das plantas (*drench*), sendo a primeira aplicação realizada 60 dias após o plantio. No total foram realizadas cinco aplicações, aos 60, 120, 180, 240 e 300 dias, mesmo período das avaliações. Os vasos que constituíram o controle (testemunha) receberam água na mesma quantidade. As análises realizadas foram:

Análises fitotécnicas (crescimento)

Foram avaliadas 10 plantas, quanto ao número de folhas, altura da planta (cm), diâmetro do bulbo (mm), comprimento da folha (mm), massa fresca e seca da planta. A avaliação da massa seca do material vegetal foi realizada após secagem em estufa, a 60 °C, por 72 horas, até peso constante. Essa análise foi realizada aos 60, 120, 180, 240 e 300 dias.

Concentração de silício

A análise foi realizada no Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas do Departamento de Ciência do Solo da UFLA. Coletaram-se folhas e raízes de 10 plantas, que foram secas em estufa ventilada, a 60 °C, por 72 horas, até massa constante e moídas separadamente. Determinou-se o silício de acordo com a metodologia proposta por Korndörfer, Pereira e Nolla (2004), ao final do experimento.

Citometria de fluxo

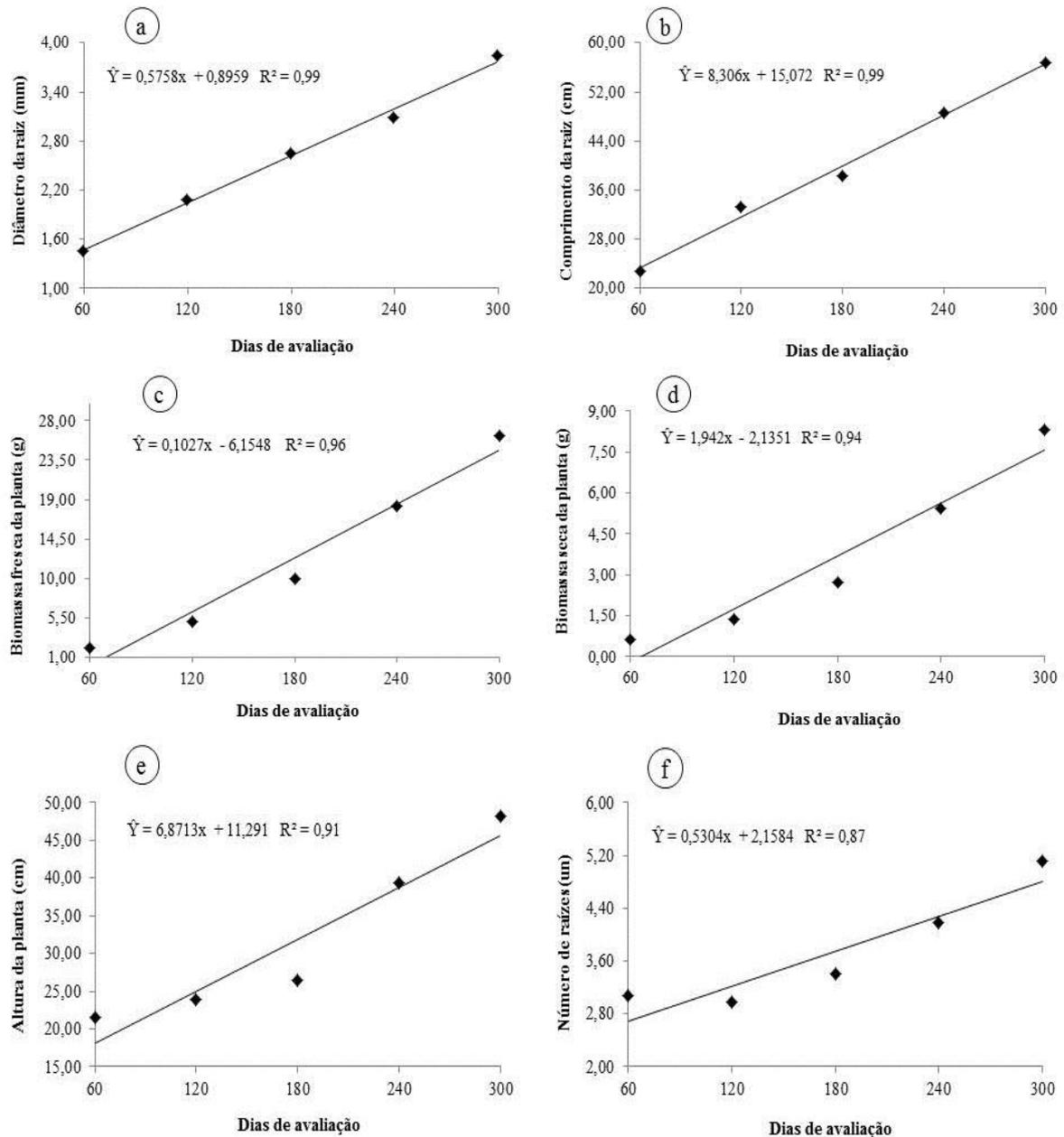
Foi realizada no laboratório de Cultura de Tecidos Vegetais do Departamento de Agricultura da UFLA. Foram coletadas amostras de folhas de coquinho-azedo, aproximadamente 30 mg, acrescidas com a mesma quantidade de massa foliar de soja (*Glycine max*, padrão de referência de quantidade de DNA de 2,50 pg) que foram trituradas em placa de Petri, contendo 1 mL de tampão de extração de núcleos Marie (DPOOLEŽEL; BINAROVA; LUCRETTI, 1989). Foram feitas leituras de 5.000 núcleos das amostras extraídas em 1mL 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. Realizaram-se três repetições, e a análise estatística dos dados foi feita pelo programa WinMDI 2.8 (TROTTER, 2000), ao final do experimento.

O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial duplo (5 x 5), com cinco concentrações e cinco épocas de avaliação, subdividida no tempo, com 8 plantas/parcela, totalizando 400 plantas. Todos os dados obtidos foram submetidos à análise de regressão, utilizando-se o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para algumas características fitotécnicas não houve interação entre as concentrações de silício e os dias de avaliação. Portanto, os fatores foram estudados separadamente (Figura 1).

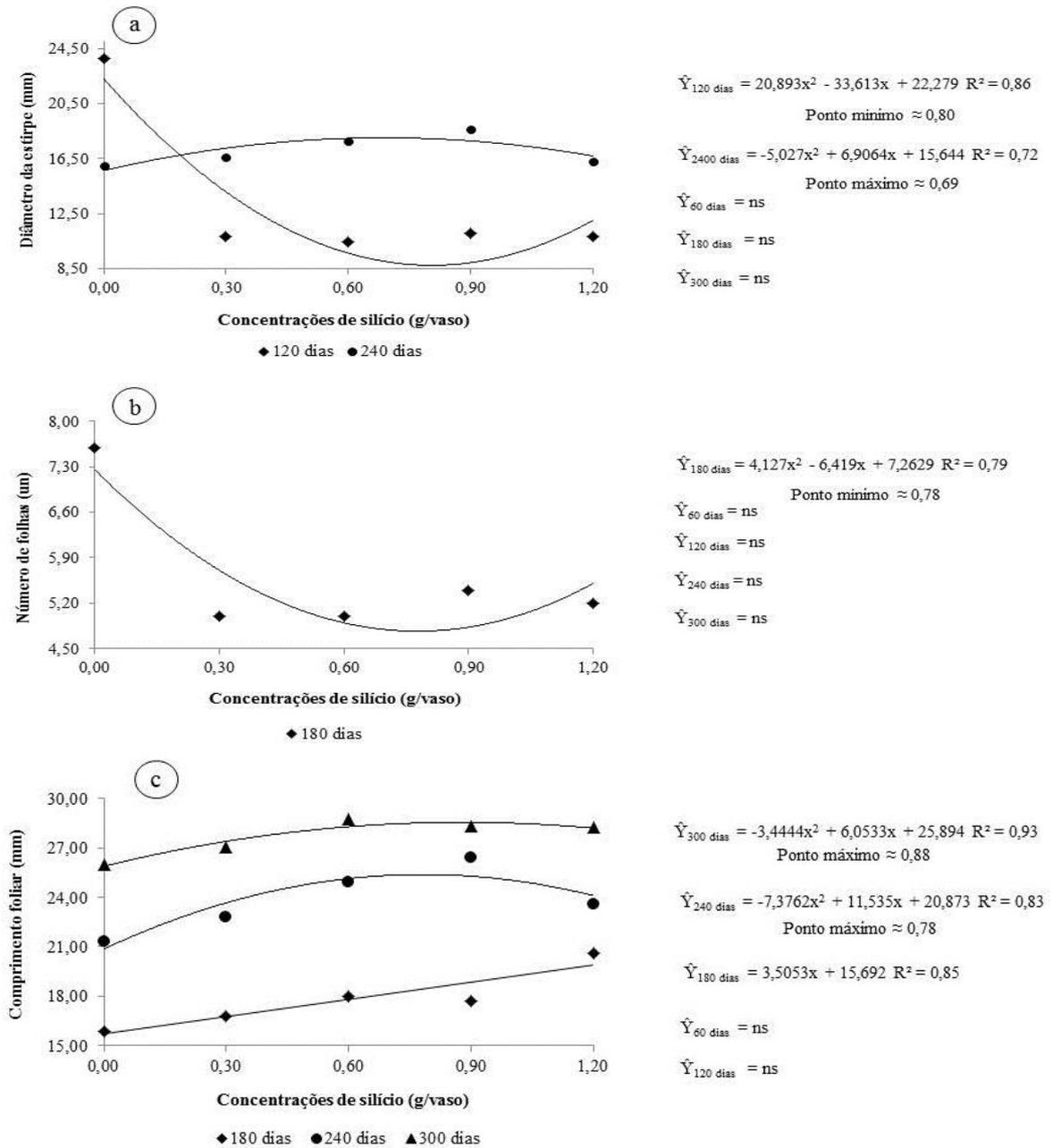
Figura 1 – Características fitotécnicas de plantas de coquinho-azedo (*Butia capitata*), em diferentes dias de avaliação. (Lavras, 2017)



Houve um comportamento linear no diâmetro da raiz, comprimento da raiz, biomassa fresca e seca da planta, altura da planta e número de raízes, ao decorrer dos dias de avaliação (Figura 1). Essa resposta reflete o crescimento e o desenvolvimento das plantas.

Para o diâmetro da estirpe, número de folhas e comprimento foliar, houve interação entre as concentrações de silício e os dias de avaliação. Assim, os fatores foram estudados em conjunto (Figura 2).

Figura 2 – Características fitotécnicas de plantas de coquinho-azedo (*Butia capitata*), submetidas a concentrações de silício e dias de avaliação. (Lavras, 2017)



Observou-se um comportamento quadrático para diâmetro da estirpe até a concentração 0,69 g/vaso de silício, para 240 dias. Já para 120 dias, ocorreu um decréscimo do diâmetro da estirpe até a concentração 0,80 g/vaso de silício (Figura 2a).

Marschner (1995) afirma que o silício pode estimular o crescimento e a produção vegetal por meio de várias ações como formação de folhas mais eretas como consequência diminuição do autossombreamento, aumentando a produção de fotoassimilados devido ao incremento nas taxas fotossintéticas.

Esses resultados corroboram os de Souza et al. (2012) e Costa et al. (2016) que observaram comportamento quadrático no diâmetro do caule do cacaueteiro (*Theobroma cacao*) e maracujazeiro (*Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa* Deg.), respectivamente, tratados com silício.

Verificou-se decréscimo para o número de folhas até a concentração 0,78 g/vaso de silício nos 180 dias (Figura 2b).

As folhas são os órgãos responsáveis pela fotossíntese em plantas e produzem mais de 90% de carboidratos vegetais (TAIZ; ZEIGER, 2013). Assim, as reduções no número de folhas podem influenciar o acúmulo de matéria seca em vegetais. Este fato não foi verificado neste estudo, de modo que a redução no número de folhas não teve efeito na matéria seca das plantas de coquinho-azedo.

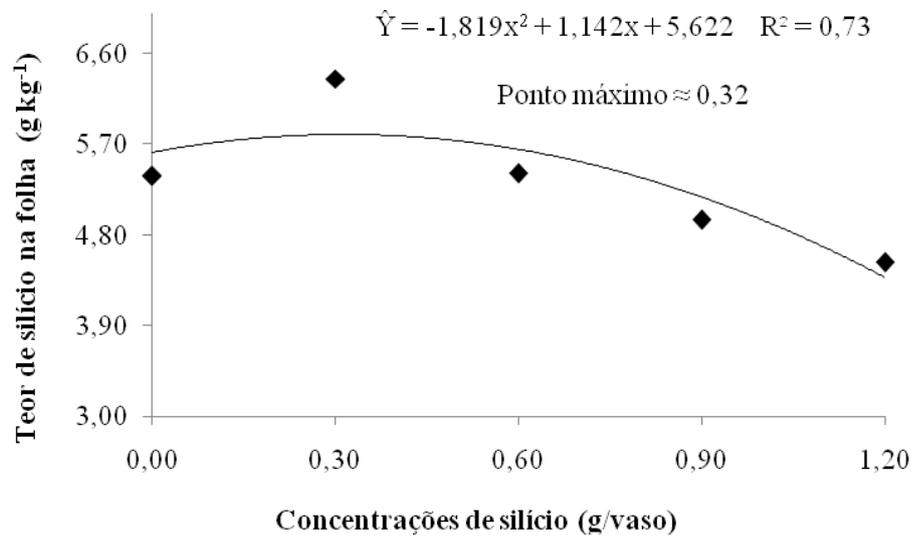
Diferente do ocorrido neste experimento, Sá et al. (2015) observaram o comportamento quadrático das folhas de mamoeiro (*Carica papaya* L.) tratado com silício.

Houve comportamento quadrático para o comprimento foliar até a concentração 0,78 g/vaso de silício, para os 240 dias, e 0,88 g/vaso de silício para os 300 dias. Para os 180 dias, constatou-se comportamento linear do comprimento foliar à medida que houve o incremento da concentração de silício (Figura 2c).

Estudos têm demonstrado que a oferta de silício pode influenciar positivamente no crescimento vegetal e na produtividade (SÁVIO et al., 2011). O comprimento foliar está relacionado ao crescimento do vegetal, visto que as folhas são os órgãos responsáveis pela fotossíntese em plantas e produzem mais de 90% de carboidratos vegetais (TAIZ; ZEIGER, 2013). Desse modo, o resultado encontrado neste experimento torna-se importante, pois o comprimento foliar teve um comportamento quadrático de acordo as concentrações de silício.

Houve comportamento quadrático para o percentual de silício na folha até a concentração de 0,32 g/vaso de silício (Figura 3).

