

**FONTES DE SILÍCIO EM MAMOEIRO E MARACUJAZEIRO:  
CRESCIMENTO, FISIOLOGIA E INDUÇÃO DE RESISTÊNCIA**

**GABRIELLA ALMEIDA NOGUEIRA LINHARES**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE  
DARCY RIBEIRO – UENF**

**CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ  
FEVEREIRO - 2019**

FONTES DE SILÍCIO EM MAMOEIRO E MARACUJAZEIRO:  
CRESCIMENTO, FISIOLOGIA E INDUÇÃO DE RESISTÊNCIA

**GABRIELLA ALMEIDA NOGUEIRA LINHARES**

“Tese apresentada ao Centro de Ciências e  
Tecnologias Agropecuárias da Universidade  
Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro,  
como parte das exigências para obtenção do  
título de Doutora em Produção Vegetal”

Orientador: Prof. Almy Junior Cordeiro de Carvalho

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ  
FEVEREIRO - 2019

**FICHA CATALOGRÁFICA**

UENF - Bibliotecas

Elaborada com os dados fornecidos pela autora.

L755

Linhares, Gabriella Almeida Nogueira.

Fontes de silício em mamoeiro e maracujazeiro : crescimento, fisiologia e indução de resistência / Gabriella Almeida Nogueira Linhares. - Campos dos Goytacazes, RJ, 2019.

107 f.

Bibliografia: 92 - 107.

Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, 2019.  
Orientador: Almy Junior Cordeiro de Carvalho.

1. Passiflora edulis. 2. Carica papaya. 3. Adubação silicatada. 4. Sistema radicular. 5. Polyphagotarsonemus latus. I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. II. Título.

CDD - 630

FONTES DE SILÍCIO EM MAMOEIRO E MARACUJAZEIRO:  
CRESCIMENTO, FISIOLOGIA E INDUÇÃO DE RESISTÊNCIA

**GABRIELLA ALMEIDA NOGUEIRA LINHARES**

“Tese apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Doutora em Produção Vegetal”

Aprovada em 22 de fevereiro de 2019

Comissão examinadora:


Prof. Gabriel Ramatis Pugliese Andrade (D.Sc., Mineralogia do Solo) – UENF

Dr. Janielio Gonçalves da Rocha (D.Sc., Produção Vegetal) – UENF

Prof. Moises Zucoloto (D.Sc., Fruticultura) – UFES

Prof. Almy Junior Cordeiro de Carvalho (D.Sc., Fruticultura) – UENF Orientador

## AGRADECIMENTOS

À Deus, por estar sempre presente em minha vida, iluminando todos os meus caminhos percorridos e me dando muita força, sabedoria e saúde para superar todos os obstáculos;

Aos meus príncipes, Pedro Henrique e João Miguel, que sempre me deram forças para prosseguir e finalizar esse sonho;

Ao meu marido, Rafael, por todo incentivo, amor, dedicação e paciência;

Aos meus pais Edmar e Sirene, por sempre me incentivarem nos estudos, mostrando que com coragem e determinação, é possível a aquisição de uma grande conquista que, neste caso, foi o título de Doutora em Produção Vegetal;

À minha irmã, Amanda, que sempre me incentivou a ingressar na UENF. Muito obrigada pela amizade, pelos momentos de felicidades, de lazer, por ser tão presente em minha vida, pelos anos de harmonia, de muitas alegrias que já vivemos e que viveremos, pela compreensão e pelas sugestões à realização deste trabalho;

À Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, pela oportunidade de realização desse curso;

À CAPES e ao CNPq, pela bolsa de Doutorado concedida, possibilitando a ampliação dos meus conhecimentos;

Ao meu orientador, Professor Almy Junior Cordeiro de Carvalho, pela orientação, confiança, amizade, compreensão, força e incentivo;

Aos professores, Gerson Adriano Silva, Gabriel Ramatis Pugliese Andrade e Janiélio Gonçalves da Rocha, por toda ajuda e explicações relacionadas à elaboração dos artigos;

Ao professor Antonio Carlos de Azevedo pela realização das análises mineralógicas das fontes de silício;

Aos técnicos de laboratório de Horticultura, Nutrição Mineral de Plantas e de Solos por todo incentivo e apoio. Em especial, ao técnico Ederaldo Azeredo da Silva, por me ouvir nos momentos mais difíceis enfrentados durante o doutorado;

Aos amigos Rozane, Paulo Cesar, Rômulo André, Bruno Pestana, Luize, Tâmara, Marlon, Jéfferson Rangel, pelo companheirismo, apoio e amizade;

Aos colegas e companheiros de turma e às demais pessoas que, de alguma forma, contribuíram para esse trabalho, que considero mais uma vitória em minha vida.

## SUMÁRIO

RESUMO .....	vi
ABSTRACT .....	viii
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	4
2.1. Fruticultura: Importância econômica no agronegócio.....	4
2.2. Maracujazeiro: Aspectos gerais da cultura.....	5
2.2.1 Maracujazeiro azedo: Caracterização botânica e morfológica .....	7
2.2.2 Aspectos ambientais .....	8
2.3 A cultura do mamoeiro no Brasil e no mundo .....	9
2.3.1 Classificação botânica e genótipos do mamoeiro .....	10
2.3.2 Caracterização botânica.....	11
2.3.3 Aspectos ambientais .....	13
2.4. Sistema radicular e distribuição no solo .....	14
2.5. Nutrientes minerais no maracujazeiro e no mamoeiro .....	15
2.5.1 Nitrogênio (N).....	16
2.5.2 Potássio (K).....	18
2.5.3 Fósforo (P) .....	20
2.5.4 Cálcio (Ca) .....	21
2.5.5 Magnésio (Mg) .....	23
2.5.6 Micronutrientes: Zn, B, Mn, Mo, Cu, Co e Na.....	24
2.5.6.1 Zinco (Zn).....	24

2.5.6.2 Boro (B).....	25
2.5.6.3 Manganês (Mn) .....	25
2.5.6.4 Molibdênio (Mo) .....	26
2.5.6.5 Cobre (Cu) .....	26
2.5.6.6 Cobalto (Co).....	27
2.5.6.7 Sódio (Na).....	27
2.5.7 Silício (Si).....	27
3. TRABALHOS .....	34
3.1. CRESCIMENTO DE <i>Passiflora edulis</i> SUPLEMENTADO COM FONTES DE SILÍCIO .....	34
3.2. MARACUJAZEIRO AZEDO ADUBADO COM FONTES DE SILÍCIO: ABSORÇÃO E TRANSLOCAÇÃO DE SILÍCIO E CARACTERIZAÇÃO FISIOLÓGICA .....	56
3.3. OCORRÊNCIA E DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DE ÁCARO BRANCO EM MUDAS DE MAMOEIRO ADUBADOS COM FONTES DE SILÍCIO.....	78
4. RESUMOS E CONCLUSÕES.....	90
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS.....	92

## RESUMO

LINHARES, Gabriella Almeida Nogueira, D.Sc., Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Fevereiro de 2019. Fontes de silício em mamoeiro e maracujazeiro: crescimento, fisiologia e indução de resistência. Orientador: Prof. Dr. Almy Junior Cordeiro de Carvalho.

Foram realizados três experimentos com objetivo de avaliar os efeitos advindos da aplicação de fontes de silício no crescimento e resistência a estresse biótico em mudas de maracujazeiro e mamoeiro. Os delineamentos utilizados nos três trabalhos foram em blocos ao acaso, sendo oito tratamentos: testemunha; Agrosilício Plus®; ácido silícico puro; ácido silícico puro + óxido de cálcio; ácido silícico puro + óxido de magnésio; ácido silícico puro + óxido de cálcio + óxido de magnésio; óxido de cálcio; óxido de magnésio, com quatro repetições e dois vasos por parcela. No primeiro trabalho, objetivou-se avaliar o efeito da adubação com fontes de silício no crescimento vegetativo de mudas de maracujazeiro azedo. A suplementação com fontes de silício proporcionou alterações em todas as variáveis de crescimento avaliadas. O maior comprimento, volume, área superficial e massa seca radicular ocorreu no tratamento com ácido silícico puro. O diâmetro médio da raiz não foi influenciado pelos diferentes tratamentos aplicados. Os resultados obtidos para o crescimento radicular indicam que o uso do silício pode ser considerado um elemento promissor para o cultivo da fruteira em questão. No segundo trabalho, objetivou-se avaliar o efeito da adubação com fontes de silício nos aspectos fisiológicos e no padrão de absorção e translocação do elemento

silício em mudas de maracujazeiro azedo. Dentre as variáveis fisiológicas avaliadas, a suplementação com silício promoveu diferenças significativas para taxa fotossintética e transpiratória. A adubação com ácido silícico puro promoveu maior conteúdo de silício na parte aérea, no sistema radicular e, por conseguinte, em toda planta. O maracujazeiro azedo absorveu mais silício advindo dos tratamentos com ácido silícico puro e da associação deste com óxido de magnésio, sendo que a maior concentração deste silício permanece nas raízes do *Passiflora edulis*. No terceiro trabalho, objetivou-se avaliar os efeitos da aplicação de silício na ocorrência e distribuição vertical do ácaro branco *Polyphagotarsonemus latus*, em plantas de mamão. A suplementação com silício, cálcio, magnésio e a associação desses elementos promoveram redução significativa na incidência de ácaros brancos e na soma envolvendo o adulto e os ovos de *P. latus*. Nos tratamentos mais atacados (testemunha e agrosilício), os maiores danos ocorreram no ápice da planta, enquanto os demais tratamentos não há diferença quanto à porção da planta avaliada.