Figura 3 – Teor de silício na folha de coquinho-azedo (*Butia capitata*) submetida a concentrações de silício. (Lavras, 2017)

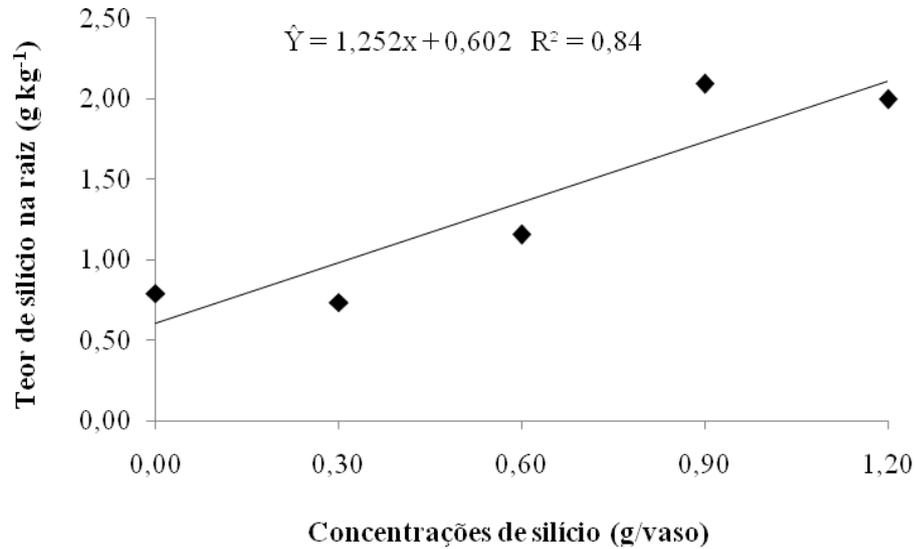


A presença de silício na testemunha pode ser explicada pelo fato de o silício ser um elemento abundante na natureza, estando presente em toda parte, inclusive na água (LUZ et al., 2006).

Esses resultados estão em consonância com os encontrados por Ferreira et al. (2013) que verificaram diferença entre os tratamentos para o teor foliar de silício em ameixeira (*Prunus salicina*). Da mesma forma, Costa et al. (2016) também verificaram diferenças entre as concentrações de silício para a mesma variável em folhas de maracujazeiro (*Passiflora edulis* Sims. f. *flavicarpa* Deg.).

De acordo a figura 4, houve o comportamento linear no percentual de silício na raiz à medida que se incrementou a concentração de silício.

Figura 4 – Teor de silício na raiz de coquinho-azedo (*Butia capitata*) submetida a concentrações de silício. (Lavras, 2017)



A concentração de sílica é maior na parte aérea que na raiz e é maior nas folhas velhas em relação às folhas novas (WIESE et al., 2007). 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 neste trabalho que o coquinho-azedo é considerado uma planta acumuladora de silício na raiz e na folha, pois, segundo Ma et al. (2001), plantas acumuladoras de Si são aquelas com teores superiores a 1 g kg⁻¹ de Si na massa seca, como arroz e trigo; plantas como soja e cucurbitáceas são consideradas intermediárias, com 0,5 a 1 g kg⁻¹ de Si e as plantas não acumuladoras possuem concentração de Si na massa seca inferior a 0,5 g kg⁻¹.

Os resultados desta pesquisa confirmam os de Costa et al. (2016), que concluíram que o maracujazeiro é acumulador de silício na raiz.

Houve diferença significativa entre os tratamentos para o conteúdo de DNA. A concentração 0,90 g/vaso de silício proporcionou maior conteúdo de DNA em relação aos demais tratamentos (Tabela 1).

Tabela 1 – Quantificação de DNA de folhas de coquinho-azedo (*Butia capitata*) analisada por citometria de fluxo. (Lavras, 2017)

Concentrações de silício (g/vaso)	Conteúdo de DNA (pg) *
Testemunha	4,55 b
0,30	4,63 b
0,60	4,51 b
0,90	4,91 a
1,20	4,26 b
CV (%)	6,30

*Médias seguidas das mesmas letras na coluna pertencem a um mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$).

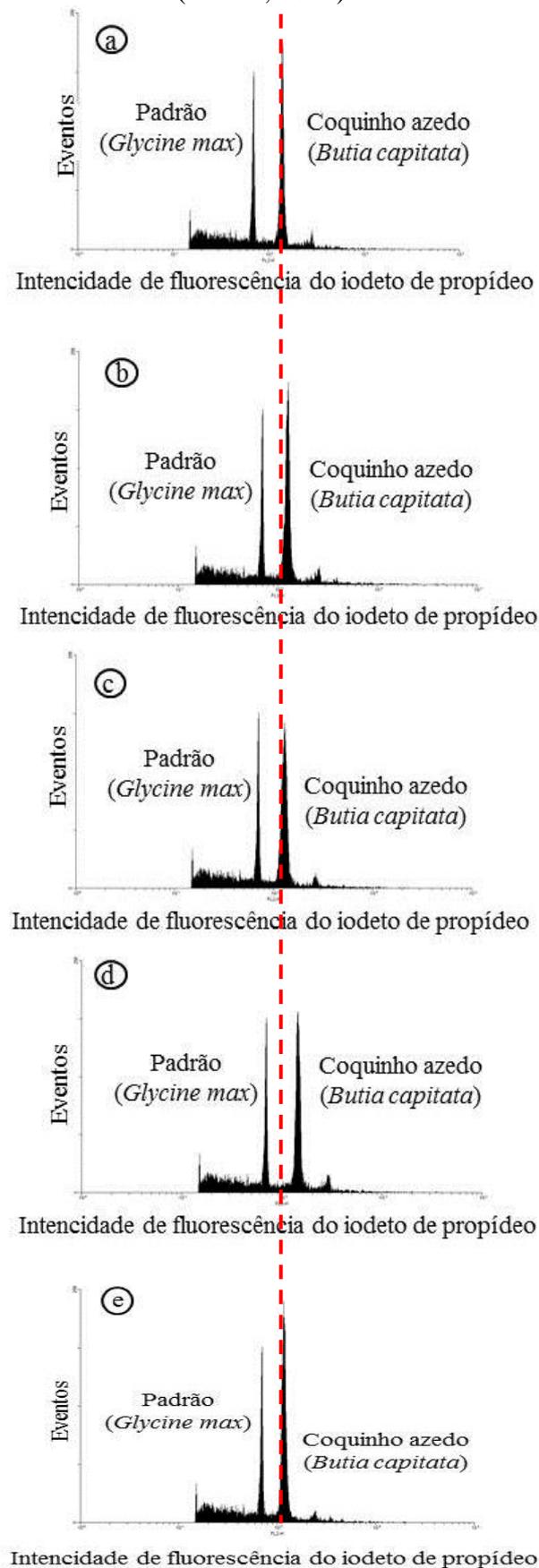
A técnica de citometria de fluxo é capaz de distinguir diferenças no conteúdo de DNA de plantas que foram mantidas em condições estressantes, como micropropagação, ou que foram submetidas a tratamentos químicos (COSTA et al., 2016).

Não há pesquisas sobre o silício alterando o conteúdo de DNA de plantas. Do mesmo modo, Costa et al. (2016) não relataram alterações no conteúdo de DNA de plantas de maracujazeiro (*Passiflora edulis* Sims. f. *flavicarpa* Deg.) tratadas com silício. Contudo, este estudo demonstrou o efeito deste nutriente na estabilidade genética de plantas de coquinho-azedo, uma vez que o silício modificou o conteúdo de DNA das plantas.

É possível sugerir que possa estar acontecendo algum tipo de alteração a nível cromossômico em plantas tratadas com doses altas de silício, o que deve ser evitado. Logo, pode-se ressaltar uma maior quantidade de DNA para a amostra na concentração 0,90 g/vaso de silício (Figura 5 D), comparando com a testemunha. Quando o pico da amostra se encontra mais à direita (linha de referência), em relação à amostra padrão, isso é um indício de maior conteúdo de DNA presente na amostra.

Neste trabalho, utilizou-se como padrão interno a soja (*Glycine max*), que tem o conteúdo de DNA de 2,50 pg (Figura 5). 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 o erro experimental.

Figura 5 – Histogramas obtidos pela análise de citometria em coquinho-azedo (*Butia capitata*). a) Testemunha; b) 0,30 g/vaso; c) 0,60 g/vaso; d) 0,90 g/vaso; e) 1,20 g/vaso de silício. (Lavras, 2017)



Outro ponto positivo neste estudo foi que a média dos coeficientes de variação (CV) para as amostras foliares variou entre 0,57 e 0,73. Esses valores demonstraram a qualidade dos resultados obtidos, e a confiabilidade nas estimativas de quantidade de DNA das folhas de coquinho-azedo (Tabela 1). Isso pode ser observado pela espessura dos picos na Figura 5.

4 CONCLUSÕES

O uso de silício em concentrações de 0,78 e 0,88 g/vaso proporciona melhor crescimento de coquinho-azedo.

O coquinho-azedo é uma planta acumuladora de silício na folha e raiz.

O conteúdo de DNA é modificado nas plantas de coquinho-azedo na concentração 0,90 g/vaso de silício.

REFERÊNCIAS

- BAIRU, M. W.; AREMU, A.O.; VAN STADEN, J. Somaclonal variation in plants: causes and detection methods. **Plant Growth Regulation**, v. 63, n.2, p.147-173, 2011.
- COSTA, B. N. S.; DIAS, G. D. M. G.; COSTA, I. D. J. S.; ASSIS, F. A.; SILVEIRA, F. A.; PASQUAL, M. Effects of silicon on the growth and genetic stability of passion fruit. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 38, n. 4, p.503-511, 2016.
- DANTAS, A. A. A.; CARVALHO, L. G.; FERREIRA, E. Classificação e tendência climática em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1862-1866, 2007.
- DICKINSON, B. **Cell Quest Software**: reference manual. San Jose: Becton Dickinson Immuno cytometry Systems, 1998. 227 p.
- DPOOLEŽEL, J.; BINAROVA, P.; LUCRETTI, S. Analysis of nuclear DNA content in plantcells by flow cytometry. **Biol Plantarum**, Prague, v. 31, n. 2, p. 113-120, 1989.
- EPSTEIN, E. The anomaly of silicon in plant biology. **Proceedings of National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 91, n. 1, p. 11-17, 1994.
- EPSTEIN, E.; BLOOM, A. **Mineral Nutrition of Plantas: Principles and Perspectives**. 2a ed., Sinuauer Associates. Inc., 2005. 400 p.
- FAWE, A.; MENZIES, J. G.; CHÉRIF, M.; BÉLANGER, R. R. Silicon and disease resistance in dicotyledons. **Studies in Plant Science**, v. 8, p. 159-169, 2001.
- FERREIRA, D. F. SISVAR: a computer statistical analysis system. **Ciência e agrotecologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.
- FERREIRA, S. G. M.; BOTELHO, R. V.; FARIA, C. M. D. R.; MATEUS, M. A. F.; ZALUSKI, W. L. Development and fitossaninity on plum trees treated with silicon in organic system. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 35, n. 4, p. 1059-1065, 2013.
- JIN, S.; MUSHKE, R.; ZHU, H.; TU, L.; LIN, Z.; ZHANG, Y.; ZHANG, X. Detection of somaclonal variation of cotton (*Gossypium hirsutum*) using cytogenetics, flow cytometry and molecular markers. **Plant Cell Reports** , v. 27, n. 8, p. 1303-1316, 2008.
- LUZ, J. M. Q.; GUIMARÃES, S T. M. R.; KORNDÖRFER, G. H. Produção hidropônica de alface em solução nutritiva com e sem silício. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 24, n. 3, p. 295-300, 2006.
- KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; NOLLA, A. Análise de silício: solo, planta e fertilizante. Uberlândia MG: Instituto de Ciências Agrárias. Universidade Federal de Uberlândia. **Boletim Técnico Boletim Técnico**, v. 2, 34p. 2004.
- MA, J. F.; MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Silicon as a beneficial element for crop plants. **Studies in plant Science**, v. 8, p. 17-39, 2001.

- MARTINS, E. R. Projeto conservação de recursos genéticos de espécies frutíferas nativas do norte mineiro: coleta, ecogeografia e etnobotânica. **Montes Claros: UFMG**, 2003.
- MARSCHNER, H. Ion uptake mechanisms of individual cells and roots: short-distance transport. **Mineral nutrition of higher plants 2nd ed. Academic Press, New York**, p. 6-78, 1995.
- MOURA, R. C. **Caracterização vegetativa e reprodutiva do coquinho-azedo, *Butia capitata* (Martius) Beccari (Arecaceae), no norte de Minas Gerais**. 2008. 73 f. Dissertação (Mestrado em Agroecologia)–Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros, 2008.
- PEREIRA, R. R. C.; MORAES, J. C.; PRADO, E.; DACOSTA, R. R. Resistance inducing agents on the biology and probing behaviour of the greenbug in wheat. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 67, n. 4, p. 430-434, 2010.
- RAVEN, J. A. The transport and function of silicon in plants. **Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society**, v. 58, n. 2, p. 179-207, 1983.
- SÁ, F. V. S.; ARAUJO, J. L.; OLIVEIRA, F. S.; SILVA, L. A.; MOREIRA, R. C. L.; SILVA NETO, A. N. Influence of silicon in papaya plant growth. **Científica**, v. 43, n. 1, p. 77-83, 2015.
- SANTOS, G. R.; CASTRO NETO, M. D.; CARVALHO, A. R. S.; FIDELIS, R. R.; AFFÉRI, F. S. Fontes e doses de silício na severidade do crestamento gomoso e produtividade da melancia. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 26, n. 2, p. 266-272, 2010.
- SARMENTO, M. B.; VILLELA, F. A. Sementes de espécies florestais nativas do Sul do Brasil. **Informativo Abrates**, v. 20, n. 1-2, p. 39-44, 2010.
- 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.
- SILVA, M. L. S.; RESENDE, J. T. V.; TREVIZAM, A. R.; FIGUEIREDO, A. S. T.; SCHWARZ, K. Influência do silício na produção e na qualidade de frutos do morangueiro. **Semina: Ciências Agrárias, Londrina**, v. 34, n. 6 Supl1, p. 3411-3424, 2013.
- SMULDERS, M. J. M.; KLERK, G. J. Epigenetics in plant tissue culture. **Plant Growth Regulation**, v. 63, n.2, p.137-146, 2011.
- SOUZA, C. A. S.; PINTO, D. G.; AGUILAR, M. A. G.; COELHO, R. L.; GASPARINI JÚNIOR, A. J.; CAO, J. R.; BRAGA, T. Z.; SIQUEIRA, P. R. Influência do silício sobre o crescimento, a fluorescência da clorofila *a* e na incidência de insetos-pragas em genótipos de cacau. **Agrotrópica**, v. 24, n. 1, p. 31-40, 2012.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5.ed. Porto Alegre: Artmed. 2013. 918p.
- TROTTER, J. **WinMDI©**: version 2.8. La Jolla: The Scripps Research Institute, 2000. Disponível em: <<http://facs.scripps.edu/software.html>>

WERNER, D. Silicate metabolism. In: WERNER, D. **The biology of diatoms**, Oxford: Blackwells Scientific, v. 13, p.110-149, 1977.

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, p. 33-47, 2007.

CAPÍTULO 3

Silício nas trocas gasosas e características anatômicas de plantas de coquinho-azedo (*Butia capitata*)

RESUMO

Butia capitata (Mart.) Becc., também conhecido como coquinho-azedo, é uma palmeira endêmica das regiões de cerrado do Brasil central. Técnicas de manejo ainda são poucas estudadas nessa espécie, como por exemplo a adubação. Sabe-se que a adubação silicatada favorece a fotossíntese por interferir na arquitetura das folhas deixando-as mais eretas, melhorando a interceptação de luz. Objetivou-se avaliar o efeito da adubação silicatada na anatomia foliar e radicular, características ultraestruturais e trocas gasosas de plantas de coquinho-azedo. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, com cinco tratamentos e 8 plantas/parcela, totalizando 400 plantas. Foram utilizadas 10 repetições por tratamento. Os tratamentos consistiram de cinco concentrações (0; 0,30; 0,60; 0,90 e 1,20 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 da estirpe das plantas (*drench*), os vasos que constituíram o controle (testemunha) receberam água na mesma quantidade. Foram realizadas análises anatômicas, ultraestruturais e trocas gasosas. Conclui-se que o silício proporciona alterações na anatomia foliar e radicular de *Butia capitata*. A concentração 0,60 g/vaso de silício propicia menor densidade estomática da face adaxial da folha. Os tratamentos 0,90 e 1,20 g/vaso de silício proporcionam maior relação DP/DE da face adaxial da folha. As concentrações 0,60 e 1,20 g/vaso de silício incrementam as características anatômicas da raiz. O silício proporciona aumento no número de feixes condutores, taxa fotossintética e transpiratória. Há deposição de silício em ambas as faces das folhas de *Butia capitata*.

Palavras-chave: Ácido silícico. Palmeira. Adubação silicatada. *Arecaceae*.

Silicon in gas exchange and anatomical characteristics of coquinho-azedo (*Butia capitata*)

ABSTRACT

Butia capitata (Mart.) Becc., also known as coquinho-azedo, is a palm tree endemic of the cerrado regions of central Brazil. Management techniques are few studied in this species yet, such as fertilization. It is known that silicate fertilization favors photosynthesis by interfering with the leaves' architecture, leaving them more upright, improving the light interception. The objective of this study was to evaluate the effect of silicate fertilization on foliar and root anatomy, ultrastructural characteristics and gas exchange of coquinho-azedo plants. The design was completely randomized, with five treatments and 8 plants / plot, totaling 400 plants. Ten replicates were used per treatment. The treatments consisted of five concentrations (0, 0.30, 0.60, 0.90 and 1.20 g / pot) of silicon, in the form of 1% silica solution ($\text{SiO}_2 \cdot \text{XH}_2\text{O}$). This solution was applied around the drench strain, the pots that constituted the control received water in the same amount. Anatomical, ultrastructural and gas exchange analyzes were performed. It is concluded that silicon changes the leaf and root anatomy of *Butia capitata*. The concentration 0.60 g / pot of silicon provides less stomatal density of the adaxial side of the leaf. The treatments 0.90 and 1.20 g / silicon pot provide higher PD / ED ratio of the adaxial side of the leaf. The concentrations 0.60 and 1.20 g / pot of silicon increase in the anatomical characteristics of the root. The silicon increases the number of conducting vases, photosynthetic and transpiratory rate. There is deposition of silicon on both sides of *Butia capitata* leaves.

Keywords: Silicic acid. Palm tree. Silicate fertilization. *Areaceae*.

1 INTRODUÇÃO

Butia capitata (Mart.) Becc., também conhecido como coquinho-azedo, é uma palmeira endêmica das regiões de cerrado do Brasil central (LORENZI et al., 2010), com grande potencial econômico, pois seus frutos são amplamente utilizados pelas populações regionais na fabricação de sucos, sorvetes e picolés (MARTINS, 2003; MOURA, 2008).

A espécie em estudo corre risco de extinção devido ao extrativismo intensivo de seus frutos e, além disso, a propagação dessa palmeira é exclusivamente via sementes (LORENZI et al., 2004), cuja germinação é baixa, lenta e desuniforme, necessitando de até um ano para completar o seu processo germinativo (FERNANDES, 2008; MOURA, 2008). Esses fatores limitam a regeneração das populações naturais, pois, além da propagação dessa espécie ser difícil, não há cultivos comerciais para diminuir o risco de extinção. Portanto, a produção de mudas e técnicas que otimizem a germinação dessa palmeira são necessárias.

A adubação silicatada tem demonstrado efeito benéfico sobre o aumento de produção de diversas culturas (GOMES et al., 2008), ademais a deposição de silício 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).

Sabe-se que a folha é um órgão com alta plasticidade, assim a melhoria na interceptação de luz pode influenciar na anatomia desse órgão, o que é revelado por estudos que mostram que a aplicação de silício proporcionou mudanças na anatomia foliar de orquídeas (SOARES et al. 2012), morangueiro (BRAGA et al., 2009), cafeeiro (BOTELHO et al., 2009) e antúrio (DIAS et al., 2014).

Além disso, outros benefícios fisiológicos são advindos da nutrição ocasionada pelo silício como o aumento no teor de clorofila, aumento na atividade da enzima de carboxilação (Rubisco) e diminuição da transpiração (EPSTEIN, 1994).

Diante disso, objetivou-se avaliar o efeito da adubação silicatada na anatomia foliar e radicular, características ultraestruturais e trocas gasosas de plantas de coquinho-azedo (*Butia capitata*).

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na área experimental do Setor de Fruticultura da Universidade Federal de Lavras (UFLA), cujas coordenadas geográficas são 21°14' S, longitude 45° 00' W e 918 m de altitude. De acordo com a classificação climática de Köppen (DANTAS et al., 2007), o clima é Cwa.

Os frutos de coquinho-azedo (*Butia capitata*) foram colhidos na safra de 2014/2015 na localidade de Mirabela, região Norte do Estado de Minas Gerais, despulpados manualmente, mantidos à sombra para secagem durante quatro dias e levados ao Laboratório de Cultura de Tecidos do Departamento de Agricultura. As sementes foram retiradas do endocarpo com auxílio de torno de mesa, tratadas com fungicida carboxin-thiram (Vitavax®-thiran 200 SC), imersas em solução do fungicida na sua concentração pura, e secas à sombra por 4 horas.

Em seguida, as sementes foram levadas à câmara de fluxo laminar onde se retirou o opérculo da cavidade embrionária, e semeadas em bandejas de plástico com capacidade para 50 sementes, contendo vermiculita de textura média como substrato (60mg + 300ml de água destilada). As bandejas foram colocadas em incubadora tipo BOD, com temperatura constante de 30° C e umidade de 80%, com fotoperíodo de 12 horas, por um período de 30 dias até total germinação. Posteriormente, as plantas foram acondicionadas em vasos de polietileno, contendo 1,1 kg de substrato Tropstrato®, os quais foram dispostos aleatoriamente sobre a bancada da casa de vegetação e irrigados diariamente.

Os tratamentos consistiram de cinco concentrações (0; 0,30; 0,60, 0,90 e 1,20 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 da estirpe das plantas (*drench*), sendo a primeira aplicação realizada 60 dias após o plantio. No total, foram realizadas cinco aplicações, aos 60, 120, 180, 240 e 300 dias, mesmo período das avaliações. Os vasos que constituíram o controle (testemunha) receberam água na mesma quantidade. As análises realizadas foram:

Análises anatômicas

Para as análises anatômicas foram coletadas 10 plantas por tratamento. Amostras dos tecidos foliares e radiculares foram fixadas 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 aço, que foram submetidas à

clarificação com hipoclorito de sódio (1% - 1,25% de cloro ativo), tríplice 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 e transversais da raiz 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 Image pro plus, com a medição de seis campos por repetição, para cada variável analisada. Dentro de cada campo foram realizadas seis medições e obtida a média. Para as secções transversais da folha foi determinada a espessura do parênquima e das epidermes das faces adaxial e abaxial. Nas secções transversais da raiz foram mensurados perímetro da raiz e periciclo, espessura da epiderme e parênquima, número de feixes condutores e área da raiz. Para a caracterização dos estômatos, foram analisados a densidade estomática (número de estômatos por mm^2) das faces adaxial e abaxial, o diâmetro polar (DP), o diâmetro equatorial (DE) e a relação DP/DE, obtidos em microscópio Olympus CBB e Ken-a-vision 2100.

Características ultraestruturais

As análises foram realizadas no Laboratório de Microscopia Eletrônica, no Departamento de Fitopatologia da UFLA. Amostras do terço mediano de quatro 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-EVO40, seguindo o protocolo de Alves (2004).

Trocas gasosas

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 10 plantas por tratamento, a partir das

08h00min, e a densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos foi fixada na câmara do aparelho para $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

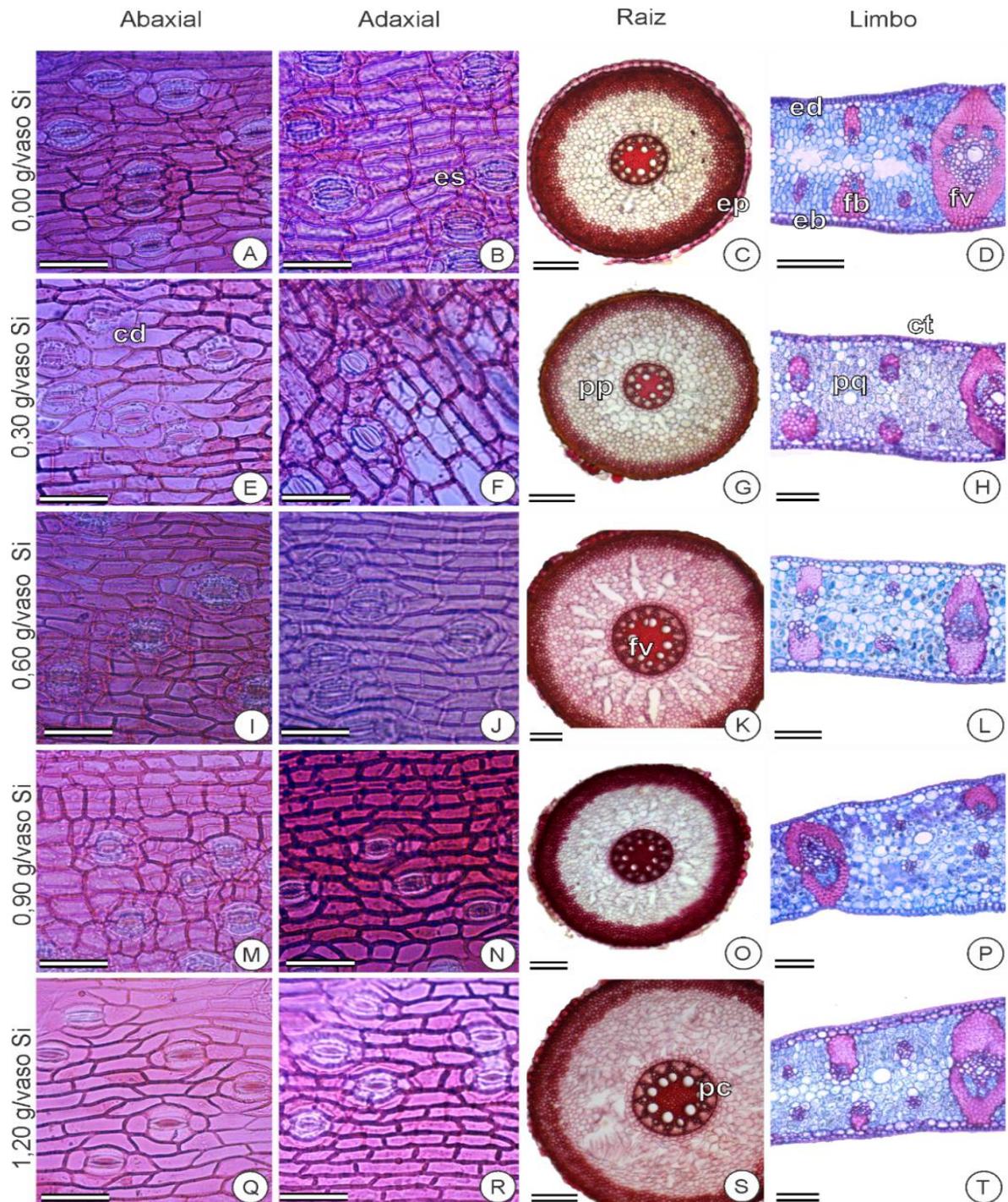
O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, com cinco tratamentos e 8 plantas/parcela, totalizando 400 plantas. Todos os dados obtidos foram submetidos à análise de regressão, utilizando-se o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com relação à caracterização, os tecidos foram observados em todos os tratamentos. As folhas de *B. capitata* possuem epiderme uniestratificada e mesofilo homogêneo; no entanto, neste trabalho não foi possível a distinção segura dos dois tipos de parênquima. Ainda que, de acordo com Tomlinson et al. (2011) e Sant'anna-Santos et al. (2015), esta mesma espécie tenha sido classificada apresentando mesofilo isobilateral. Também foi possível verificar a presença de grande quantidade de fibras independente do tratamento (Figura 1).

Os estômatos estão dispostos em fileiras longitudinais, assim como descrito por Tomlinson (1961). Segundo esse autor, este tipo de organização é rara, mas encontrada em palmeiras com densidades estomáticas elevadas. A folha de coquinho apresenta estômatos do tipo tetracítico com células subsidiárias curtas e hexagonais em ambas as faces do limbo foliar, sendo denominada folha anfiestomática, estando de acordo com Sant'anna-Santos et al. (2015) (Figura 1).

Figura 1 – Fotomicrografias de folhas e raízes de coquinho-azedo (*Butia capitata*) cultivadas sob diferentes concentrações e silício. Primeira e segunda colunas: faces abaxial e adaxial da folha. Terceira coluna: seção transversal da raiz. Quarta coluna: seção transversal da folha. Faces abaxial e adaxial (barra = 50µm); raiz e limbo (barra = 100µm). Estômatos (es), células ordinárias (cd), epiderme (ep), parênquima de preenchimento (pp), feixe vascular (fv), periciclo (pc), epiderme adaxial (ed), epiderme abaxial (eb), fibra (fb), cutícula (ct) e parênquima (pq).(Lavras, 2017)



As concentrações de silício não influenciaram nos caracteres anatômicos avaliados (Tabela 1). Embora a folha seja um órgão de grande plasticidade, o silício não modificou a anatomia da espécie em estudo, por não estar em condições de estresse, pois o ambiente (casa de vegetação) pode ter proporcionado maior conforto às plantas.

Tabela 1 – Caracteres anatômicos de plantas de coquinho-azedo (*Butia capitata*), submetidas a concentrações de silício. Epiderme adaxial (ED), epiderme abaxial (EB), parênquima (PQ) e número de feixes (NF). (Lavras, 2017)

Concentrações de silício (g/vaso)	ED (µm)	EB (µm)	PQ (µm)	NF (un)
Testemunha	0,015 a	0,017 a	0,262 a	8,400 a
0,30	0,013 a	0,017 a	0,234 a	6,200 a
0,60	0,014 a	0,017 a	0,218 a	8,000 a
0,90	0,014 a	0,018 a	0,230 a	6,000 a
1,20	0,014 a	0,017 a	0,235 a	8,600 a
CV(%)	16,25	16,50	13,22	32,62

*Médias seguidas das mesmas letras na coluna pertencem a um mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$).

Os resultados encontrados neste trabalho ratificam os de Zanetti et al. (2016), em que a aplicação de silício não influenciou nos caracteres anatômicos de cacau (*Theobroma cacao*).

Já outros autores encontraram diferença na anatomia devido à aplicação de silício, tais como Dias et al. (2014), em antúrio (*Anthurium adreaenum* cv. Rubi) e Soares et al. (2012), em orquídea nativa (*Brassavola perrinii*) e orquídea híbrida ((*Laeliacattleya* Culminantes "Tuilerie" x *Laeliacattleya* Sons Atout Rotunda) x *Brassolaeliacattleya* Startifire Moon Beach).

Todos os tratamentos proporcionaram maior densidade estomática da face adaxial quando comparados ao tratamento de 0,60 g/vaso de silício. Já para a densidade estomática da face abaxial, não houve diferença entre os tratamentos (Tabela 2).

O aumento da densidade estomática está geralmente relacionado com uma maior condutância estomática (JUSTO et al., 2005), evitando que a fotossíntese seja limitada sob condições adversas (LIMA JR. et al., 2006), e ao aumento da captação de CO₂, que permite taxas fotossintéticas mais elevadas (NIINEMETS & TENHUNEN, 1997).

Resultados similares foram encontrados por Dias et al. (2014) que verificaram a influência do silício na densidade estomática adaxial de plantas de antúrio.

Tabela 2 – Densidade estomática (DS) e relação diâmetro polar/diâmetro equatorial, de folhas de coquinho-azedo (*Butia capitata*) submetidas a concentrações de silício. (Lavras, 2017)

Concentrações de silício (g/vaso)	DS adaxial	DS abaxial	DP/DE adaxial	DP/DE abaxial
	estômatos mm ⁻²			
Testemunha	197,545 a	187,850 a	3,214 b	4,676 a
0,30	194,209 a	187,407 a	2,552 c	3,701 a
0,60	133,876 b	227,878 a	3,074 b	4,278 a
0,90	217,731 a	211,159 a	3,900 a	3,952 a
1,20	184,239 a	251,319 a	3,546 a	3,985 a
CV(%)	18,63	18,56	10,50	14,15

*Médias seguidas das mesmas letras na coluna pertencem a um mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$).

As concentrações 0,90 e 1,20 g/vaso de silício proporcionaram maior relação (DP/DE) adaxial quando comparadas aos demais tratamentos. Já a testemunha e a concentração 0,60 promoveram maior valor dessa mesma característica em relação aos demais tratamentos. Porém, para a relação (DP/DE) abaxial não houve diferença entre os tratamentos (Tabela 2).

Sha Valli 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.

Variações no tamanho e frequência de estômatos evidenciam a capacidade que as plantas possuem de rearranjar essas estruturas da epiderme em resposta às modificações ambientais, fazendo com que haja maior atuação dos estômatos nas trocas gasosas e transpiração, de forma adequada (ROSSATTO et al., 2009).

Quanto aos aspectos anatômicos da raiz, as concentrações de silício promoveram diferenças significativas para todas as variáveis analisadas (Tabela 3).

Tabela 3 – Perímetro da raiz (PR), perímetro do periciclo (PP), espessura da epiderme (EE), espessura do parênquima (EP) e a área de raízes de coquinho-azedo (*Butia capitata*) submetidas a concentrações de silício. (Lavras, 2017)

Concentrações de silício (g/vaso)	PR	PP	EE	EP	Área (mm ²)
	mm				
Testemunha	3,31 b	0,88 b	0,04 b	0,35 c	0,88 b
0,30	3,47 b	0,78 b	0,04 b	0,38 b	0,96 b
0,60	4,22 a	1,09 a	0,05 a	0,47 a	1,41 a
0,90	3,71 b	1,00 a	0,04 b	0,41 b	1,10 b
1,20	4,15 a	1,17 a	0,04 b	0,46 a	1,37 a
CV(%)	4,82	8,13	16,21	4,86	9,04

*Médias seguidas das mesmas letras na coluna pertencem a um mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$).

As avaliações realizadas no tecido radicular demonstraram aumento do PR, PP, EP e área total de seção transversal de raiz à medida que se aumentava a concentração de Si, com exceção da concentração de 0,90 g/vaso (Tabela 3). O aumento destes parâmetros pode estar associado ao efeito benéfico do Si no ecossistema solo-raiz. Os solos brasileiros, em geral, são pobres e podem apresentar ocorrência de elementos como Al, Zn, Cu, Cd. O uso de Si pode reverter os danos causados por estes elementos que envolvem redução do crescimento e modificações na textura e coloração (RAMOS et al. 2009; VACULIK et al. 2012; LIU et al. 2014).

Ramos et al. (2009) verificaram reversão na redução do crescimento radicular na presença de Zn mitigado por aplicação de Si. O mecanismo de ação do Si na reversão da redução do crescimento parece estar relacionado à capacidade deste elemento em aumentar a translocação de P, K, Ca, S, Fe, Mn, antes reduzida pelo excesso de Zn, favorecendo assim, o crescimento radicular. Além disso, o Si participa de mecanismos de redução da toxidez por manganês (Mn), não só aumentando a adsorção de Mn pelas paredes celulares, como participando de uma remoção ativa do excesso (VACULIK et al., 2012; SHI et al., 2005).

A capacidade do Si em reduzir a absorção excessiva ou imobilizar elementos em excesso deve ser ressaltada, uma vez que o excesso de um elemento pode interferir na absorção de outros necessários ao crescimento. Participa também da desintoxicação de alumínio (Al) baseada na redução do Al³⁺ contido no citoplasma e a formação de aluminossilicatos solúveis em água e/ou hidroxialumínio silicatos no espaço apoplástico, em particular nas paredes celulares da epiderme (WANG et al., 2007). Também reverte a redução do aumento em biomassa causado por excesso de Cd e Cu (DORNE et al., 2011; KHANDEKAR; LEISNER, 2011).

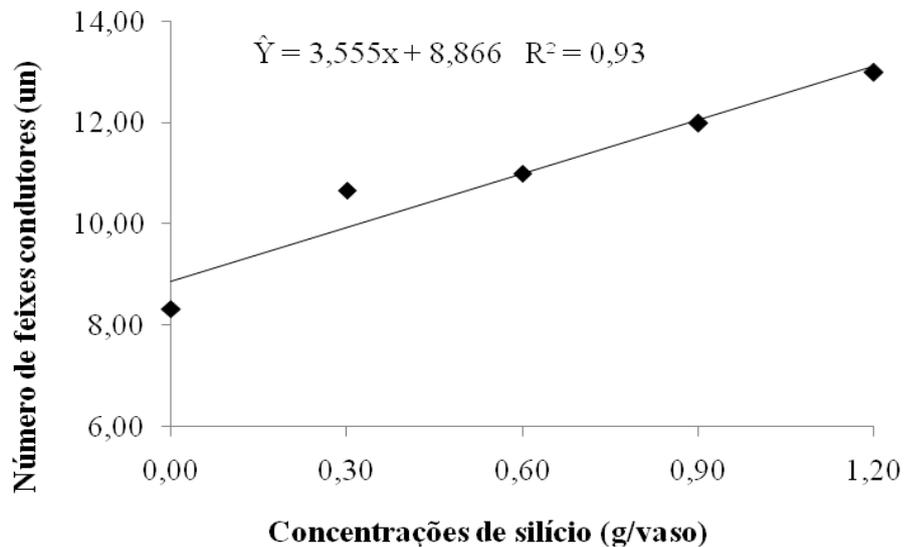
De acordo com a Tabela 3, a variável EE não apresentou aumento significativo com o incremento da concentração de Si, apresentando-se como uma camada unisseriada coberta por uma camada cerosa (Figura 1).

O maior crescimento radicular e aumento da biomassa relacionados ao Si podem também estar envolvidos a diversos mecanismos, como melhora na resistência à seca, como em plantas de soja e arroz (SHEN et al., 2010; NOLLA et al., 2012). Esses mecanismos envolvidos incluem a diminuição da transpiração e a manutenção do teor de água por meio de depósitos de sílica na cutícula foliar, tal como observado no arroz (MATOH et al., 1991). Ajuste do potencial osmótico por meio de mudanças no acúmulo de prolina, íons inorgânicos e outros solutos osmóticos, como visto em sorgo e arroz (SONOBE et al., 2010; MING et al., 2012). Essas adaptações metabólicas podem favorecer o crescimento da raiz tanto em tamanho quanto em espessura.

Desse modo, o papel do Si no aumento do crescimento radicular e aumento de sua biomassa em diferentes espécies de plantas afetadas pela toxicidade de diversos elementos no solo é evidente. Contudo, os diferentes mecanismos de mitigação não são ainda totalmente compreendidos. A raiz é o órgão de contato direto com o solo, responsável pela absorção de vários elementos. Alterações desencadeadas pelo Si no desenvolvimento de tecidos radiculares podem influenciar a absorção e o transporte de diversos compostos. Por outro lado, Si pode diminuir a concentração desses íons tóxicos, ligando-os ao espaço apoplástico, tais como a parede celular, ou sequestrando-os nos vacúolos.

Houve comportamento linear no número de feixes condutores com o incremento na concentração de silício (Figura 2).

Figura 2 – Número de feixes condutores de raízes de coquinho-azedo (*Butia capitata*) submetidas a concentrações de silício. (Lavras, 2017)



Esses resultados são similares aos de Ramos et al. (2009) que relataram o papel do Si na melhoria da translocação de íons, pois constataram que à medida que se aumentava a concentração de Si, houve aumento no número de polos de feixes condutores em eucalipto.

O efeito do Si em evitar a lignificação precoce de elementos dos tecidos condutores foi relatado por Vaculik et al. (2012), e pode estar relacionado ao transporte de elementos minerais no xilema bem como a diferenciação de um maior número de polos desses elementos.

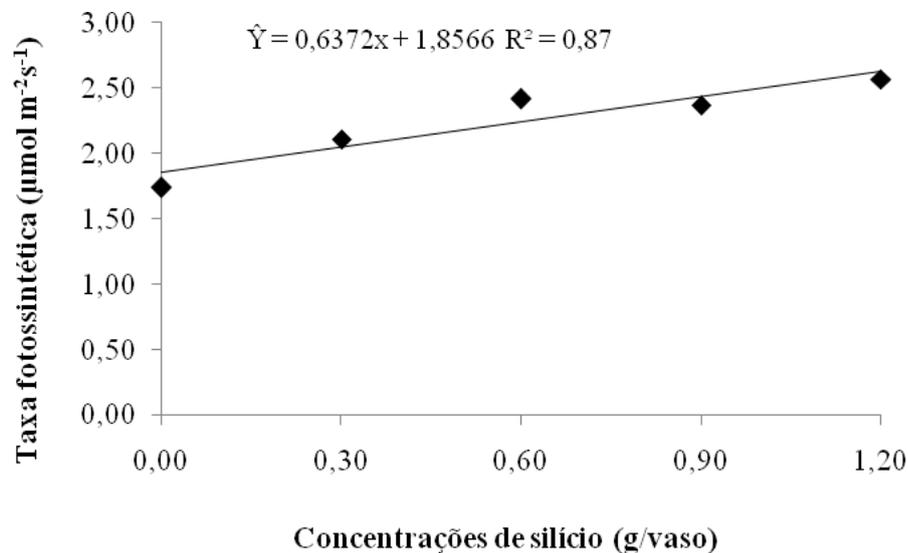
Adicionalmente tem-se demonstrado o papel do Si na melhoria da capacidade de transporte de água relacionada a aquaporinas, que são proteínas integrais de membranas celulares essenciais ao transporte de água nas células. Plantas suplementadas com Si apresentam aumento na atividade dessas proteínas, por induzir a transcrição de genes para síntese dessas moléculas (LIU et al., 2014). Assim, são mais eficientes na absorção de água pelas plantas. Como os elementos minerais são absorvidos pelas plantas via corrente transpiratória em solução com a água, ressalta-se a participação do Si no maior crescimento. Além disso, há comprovada relação entre o Si e o aumento das taxas transpiratórias em plantas (LIU et al. 2014). Com aumento da taxa transpiratória, aumenta-se o fluxo de água, associada aos elementos minerais do solo, que são translocados para a planta pela raiz.

Sendo assim, o papel do Si vai além de contribuir para a desintoxicação das plantas quando expostas a solos contaminados. Contribui também para aumento das taxas de

crescimento, por meio do fluxo transpiratório e transporte de elementos minerais importantes para o desenvolvimento das estruturas da planta.

Ocorreu comportamento linear na taxa fotossintética com incremento na concentração de silício (Figura 3). 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).

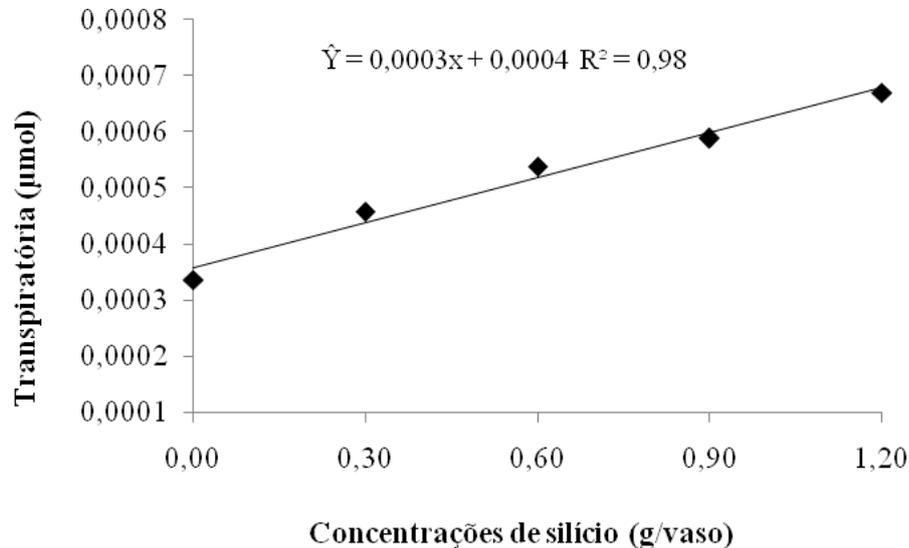
Figura 3 – Taxa fotossintética de plantas de coquinho-azedo (*Butia capitata*), submetidas a concentrações de silício. (Lavras, 2017)



Estudos recentes também têm demonstrado o efeito benéfico do silício sobre a fotossíntese em cacau *Theobroma cacao* (ZANETTI et al., 2016; PINTO et al., 2012), cana-de-açúcar *Sacharum spp.* (MADEIROS et al., 2009), café *Coffea arabica* (BOTELHO et al., 2009) e soja *Glycine max* (SHEN et al., 2010).

Conforme a Figura 4, houve comportamento linear na transpiratória com o incremento na concentração de silício. Isso pode ter ocorrido porque a abertura estomática está diretamente ligada às taxas fotossintéticas e à transpiração, e, ao mesmo tempo em que a planta absorve CO₂ para a fotossíntese, ela perde água (PINTO et al., 2012).

Figura 4 – Transpiratória de plantas de coquinho-azedo (*Butia capitata*), submetidas a concentrações de silício. (Lavras, 2017)



Os resultados obtidos neste trabalho estão em desacordo com aqueles reportados por Pinto et al. (2012) que não encontraram diferença para a transpiração em plantas de cacau tratadas com silício. Já os resultados deste estudo corroboram os de Shen et al. (2010) em que a transpiração aumentou com a aplicação de silício em plantas de soja.

Com relação a condutância estomática (G_s), carbono interno (C_i), e relação carbono interno e externo (C_i/C_a), não houve diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 4).

Tabela 4 – Condutância estomática (G_s), carbono interno (C_i), e relação carbono interno e externo (C_i/C_a), em plantas de coquinho-azedo (*Butia capitata*) submetidas a concentrações de silício. (Lavras, 2017)

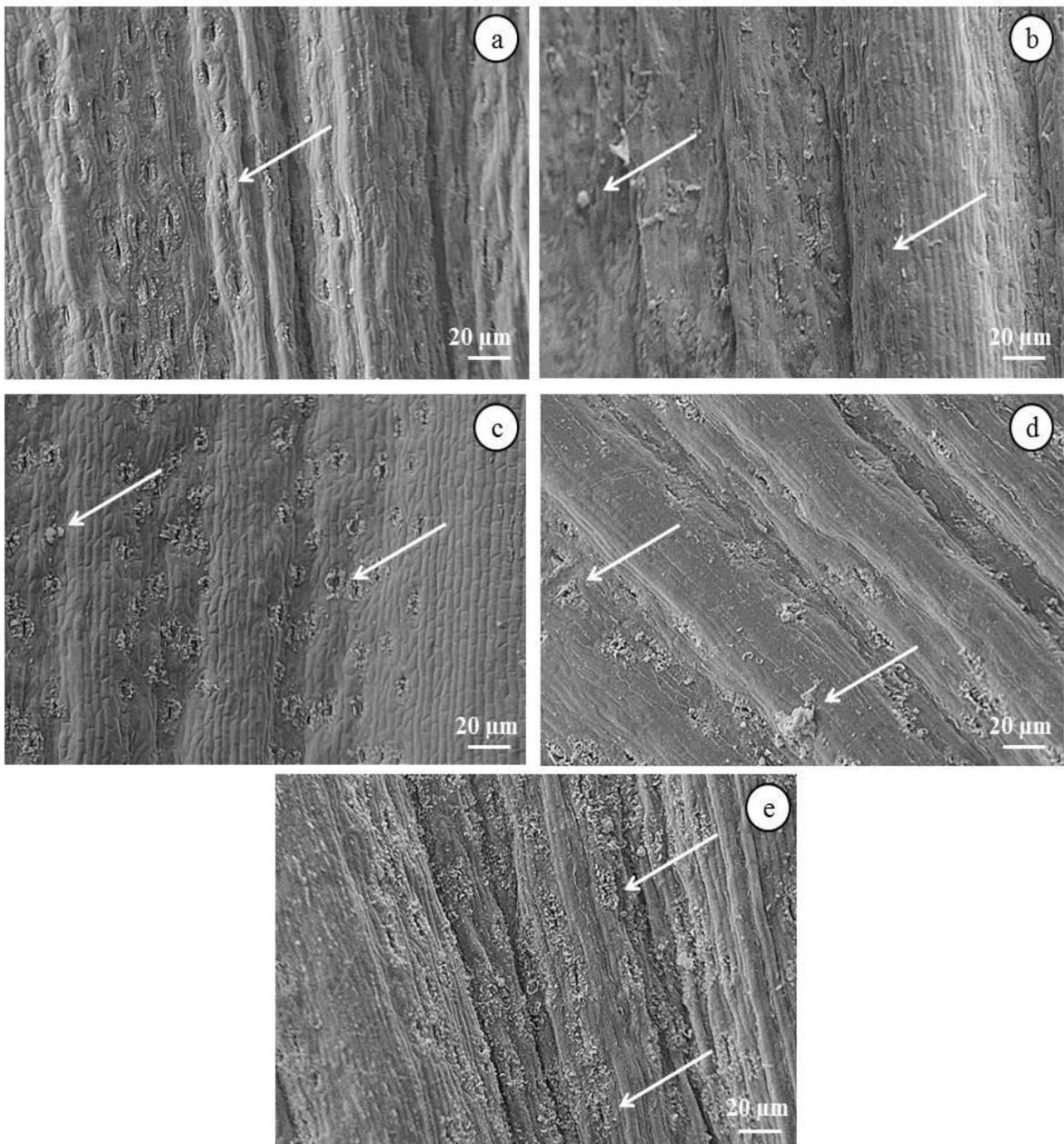
Concentrações de Silício (g/vaso)	G_s ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	C_i (μol)	C_i/C_a
Testemunha	0,02 a	106,40 a	0,44 a
0,30	0,03 a	114,11 a	0,46 a
0,60	0,03 a	96,97 a	0,39 a
0,90	0,03 a	111,40 a	0,45 a
1,20	0,03 a	99,95 a	0,40 a
CV(%)	24,37	17,73	17,61

*Médias seguidas das mesmas letras na coluna pertencem a um mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$).

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

Por meio de microscopia eletrônica de varredura (MEV), foi possível observar a presença de estômatos em todos os tratamentos e a deposição de silício na face abaxial das folhas de coquinho-azedo, exceto na testemunha (Figura 5).

Figura 5 – Eletromicrografias de varredura do aspecto da epiderme abaxial de folhas de coquinho-azedo (*Butia capitata*), submetidas a concentrações de silício. a) Testemunha; b) 0,30 g/vaso; c) 0,60 g/vaso; d) 0,90 g/vaso de silício; e) 1,20 g/vaso. (Lavras, 2017)

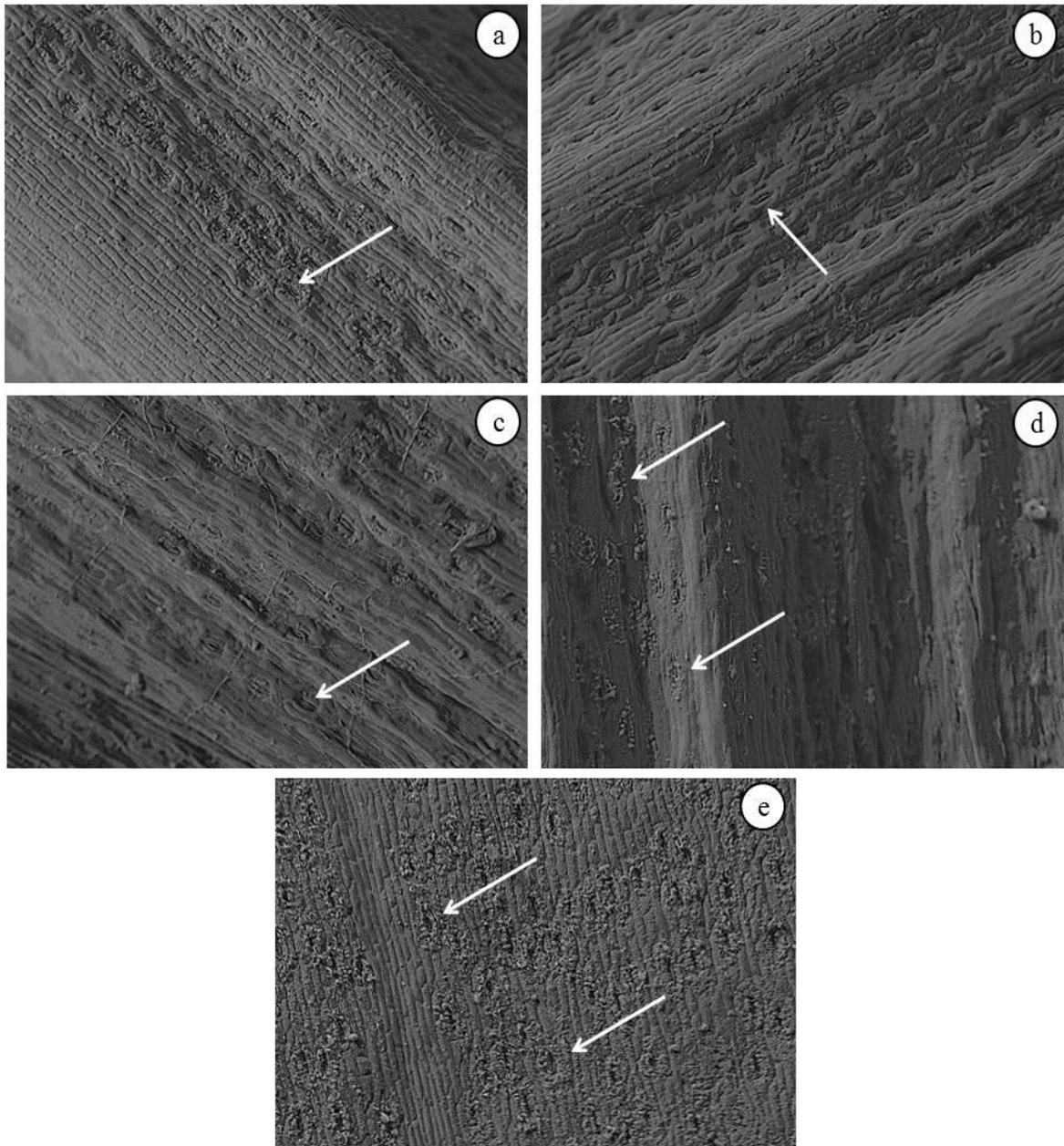


Ocorreu uma maior deposição de cera epicuticular na face abaxial das folhas de coquinho-azedo tratadas com silício, nas maiores concentrações em relação ao tratamento testemunha (Figura 5, D, E). Resultados semelhantes foram encontrados entre a aplicação de silício e a testemunha, tendo o silício influenciado na formação de camada de cera em plantas de cafeeiro analisadas com auxílio da microscopia eletrônica de varredura, tanto na aplicação de silicato via solo (POZZA et al., 2004) quanto via foliar (AMARAL et al., 2008).

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 (Epstein, 1999); entretanto, até então, não havia sido verificado na espécie em estudo.

Por meio de MEV, foi possível constatar a presença de estômatos em todos os tratamentos e a deposição de silício apenas na maior concentração na face adaxial das folhas de coquinho-azedo (Figura 6).

Figura 6 – Eletromicrografias de varredura do aspecto da epiderme adaxial de folhas de coquinho-azedo (*Butia capitata*) submetidas a concentrações de silício. a) Testemunha; b) 0,30 g/vaso; c) 0,60 g/vaso; d) 0,90 g/vaso de silício; e) 1,20 g/vaso. (Lavras, 2017)



Pode-se observar uma maior deposição de cera na superfície foliar do coquinho-azedo (Figura 6), sendo essa deposição diretamente ligada às maiores concentrações de silício. Logo, o silício influencia na maior deposição de cera na camada epicuticular (Figura 6 D,E), em relação ao tratamento testemunha (Figura 6 A).

Os resultados ratificam os de Pasqual et al. (2011), que também relataram a deposição de silício em ambas as faces das folhas em orquídeas nativas e híbridas.

Já outros autores como Pozza et al. (2004) reportaram a deposição de silício apenas na face abaxial das folhas de café (*Coffea arabica*), e Braga et al. (2009) constataram uma deposição de cera apenas na face adaxial em folhas de morangueiro (*Fragaria x ananassa*).

4 CONCLUSÕES

O silício altera a anatomia foliar e radicular de *Butia capitata*.

A concentração 0,60 g/vaso de silício reduz a densidade estomática da face adaxial da folha. Os tratamentos 0,90 e 1,20 g/vaso de silício proporcionam maior relação DP/DE da face adaxial da folha.

As concentrações 0,60 e 1,20 g/vaso de silício incrementam as características anatômicas da raiz.

O silício aumenta o número de feixes condutores, taxa fotossintética e transpiratória.

Há deposição de silício em ambas as faces das folhas de *Butia capitata*.

REFERÊNCIAS

- AMARAL, D. R.; RESENDE, M. L. V.; RIBEIRO JÚNIOR, P. M.; BOREL, J. C.; MAC LEOD, R. E. O.; PÁDUA, M. A. Silicato de potássio na proteção do cafeeiro contra *Cercospora coffeicola*. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, v. 33, n. 6, p. 425-431, 2008.
- ALVES, E. **Introdução à microscopia eletrônica**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2004. 88 p.
- BOTELHO, D. M. S.; POZZA, E. A.; ALVES, E.; FURTINI NETO, A. E.; BARBOSA, J. P. R. A. D.; CASTRO, D. M. 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, n. 2, p. 93-99, 2009.
- BRAGA, F. T.; NUNES, C. F.; FAVERO, A. C.; PASQUAL, M.; CARVALHO, J. G.; CASTRO, E. M. Características anatômicas de mudas de morangueiro micropropagadas com diferentes fontes de silício. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 2, p. 128-132, 2009.
- DANTAS, A. A. A.; CARVALHO, L. G.; FERREIRA, E. Classificação e tendência climática em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1862-1866, 2007.
- 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. 3, p. 733-737, 1994.
- DIAS, G. M. G.; SOARES, J. D. R.; PASQUAL, M.; SILVA, R. A. L.; RODRIGUES, L. C. A. Photosynthesis and leaf anatomy of *Anthurium* cv. Rubi plantlets cultured in vitro under different silicon (Si) concentrations. **Australian Journal of Crop Science**, v. 8, n. 8, p. 1160, 2014.
- DORNE, J. L. C. M.; KAS, G. E.; BORDAJANDI, L. R.; AMZAL, B.; BERTELSEN, U.; CASTOLDI, A. F.; HEPPNER, C.; ESKOLA, M.; FABIANSOON, S.; FERRARI, P.; SCARAVELLI, E.; DOGLIOTTI, E.; FURST, P.; BOOBIS, A. R.; VERGER, P. Human risk assessment of heavy metals: principles and applications. **Metal Ions in Life Sciences**, v. 8, p. 27-60, 2011.
- EPSTEIN, E. Silicon. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 50, n. 1, p. 641-664, 1999.
- EPSTEIN, E. The anomaly of silicon in plant biology. **Proceedings of National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 91, n. 1, p. 11-17, 1994.
- FERNANDES, R. C. **Estudos propagativos do coquinho-azedo (*Butia capitata* (Martius) Beccari) para fins de uso sustentável na região norte de Minas Gerais**. 2008. 70 f. Dissertação (Mestrado em Agroecologia)–Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros, 2008.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

GOMES, F. B.; MORAES, J. C.; SANTOS, C. D. D.; ANTUNES, C. S. Use of silicon as inductor of the resistance in potato to *Myzus persicae* (Sulzer)(Hemiptera: Aphididae). **Neotropical Entomology**, v. 37, n. 2, p. 185-190. 2008.

JOHANSEN, D. A. **Plant microtechnique**. New York: McGraw Hill, 1940. 523 p.

JUSTO, C. F.; SOARES, Â. M.; GAVILANES, M. L.; CASTRO, E. M. D. Leaf anatomical plasticity of *Xylopia brasiliensis* Sprengel (Annonaceae). **Acta Botanica Brasilica**, v. 19, n. 1, p. 111-123, 2005.

KHANDEKAR, S.; LEISNER, S. Soluble silicon modulates expression of Arabidopsis thaliana genes involved in copper stress. **Journal of plant physiology**, v. 168, n. 7, p. 699-705, 2011.

SHA VALLI KHAN, P. S.; KOZAI, T.; NGUYEN, Q. T.; KUBOTA, C.; DHAWAN, V. Growth and net photosynthetic rates of Eucalyptus tereticornis Smith under photomixotrophic and various photoautotrophic micropropagation conditions. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, v. 71, n. 2, p. 141-146, 2002.

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

LIMA JÚNIOR, E. C.; ALVARENGA, A. A. D.; CASTRO, E. M. D.; VIEIRA, C. V.; BARBOSA, J. P. R. A. D. Aspectos fisiológicos de plantas jovens de *Cupania vernalis* Camb. submetidas a diferentes níveis de sombreamento. **Revista Árvore**, v. 30, n. 1, p. 33-41, 2006.

LIU, P.; YIN, L.; DENG, X.; WANG, S.; TANAKA, K.; ZHANG, S. Aquaporin-mediated increase in root hydraulic conductance is involved in silicon-induced improved root water uptake under osmotic stress in *Sorghum bicolor* L. **Journal of experimental botany**. v. 65, n. 17, p. 4747-4756, 2014.

LORENZI, H.; SOUZA, H. D.; COSTA, J. D. M.; CERQUEIRA, L. D.; FERREIRA, E. **Palmeiras brasileiras e exóticas cultivadas**. Instituto Plantarum, 2004. 117p.

LORENZI, H. J. **Flora brasileira: 'Arecaceae' (palmeiras)**. Instituto Plantarum, 2010.

LUX, A.; LUXOVA, M.; HATTORI, T.; INANAGA, S.; SUGIMOTO, Y. Silicification in sorghum (*Sorghum bicolor*) cultivars with different drought tolerance. **Physiologic Plantarum**, v. 115, n. 1, p. 87-92, 2002.

MA, J. F.; YAMAJI, N. Silicon uptake and accumulation in higher plants. **Trends in plant science**, v. 11, n. 8, p. 392-397, 2006.

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, n. 2, p. 121-129, 2009.

MARTINS, E. R. Projeto conservação de recursos genéticos de espécies frutíferas nativas do norte mineiro: coleta, ecogeografia e etnobotânica. **Montes Claros: UFMG**, 2003.

MATOH, T.; MURATA, S.; TAKAHASHI, E. Effect of silicate application on photosynthesis of rice plants. **Japanese Journal of Soil Science and Plant Nutrition (Japan)**, v. 62, n. 3, p. 248–251, 1991.

MING, D. F.; PEI, Z. F.; NAEEM, M. S.; GONG, H. J.; ZHOU, W. J. Silicon alleviates PEG-induced water-deficit stress in upland rice seedlings by enhancing osmotic adjustment. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 198, n. 1, p. 14–26, 2012.

MOURA, R. C. **Caracterização vegetativa e reprodutiva do coquinho-azedo, *Butia capitata* (Martius) Beccari (Arecaceae), no norte de Minas Gerais**. 2008. 73 f. Dissertação (Mestrado em Agroecologia)–Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros, 2008.

NIINEMETS, U.; TENHUNEN, J. D. A model separating leaf structural and physiological effects on carbon gain along light gradients for the shade-tolerant species *Acer saccharum*. **Plant Cell & Environment**, v. 20, n. 7, p. 845–866, 1997.

NOLLA, A.; FARIA, R. J.; KORNDORFER, G. H.; SILVA, T. R. B. Effect of silicon on drought tolerance of upland rice. **Journal of Food Agriculture & Environment**. v. 10, n. 1, p. 269–272, 2012.

PASQUAL, M.; SOARES, J. D.; RODRIGUES, F. A.; ARAUJO, A. G.; SANTOS, R. R. Influência da qualidade de luz e silício no crescimento *in vitro* de orquídeas nativas e híbridas. **Horticultura Brasileira**, v. 29, n. 3, p. 324–329, 2001.

PEREIRA, R. R. C.; MORAES, J. C.; PRADO, E.; DACOSTA, R. R. Resistance inducing agents on the biology and probing behaviour of the greenbug in wheat. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 67, n. 4, p. 430–434, 2010.

PINTO, D. G.; AGUILAR, M. A. G.; SOUZA, C. A. S.; SILVA, D. M.; SIQUEIRA, P. R.; CAO, J. R.; ZANETTI, L. V 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, 2012.

POZZA, A. A.; ALVES, E.; POZZA, E. A.; CARVALHO, J. D.; MONTANARI, M.; GUIMARÃES, P. T.; SANTOS, D. M. Efeito do silício no controle da cercosporiose em três variedades de cafeeiro. **Fitopatologia Brasileira**, v. 29, n. 2, p. 185–188, 2004.

RAMOS, S. J.; CASTRO, E. M.; PINTO, S. I. C.; FAQUIN, V.; OLIVEIRA, C.; CARVALHO PEREIRA, G. C. Uso do silício na redução da toxidez de zinco em mudas de eucalipto. **Interciência**. v. 34, n. 3, p. 189–194, 2009.

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, p. 343–444, 1978.

ROSSATTO, D. R.; HOFFMANN, W. A.; FRANCO, A. C. Características estomáticas de pares congêneros de cerrado e mata de galeria crescendo numa região transicional no Brasil central. **Acta Botanica Brasílica**, v. 23, n. 2, p. 499–508, 2009.

- SANT'ANNA-SANTOS, B. F.; CARVALHO JUNIOR, W. G. O.; AMARAL, V. B. *Butia capitata* (Mart.) Becc. lamina anatomy as a tool for taxonomic distinction from *B. odorata* (Barb. Rodr.) Noblick comb. nov (Arecaceae). **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 87, n. 1, p. 71-81, 2015.
- SHEN, X.; ZHOU, Y.; DUAN, L.; LI, Z.; ENEJI, A. E.; LI, J. Silicon effects on photosynthesis and antioxidant parameters of soybean seedlings under drought and ultraviolet-B radiation. **Journal of plant physiology**, v. 167, n. 15, p. 1248-1252, 2010.
- SHI, G.; CAI, Q.; LIU, C.; WU, L. Silicon alleviates cadmium toxicity in peanut plants in relation to cadmium distribution and stimulation of antioxidative enzymes. **Plant Growth Regulation**. v. 61, n. 1, p. 45–52, 2010.
- SOARES, J. D. R.; PASQUAL, M.; ARAUJO, A. G. D.; CASTRO, E. M.; PEREIRA, F. J.; BRAGA, F. T. Leaf anatomy of orchids micropropagated with different silicon concentrations. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 34, n. 4, p. 413-421, 2012.
- SONOBE, K.; HATTORI, T.; AN, P.; TSUJI, W.; ENEJI, A. E.; KOBAYASHI, S.; KAWAMURA, Y.; TANAKA, K.; INANAGA, S. Effect of silicon application on sorghum root responses to water stress. **Journal of Plant Nutrition**, v. 34, n. 1, p. 71–82, 2011.
- TOMLINSON, P. B. **Anatomy of the monocotyledons. II. Palmae**. Anatomy of the monocotyledons. II. Palmae., 453 p. 1961.
- TOMLINSON, P. B.; HORN, J. W.; FISHER, J. B. **The anatomy of palms**. Clarendon Press, Oxford, 276 p, 2011.
- VACULÍK, M.; LANDBERG, T.; GREGER, M.; LUXOVA, M.; STOLAŘIKOVA, M.; LUX, A. Silicon modifies root anatomy, and uptake and subcellular distribution of cadmium in young maize plants. **Annals of Botany**. v. 110, n. 2, p. 433–443, 2012.
- WANG, M.; ZOU, J.; DUAN, X.; JIANG, W.; LIU, D. Cadmium accumulation and its effects on metal uptake in maize (*Zea mays* L.). **Bioresource Technology**, v. 98, n. 1, p. 82-88, 2007.
- ZANETTI, L. V.; MILANEZ, C. R. D., GAMA, V. N., AGUILAR, M. A. G., SOUZA, C. A. S., CAMPOSTRINI, E., FIGUEIREDO, F. A. M. M. D. Leaf application of silicon in young cacao plants subjected to water deficit. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51. n. 3, p. 215-223, 2016.

CAPÍTULO 4

Silício na tolerância protoplasmática, conteúdo relativo de água e teor de clorofila de plantas de coquinho-azedo (*Butia capitata*)

RESUMO

O butiazeiro (*Butia capitata* (Mart.) Becc.), palmeira característica do Uruguai e do Brasil, tem grande demanda para uso ornamental e agroindustrial. Análises fisiológicas são de extrema importância para avaliar o comportamento dos vegetais a determinado ambiente ou manejo. Assim, acredita-se que o silício possa atenuar estresses, pois a deposição de silício 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. Objetivou-se avaliar o efeito da adição do silício na tolerância protoplasmática, conteúdo relativo de água e teor de clorofila de plantas de coquinho-azedo. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial duplo (5 x 5), com cinco concentrações e cinco épocas de avaliação, subdividida no tempo, com 8 plantas/parcela, totalizando 400 plantas. Foram utilizadas 10 repetições por tratamento. Os tratamentos consistiram de quatro concentrações (0; 0,30; 0,60; 0,90 e 1,20 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 da estirpe das plantas (*drench*), os vasos que constituíram o controle (testemunha) receberam água na mesma quantidade. Foram realizadas análises de teor de clorofila, índice relativo de clorofila, conteúdo relativo de água e extravasamento de eletrólitos. Concluiu-se que a concentração 0,60 g/vaso de silício proporciona maiores teores de clorofila *b* e carotenóides. As concentrações 0,90 e 1,20 g/vaso de silício propiciam maior relação clorofila *a/b*. A concentração 0,60 g/vaso de silício proporciona maior conteúdo relativo de água em folhas de *Butia capitata*.

Palavras-chave: Ácido silícico. Palmeira. Extravasamento de eletrólitos. SPAD.

Silicon in the protoplasmic tolerance, relative water content and chlorophyll content of coquinho-azedo (*Butia capitata*)

ABSTRACT

The butiazeiro (*Butia capitata* (Mart.) Becc.), a typical palm tree from Uruguay and Brazil, has great demand for ornamental and agroindustrial use. Physiological analyzes are extremely important to evaluate the behavior of plants in a given environment or management. Thus, silicon may attenuate stresses because its deposition in the leaf increases the strength and stiffness of cell walls, and reduces both cuticular and stomatal transpiration, increasing the resistance to drought. The objective of this study was to evaluate the effect of silicon addition on the protoplasmic tolerance, relative water content and chlorophyll content of coquinho-azedo plants. The design was a completely randomized in a double factorial scheme (5 x 5), with five concentrations and five evaluation periods, subdivided in time, with 8 plants / plot, totaling 400 plants. Ten replicates were used per treatment. The treatments consisted of four concentrations (0, 0.30, 0.60, 0.90 and 1.20 g / pot) of silicon, in the form of 1% silica solution ($\text{SiO}_2 \cdot \text{XH}_2\text{O}$). This solution was applied around the drench strain, the pots that constituted the control received water in the same amount. Analyzes of chlorophyll content, relative chlorophyll content, relative water content and electrolyte extravasation were performed. It was concluded that the concentration 0.60 g / pot of silicon provides higher levels of chlorophyll *b* and carotenoids. The concentrations 0.90 and 1.20 g / pot of silicon provide a higher chlorophyll *a* / *b* ratio. The concentration 0.60 g / pot of silicon provides greater relative water content in *Butia capitata* leaves.

Keywords: Silicic acid. Palm. Extravasation of electrolytes. SPAD.

1 INTRODUÇÃO

O butiazeiro (*Butia capitata* (Mart.) Becc.), palmeira característica do Uruguai e do Brasil, tem grande demanda para uso ornamental e agroindustrial, cujos frutos podem ser processados (TONIETTO; SCHLINDWEIN; TONIETTO, 2009).

A espécie é popularmente conhecida como coquinho-azedo, butiá ou cabeçudo, sendo encontrada nos Estados mais ao centro do Brasil, como: Goiás, Minas Gerais e Bahia (LIMA, 2011).

A espécie em estudo corre risco de extinção devido ao extrativismo intensivo de seus frutos e, além disso, a propagação dessa palmeira é exclusivamente via sementes (LORENZI et al., 2004), cuja germinação é baixa, lenta e desuniforme, necessitando de até um ano para completar o seu processo germinativo (FERNANDES, 2008; MOURA, 2008). Esses fatores limitam a regeneração das populações naturais, pois, além da propagação dessa espécie ser difícil, não há cultivos comerciais para diminuir o risco de extinção. Portanto, a produção de mudas e técnicas que otimizem a germinação dessa palmeira são necessárias.

Análises fisiológicas são de extrema importância para avaliar o comportamento dos vegetais sob determinado ambiente ou manejo. Nesse sentido, o conteúdo relativo de água é um parâmetro para a caracterização do grau de hidratação foliar (PIMENTEL et al., 2002).

Gao et al. (2005) e Mali et al. (2008) afirmam a importância do silício no conteúdo relativo de água foliar. Esses autores observaram que a eficiência de uso de água de plantas tratadas com silício foi significativamente maior do que a de plantas sem aplicação de silício.

Outra análise fisiológica de grande importância é a liberação de eletrólitos (tolerância protoplasmática), que ocorre em níveis severos de déficit hídrico, por causa do aumento da quantidade de espécies ativas de oxigênio (superóxidos), radicais livres e de enzimas de “lise” (ROY-MACAULEY et al., 1992), que resultam na ruptura e aumento da permeabilidade das membranas e, muitas vezes, em danos irreversíveis nas organelas e moléculas presentes no interior das células (ALONSO et al., 1997). Neste experimento, foi induzido estresse hídrico 3 dias antes das aplicações do silício.

Acredita-se que o silício possa atenuar esse estresse, pois a deposição desse nutriente 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). Além disso, outros benefícios fisiológicos são advindos da nutrição ocasionada pelo silício como o aumento no teor de clorofila, aumento na atividade da enzima de carboxilação (Rubisco) e diminuição da transpiração (EPSTEIN, 1994).

Com isso, objetivou-se avaliar o efeito da adição do silício na tolerância protoplasmática, conteúdo relativo de água e teor de clorofila de plantas de coquinho-azedo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na área experimental do Setor de Fruticultura da Universidade Federal de Lavras (UFLA), cujas coordenadas geográficas são 21°14' S, longitude 45° 00' W e 918 m de altitude. De acordo com a classificação climática de Köppen (DANTAS et al., 2007), o clima é Cwa.

Os frutos de coquinho-azedo (*Butia capitata*) foram colhidos na safra de 2014/2015 na localidade de Mirabela, região Norte do Estado de Minas Gerais, despolpados manualmente, mantidos à sombra para secagem durante quatro dias e levados ao Laboratório de Cultura de Tecidos do Departamento de Agricultura. As sementes foram retiradas do endocarpo com auxílio de torno de mesa, tratadas com fungicida carboxin-thiram (Vitavax®-thiran 200 SC), imersas em solução do fungicida na sua concentração pura, e secas à sombra por 4 horas.

Em seguida, as sementes foram levadas à câmara de fluxo laminar onde se retirou o opérculo da cavidade embrionária, e semeadas em bandejas de plástico com capacidade para 50 sementes, contendo vermiculita de textura média como substrato (60mg + 300ml de água destilada). As bandejas foram colocadas em incubadora tipo BOD, com temperatura constante de 30° C e umidade de 80%, com fotoperíodo de 12 horas, por um período de 30 dias até total germinação. Posteriormente, as plantas foram acondicionadas em vasos de polietileno, contendo 1,1 kg de substrato Tropstrato®, os quais foram dispostos aleatoriamente sobre a bancada da casa de vegetação e irrigados diariamente.

Os tratamentos consistiram de cinco concentrações (0; 0,30; 0,60, 0,90 e 1,20 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 da estirpe das plantas (*drench*), sendo a primeira aplicação realizada 60 dias após o plantio. No total foram feitas cinco aplicações, aos 60, 120, 180, 240 e 300 dias, mesmo período das avaliações. Os vasos que constituíram o controle (testemunha) receberam água na mesma quantidade. As seguintes análises foram realizadas no início e ao final do experimento.

Teor de clorofila

O ensaio de teor de clorofila foi realizado de acordo com o protocolo simplificado por Scopel et al. (2011). As amostras de tecido foliar foram coletadas e transportadas em caixa de isopor com gelo. Discos foliares de 1 cm de diâmetro foram transferidos, sem necessidade de maceração, para tubos de ensaio com tampa, contendo 10 ml de acetona 80% (v/v) e foram armazenados por 24 h em câmara fria, protegidos da luz. Ao fim desse período, os extratos foram filtrados e a solução resultante foi colocada em cubetas. A amostra branca foi constituída por solução de acetona 80% (v/v). As leituras de absorbância foram realizadas em espectrofotômetro nos comprimentos de onda 645, 652 e 663 nm para as clorofilas e 470 nm para os carotenoides. Com as leituras, foram calculados os teores de clorofilas *a*, *b*, e total (WITHAM et al., 1971) cujos resultados foram expressos em mg por grama de peso fresco de tecido foliar (mg g^{-1}). Foram utilizadas 10 repetições para cada um dos tratamentos.

Índice relativo de clorofila (IRC)

O Índice Relativo de Clorofila (IRC) foi determinado por meio de um medidor portátil, modelo SPAD-502 (*Soiland Plant Analysis Development*), da MinoltaCo., Osaka, Japão. A leitura foi feita no período da manhã, entre 9 e 10 h, em 10 plantas por tratamento. Antes de realizar as leituras, o aparelho foi calibrado com o verificador de leitura, de acordo com as recomendações do manual (MINOLTA, 1989). Em cada planta foi efetuada a leitura em dois pontos, totalizando 20 leituras por tratamento.

Conteúdo relativo de água (CRA)

Para avaliar o CRA foram utilizados discos foliares (da folha mais nova completamente expandida) retirados do centro do limbo foliar de cada planta e determinada sua massa fresca (MF). Os discos foliares foram colocados em placas de Petri, onde permaneceram submersos em água destilada, durante um período de 24h, a fim de se obter sua massa túrgida (MT). Em seguida, os discos foliares foram submetidos à secagem em estufa com circulação forçada de ar, a 70 °C, durante 48h, a fim de se obter sua massa seca (MS). O CRA foi obtido usando-se a seguinte fórmula: $\text{CRA} = \{[(\text{MF}-\text{MS}) / (\text{MT}-\text{MS})] \times 100\} \%$, seguindo a metodologia de Barrs e Weatherley (1962).

Extravasamento de eletrólitos (tolerância protoplasmática)

A tolerância protoplasmática foliar foi avaliada pela liberação de eletrólitos de discos foliares (LEOPOLD et al., 1981), imersos em 30 ml de água destilada em tubos de ensaio. Foram coletados 10 discos foliares em 10 repetições por tratamento. Primeiramente foi medida a condutividade elétrica com um condutivímetro (marca DIGIMED, modelo CD 21A), onde os discos foliares coletados ficaram imersos por 24 horas. Esta primeira leitura foi considerada como sendo a condutividade livre (CL).

Após esta medição, os mesmos tubos de ensaio, com os discos foliares imersos em água destilada, foram colocados em banho-maria a 100°C por 1h, e, em seguida, medida novamente a condutividade elétrica, a qual foi denominada de condutividade total (CT). A partir destes dados calculou-se a porcentagem de integridade absoluta ($PIA = 1 - CL / CT$), segundo a metodologia descrita por Vasquez-Tello et al. (1990).

O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial (5 x 5), com cinco tratamentos e cinco épocas de avaliação, subdividida no tempo, com 8 plantas/parcela, totalizando 400 plantas. Todos os dados obtidos foram submetidos à análise de regressão, utilizando-se o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve interação significativa entre os fatores concentrações de silício e épocas de avaliação para a variável clorofila *b*. Na primeira avaliação (início do experimento), a concentração 0,60 g/vaso de Si proporcionou maior teor de clorofila *b* nas plantas em relação aos demais tratamentos. Na segunda avaliação (final do experimento), a concentração 0,90 g/vaso de Si apresentou menor teor de clorofila *b* com relação aos demais tratamentos (Tabela 1).

Tabela 1 – Teor de clorofila *b* ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ de matéria fresca) de plantas de coquinho-azedo (*Butia capitata*) submetidas a concentrações de silício e épocas de avaliação. (Lavras, 2017)

Concentrações de silício (g/vaso)	Avaliações	
	1 ^a	2 ^a
Testemunha	0,0019 cB	0,0025 aA
0,30	0,0022 bB	0,0026 aA
0,60	0,0033 aA	0,0025 aB
0,90	0,0014 eB	0,0023 bA
1,20	0,0016 dB	0,0026 aA
CV(%)	6,83	7,68

*Médias seguidas das mesmas letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha pertencem a um mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$).

Os resultados encontrados neste experimento diverge daqueles obtidos por Zanetti et al. (2016) e Rodrigues et al. (2016) que não verificaram diferença significativa entre as concentrações de Si e a testemunha para o teor de clorofila *b* em plantas de cacau e tomateiro respectivamente.

Já Gong et al. (2005) e Braga et al. (2009) relataram que em plantas de trigo e morango, respectivamente, tratadas com Si apresentaram aumento no teor de clorofila *b*.

Com o aumento nos teores de clorofila, há um incremento na absorção de luz e, conseqüentemente, maior transmissão de elétrons na fase fotoquímica da fotossíntese (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Segundo Deren et al. (1994), a absorção de silício traz diversos benefícios, tais como proporciona melhor arquitetura da planta ao tornar as folhas mais eretas, aumenta os teores de clorofila e, conseqüentemente, melhora a eficiência fotossintética.

De acordo a Tabela 1, somente a concentração 0,60 g/vaso de Si diminuiu o teor de clorofila *b* da primeira para a segunda avaliação.

Com relação ao teor de carotenoides, houve interação significativa entre os fatores concentrações de silício e épocas de avaliação. Na primeira avaliação, a concentração 0,60 g/vaso de Si proporcionou maior teor de carotenoides nas plantas em relação aos demais tratamentos. Na segunda avaliação, não houve diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 2).

Tabela 2 – Teor de carotenoides (mg.g^{-1} de matéria fresca) de plantas de coquinho-azedo (*Butia capitata*) submetidas a concentrações de silício e épocas de avaliação. (Lavras, 2017)

Concentrações de silício (g/vaso)	Avaliações	
	1 ^a	2 ^a
Testemunha	1065,29 bA	420,67 aB
0,30	833,19 cA	450,72 aB
0,60	1187,66 aA	443,99 aB
0,90	863,64 cA	386,91 aB
1,20	878,77 cA	435,34 aB
CV(%)	9,67	5,59

*Médias seguidas das mesmas letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha pertencem a um mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$).

O resultados obtidos neste experimento divergem dos encontrados por Zanetti et al. (2016) que não constataram diferença significativa entre as concentrações de Si e a testemunha para o teor de carotenoides em plantas de cacau. Por outro lado, estão de acordo com os de Gong et al. (2005) que relataram que plantas de trigo fertilizadas com Si apresentaram aumento no teor de carotenoides.

Enquanto a clorofila *a* participa diretamente da etapa fotoquímica (o primeiro estágio do processo fotossintético – transferência de energia), a clorofila *b* e carotenoides constituem os chamados pigmentos acessórios, auxiliam na absorção de luz (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Conforme a Tabela 2, todas as concentrações de Si proporcionaram diminuição no teor de carotenoides da primeira para a segunda avaliação.

Isso pode ter ocorrido porque os carotenoides são pigmentos acessórios e responsáveis pela proteção da planta ao excesso de luz. Como o experimento proporcionou maior conforto às plantas, por se tratar de casa de vegetação com 50% de sombreamento, a produção desse pigmento foi minimizada.

De acordo com a Tabela 3, para a relação clorofila *a/b*, houve interação significativa entre os fatores concentrações de silício e épocas de avaliação. Na primeira avaliação, as concentrações 0,90 e 1,20 g/vaso de Si proporcionaram maior relação clorofila *a/b* nas plantas em relação aos demais tratamentos. Na segunda avaliação, não houve diferença significativa entre os tratamentos.

Tabela 3 – Relação clorofila *a/b* (mg.g^{-1} de matéria fresca) de plantas de coquinho-azedo (*Butia capitata*) submetidas a concentrações de silício e épocas de avaliação. (Lavras, 2017)

Concentrações de silício (g/vaso)	Avaliações	
	1 ^a	2 ^a
Testemunha	2,85 bA	2,81 aA
0,30	2,86 bA	2,88 aA
0,60	1,89 cB	2,84 aA
0,90	3,50 aA	2,89 aB
1,20	3,45 aA	2,84 aB
CV(%)	4,26	3,37

*Médias seguidas das mesmas letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha pertencem a um mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$).

Rodrigues et al. (2016) não encontraram diferença significativa entre as concentrações de Si e a testemunha para o teor de clorofila *b* em plantas de tomateiro. Já Asmar et al. (2013) relataram que plantas de banana *in vitro* (Grande Naine) tratadas com silicato de sódio apresentaram aumento na relação clorofila *a/b*.

Consoante Kramer e Kozłowski (1979), a clorofila é constantemente sintetizada e destruída (foto-oxidação) em presença de luz, mas sob intensidades luminosas muito altas a velocidade de decomposição é maior, sendo o equilíbrio estabelecido a uma concentração mais baixa. Não só a concentração total de clorofila, mas também a proporção entre os seus diversos tipos mudam em função da intensidade luminosa. De uma maneira geral, demonstra-se que a proporção entre clorofila *a* e *b* tende a diminuir com a redução da intensidade luminosa (LEE, 1988).

A concentração 0,60 g/vaso de Si proporcionou o aumento na relação clorofila *a/b* em relação aos demais tratamentos da primeira para a segunda avaliação. Houve diminuição na relação clorofila *a/b* nas concentrações 0,90 e 1,20 g/vaso de Si com relação aos demais tratamentos da primeira para a segunda avaliação. Todavia, para a testemunha e a concentração 0,30 g/vaso de Si não houve diferença significativa para as avaliações (Tabela 3).

De acordo com a Tabela 4, houve diferença significativa entre as épocas de avaliação para o teor de clorofila *a* e total.

Tabela 4 – Teor de clorofila *a* e total de plantas de coquinho-azedo (*Butia capitata*) em diferentes épocas de avaliação. (Lavras, 2017)

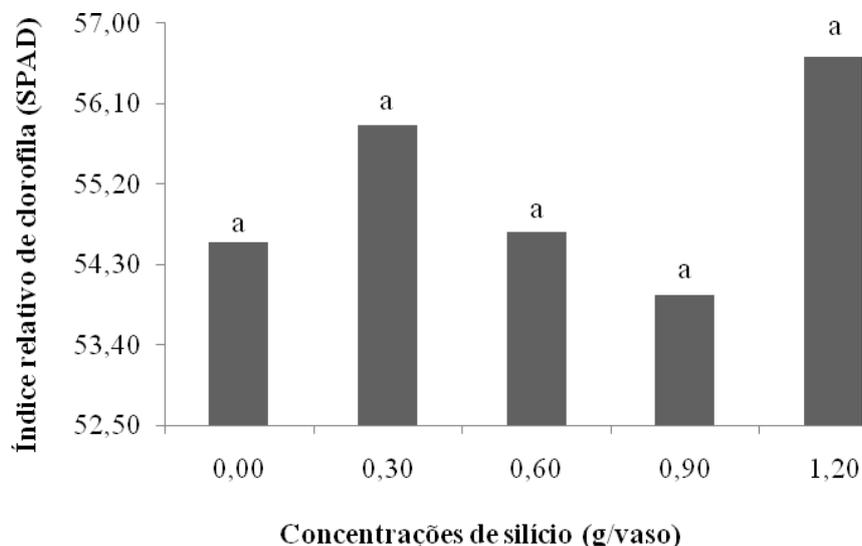
Avaliações	Clorofila <i>a</i>	Clorofila total
1 ^a	0,0049 b	0,0068 b
2 ^a	0,0068 a	0,0092 a
CV(%)	17,24	17,92

*Médias seguidas das mesmas letras na coluna pertencem a um mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$).

O teor de clorofila *a* e total aumentou da primeira para a segunda avaliação. Isso ocorreu devido ao crescimento da planta, pois à medida que houve incremento da área foliar houve maior teor dos pigmentos fotossintéticos.

Não se verificou diferença entre os tratamentos para o índice relativo de clorofila (Figura 1).

Figura 1 – Índice relativo de clorofila (IRC) de plantas de coquinho-azedo (*Butia capitata*) submetidas a concentrações de silício. (Lavras, 2017)



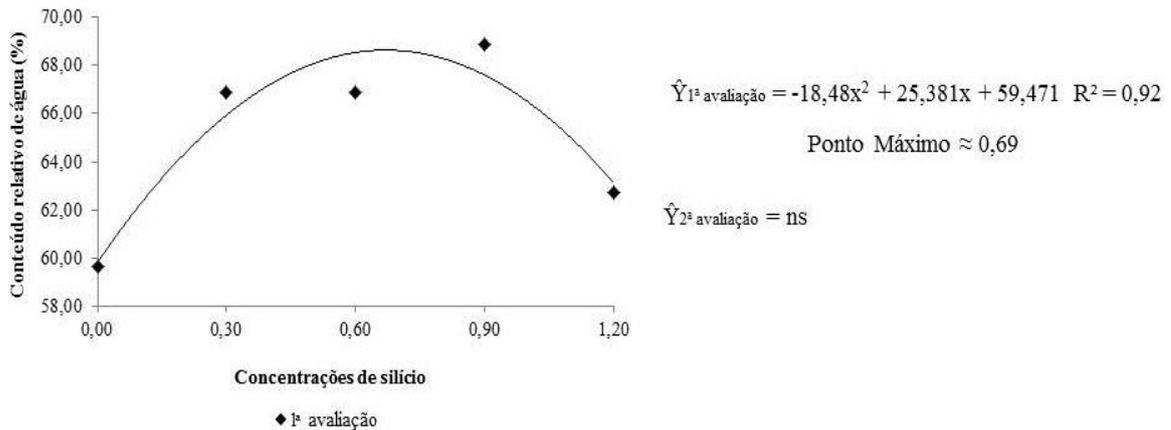
Em arroz (*Oryza sativa* L.), Oliveira et al. (2007) e Ávila et al. (2010) verificaram que a aplicação de Si conferiu maior valor para a leitura do clorofilômetro SPAD, quando comparado aos tratamentos que não receberam aplicação de Si. Esses resultados diferem dos encontrados neste trabalho.

Pinto et al. (2014), trabalhando com diferentes genótipos de cacau, constataram que o silício conferiu maior valor para a leitura do clorofilômetro SPAD para o genótipo TSH 1188,

mas para os genótipos CCN 51 e Catongo não se observou diferença entre os tratamentos para a mesma variável.

Houve comportamento quadrático para o conteúdo relativo de água na folha até a concentração de 0,69 g/vaso de silício (Figura 2).

Figura 2 – Conteúdo relativo de água em folhas de coquinho-azedo (*Butia capitata*) submetidas a concentrações de silício e épocas de avaliação. (Lavras, 2017)



O conteúdo relativo de água é um parâmetro para a caracterização do grau de hidratação foliar (PIMENTEL et al., 2002).

Gao et al. (2005) e Mali et al. (2008) relatam a importância do silício no conteúdo relativo de água foliar de plantas de milho e trigo respectivamente. Esses autores observaram que a eficiência de uso de água de plantas tratadas com silício foi significativamente maior do que a de plantas sem aplicação de silício. No entanto, Shen et al. (2010) e Zanetti et al. (2016) não encontraram diferença no conteúdo de água em folhas de soja e cacau respectivamente com relação ao controle e aplicação de silício.

No que diz respeito à tolerância protoplasmática, não houve diferença entre os tratamentos para o extravasamento de eletrólitos, representados por condutividade livre, total e porcentagem de integridade absoluta (Tabela 5).

Tabela 5 – Condutividade livre (CL), condutividade total (CT) e porcentagem de integridade absoluta (PIA) de plantas de coquinho-azedo (*Butia capitata*) submetidas a concentrações de silício. (Lavras, 2017)

Concentrações de silício (g/vaso)	CL ($\mu\text{s cm}^{-1}$)	CT ($\mu\text{s cm}^{-1}$)	PIA (%)
Testemunha	48,83 a	187,81 a	0,74 a
0,30	45,53 a	182,94 a	0,75 a
0,60	46,99 a	181,65 a	0,74 a
0,90	53,76 a	191,71 a	0,72 a
1,20	50,11 a	177,26 a	0,71 a
CV(%)	9,86	9,95	3,46

*Médias seguidas das mesmas letras na coluna pertencem a um mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$).

A liberação de eletrólitos ocorre em níveis severos de deficit hídrico por causa do aumento da quantidade de espécies ativas de oxigênio (superóxidos), radicais livres e de enzimas de “lise” (ROY-MACAULEY et al., 1992), que resultam na ruptura e aumento da permeabilidade das membranas e, muitas vezes, em danos irreversíveis nas organelas e moléculas presentes no interior das células (ALONSO et al., 1997).

O presente estudo visava observar, por meio da análise de extravasamento de eletrólitos, se as plantas sofreram algum tipo de estresse devido à aplicação de silício, pois elas não eram irrigadas quando recebiam os tratamentos. Essa análise mostra que somente em estresse severo as plantas são capazes de refletir o mesmo. Portanto, esses resultados não foram constatados neste experimento, já que na época de realização do mesmo, o índice pluviométrico foi elevado.

4 CONCLUSÕES

A concentração 0,60 g/vaso de silício proporciona maiores teores de clorofila *b* e carotenoides.

As concentrações 0,90 e 1,20 g/vaso de silício propiciam maior relação clorofila *a/b*.

A concentração 0,60g/vaso de silício proporciona maior conteúdo relativo de água em folhas de *Butia capitata*.

REFERÊNCIAS

- ALONSO, A.; QUEIROZ, C. G. S.; MAGALHÃES, A. C. Chilling stress leads to increased cell membrane rigidity in roots of coffee (*Coffea arabica* L.) seedlings. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Biomembranes**, v. 1323, n. 1, p. 75-84, 1997.
- ASMAR, S. A.; PASQUAL, M.; ARAUJO, A. G.; SILVA, R. A. L.; RODRIGUES, F. A.; PIO, L. A. S. Características morfofisiológicas de bananeiras ‘Grande Naine’ aclimatizadas em resposta a utilização de silício *in vitro*. **Semina: Ciências Agrárias, Londrina**, v. 34, n. 1, p. 73-82, 2013.
- ÁVILA, F. W.; BALIZA, D. P.; FAQUIN, V.; ARAÚJO, J. L.; RAMOS, S. J. Interação entre silício e nitrogênio em arroz cultivado sob solução nutritiva. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 2, p. 184-190, 2010.
- BARRS, H. D.; WEATHERLEY, P. E. A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficit in leaves. **Australian Journal of Biological Science**, v. 15, n. 3, p. 413-428, 1962.
- BRAGA, F. T.; NUNES, C. F.; FAVERO, A. C.; PASQUAL, M.; CARVALHO, J. G.; CASTRO, E. M. Características anatômicas de mudas de morangueiro micropropagadas com diferentes fontes de silício. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 2, p. 128-132, 2009.
- DANTAS, A. A. A.; CARVALHO, L. G.; FERREIRA, E. Classificação e tendência climática em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 6, p. 1862-1866, 2007.
- 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**, Madison, v. 34, n. 3, p. 733-737, 1994.
- EPSTEIN, E. The anomaly of silicon in plant biology. **Proceedings of National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 91, n. 1, p. 11-17, 1994.
- FERNANDES, R. C. **Estudos propagativos do coquinho-azedo (*Butia capitata* (Martius) Beccari) para fins de uso sustentável na região norte de Minas Gerais**. 2008. 70 f. Dissertação (Mestrado em Agroecologia)—Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros, 2008.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.
- GAO, X.; ZOU, C.; WANG, L.; ZHANG, F. Silicon improves water use efficiency in maize plants. **Journal of plant nutrition**, v. 27, n. 8, p. 1457-1470, 2005.
- GONG, H. J.; ZHU, X. Y.; CHEN, K. M.; WANG, S. M.; ZHANG, C. C. Silicon alleviates oxidative damage of wheat plants in pots under drought. **Plant Science**, v. 169, n. 2, p. 313-321. 2005.
- KRAMER, T.; KOZLOWSKI, T. **Physiology of woody plants**. New York: Academic Press, 811 p. 1979.

- LEE, D. W. Simulating forest shade to study the development ecology of tropical plants: juvenile growth in three vines in India. **Journal of Tropical Ecology**, v. 4, n. 3, p. 281-292, 1988.
- LEOPOLD, A. C.; MUSGRAVE M. E.; WILLIAMS, K. M. Solute leakage resulting from leaf desiccation. **Plant Physiology**, v. 68, n. 6, p. 1222-1225, 1981.
- LIMA, V. V. F. **Estrutura e dinâmica de populações de coquinho-azedo (*Butia capitata* (Mart.) Beccari, Arecaceae) em áreas de extrativismo no Norte de Minas Gerais, Brasil.** 2011. 56 f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Ciências Florestais) –Instituto de Engenharia florestal, Universidade de Brasília, Brasília. 2011.
- LORENZI, H.; SOUZA, H. D.; COSTA, J. D. M.; CERQUEIRA, L. D.; FERREIRA, E. **Palmeiras brasileiras e exóticas cultivadas.** Instituto Plantarum, 2004. 117p.
- MA, J. F.; YAMAJI, N. A silicon transporter in rice. **Nature**, London, v. 440, n. 7084, p. 688-691, 2006.
- MALI, M.; AERY, N. C. Influence of silicon on growth, relative water contents and uptake of silicon, calcium and potassium in wheat grown in nutrient solution. **Journal of Plant Nutrition**, v. 31, n. 11, p. 1867-1876, 2008.
- MINOLTA. Manual for chlorophyll meter SPAD-502. **Osaka: Minolta Radiometric Instruments Division**, 22p. 1989.
- MOURA, R. C. **Caracterização vegetativa e reprodutiva do coquinho-azedo, *Butia capitata* (Martius) Beccari (Arecaceae), no norte de Minas Gerais.** 2008. 73 f. Dissertação (Mestrado em Agroecologia)–Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros, 2008.
- OLIVEIRA, L. A.; KORNDORFER, G. H.; PEREIRA, A. C. Acumulação de silício em arroz em diferentes condições de pH da rizosfera. **Revista Brasileira de Ciência e Solo**, v. 31, n. 4, p. 685-690, 2007.
- PEREIRA, R. R. C.; MORAES, J. C.; PRADO, E.; DACOSTA, R. R. Resistance inducing agents on the biology and probing behaviour of the greenbug in wheat. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 67, n. 4, p. 430-434, 2010.
- PIMENTEL, C.; SARR, B.; DIOUF, O.; ABOUD, A. C. S.; ROY-MACAULEY, H. Tolerância protoplasmática foliar à seca, em dois genótipos de caupi cultivados em campo. **Revista Universidade Rural, Série. Ciências da Vida**, v. 7, n.1, p. 14-22, 2002.
- PINTO, D. G.; AGUILAR, M. A. G.; SOUZA, C. A. S.; SILVA, D. M.; SIQUEIRA, P. R.; CAO, J. R. Fotossíntese, crescimento e incidência de insetos-praga em genótipos de cacau pulverizados com silício. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 3, p. 715-724, 2014.
- RODRIGUES, C. R.; RODRIGUES, T. M.; LUZ, J. M. Q.; SOUSA, V. B. F.; SOUSA, J. B.; NUNES, A. C. P.; TRINDADE, P. R. Clorofila *a* e *b* de tomateiro tratado com silicato de potássio e fungicida. **Global Science and Technology**, v. 9, n. 2, p. 54-64, 2016.

ROY-MACAULEY, H.; ZUILY-FODIL, Y.; KIDRIC, M.; PHAN THI, A.; VIEIRA DA SILVA, J. Effect of drought stress on proteolytic activities in *Phaseolus* and *Vigna* leaves from sensitive and resistant plants. **Physiologia Plantarum**, v. 85, n. 1, p. 90-96, 1992.

SCOPEL, W.; BARBOSA, J. Z.; VIEIRA, M. L. Extração de Pigmentos foliares em plantas de canola. **Unoesc & Ciência-ACET**, v. 2, n. 1, p. 87-94, 2011.

SHEN, X.; ZHOU, Y.; DUAN, L.; LI, Z.; ENEJI, A. E.; LI, J. Silicon effects on photosynthesis and antioxidant parameters of soybean seedlings under drought and ultraviolet-B radiation. **Journal of plant physiology**, v. 167, n. 15, p. 1248-1252, 2010.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Editora Artmed, 2013.
TONIETTO, A.; SCHLINDWEIN, G.; TONIETTO, S. M. Usos e potencialidades do butiazeiro (Circular Técnica, 26). **Fepagro: Porto Alegre, Brazil**, 28p. 2009.

VASQUEZ-TELLO, A.; ZUILY-FODIL, Y.; PHAM THI, A. T.; VIEIRA DA SILVA, J. Electrolyte and Pi leakages and soluble sugar content as physiological tests for screening resistance to water stress in *Phaseolus* and *Vigna* species. **Journal of Experimental Botany**, v. 41, n. 7, p. 827-832, 1990.

WITHAM, F. H.; BLAYDES, D. F.; DEVLIN, R. M. **Experiments in plant physiology**. New York: D. V. Nostrand, 58 p. 1971.

ZANETTI, L. V.; MILANEZ, C. R. D., GAMA, V. N., AGUILAR, M. A. G., SOUZA, C. A. S., CAMPOSTRINI, E., FIGUEIREDO, F. A. M. M. D. Leaf application of silicon in young cacao plants subjected to water deficit. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 3, p. 215-223, 2016.