## ABSTRACT

LINHARES, Gabriella Almeida Nogueira, D.Sc., Norte Fluminense Darcy Ribeiro State University. February, 2019. Sources of silicon in papaya and passion fruit: growth, physiology and induction of resistance. Advisor: Professor Almy Junior Cordeiro de Carvalho.

Three experiments were realized to evaluate the effects of the application of sources of silicon on growth and resistance to biotic stress in passion fruit and papaya seedlings. The designs used in the three studies were in randomized blocks, with eight treatments: control; Agrosilicon Plus<sup>®</sup>; pure silicic acid; pure silicic acid + calcium oxide; pure silicic acid + magnesium oxide; pure silicic acid + calcium oxide + magnesium oxide; calcium oxide; magnesium oxide, with four replicates and two pots per plot. In the first work, the objective was to evaluate the effect of fertilization with sources of silicon on vegetative growth of passion fruit seedlings. Supplementation with sources of silicon provided changes in all growth aspects evaluated. Higher length, volume, superficial area and dry matter of roots occurred in plants treated with pure silicic acid. Root mean diameter not changed in response to the different treatments applied. The results to root growth indicate that the use of silicon can be promising to improve passion fruit cultivation. In the second work, the objective was to evaluate the effect of fertilization with sources of silicon on the physiological aspects and on the absorption and translocation pattern of the silicon element in passion fruit seedlings. Silicon supplementation promoted significant differences for photosynthetic and transpiratory rates, in the physiological variables

evaluated. Fertilization with pure silicic acid promoted higher silicon content in the aerial part, in the root system and, therefore, in every plant. Passion fruit absorbed more silicon from the treatments with pure silicic acid and its association with magnesium oxide. The highest concentration of this silicon was observed in the roots of *Passiflora edulis*. In the third work, the objective was to evaluate the effects of silicon application on the occurrence and vertical distribution of the broad mite *Polyphagotarsonemus latus*, in papaya plants. Silicon, calcium and magnesium supplementation and the association of these elements promoted a significant reduction in the incidence of broad mite and in the sum involving the adult and the eggs of the *P. latus*. In the most attacked treatments (control and Agrosilicon), the highest damages were verified in the apical portion. In the other treatments, there was no difference in the evaluated portions of the plants.

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil ocupa a terceira colocação, precedida da Índia e da China, no ranking da produção mundial de frutas, sendo responsável por 5,3% do volume colhido, com uma produção de 41,02 milhões de toneladas em 2015 (FAO, 2018). Esse destaque na produção é advindo de condições de solo e clima diversificados, além da extensão territorial e posição geográfica, que permite o cultivo de frutíferas de clima temperado, tropical e subtropical, com produtos de elevado potencial para o mercado no exterior.

Dentre as frutas produzidas, o maracujá e o mamão apresentam grande expressão na área agrícola do país. Ao longo dos anos, essas culturas mostraram-se como uma alternativa de renda a mais para pequenos e médios produtores rurais, principalmente, devido ao valor dos frutos comercializados. Contudo, observou-se redução de 39,9% da produção de maracujá entre os anos de 2010 a 2017 (IBGE, 2018). No mesmo período, houve declínio na produção nacional do mamão, afetando os principais estados produtores (Bahia e Espírito Santo), resultante da deficiência hídrica e de altas temperaturas, o que culminou em elevação dos preços a patamares históricos, dificultando a exportação e diminuindo a produção (Kist et al., 2017).

Soma-se a esses fatores, o cultivo de variedades ou linhagens inadequadas, mudas de baixa qualidade e/ou contaminadas com patógenos, deficiência de planejamento de irrigação, ausência de um esquema adequado de

adubação associada com correção inicial da acidez potencial do solo e um manejo adequado de pragas e doenças (Greco, 2014).

Adubação equilibrada, frequentemente, aumenta a produção e qualidade do produto colhido (Souza, 2015). Embora os dados experimentais atribuídos à utilização de fertilizantes silicatados ainda sejam escassos, estes já demonstram o potencial para a agricultura brasileira, por promoverem efeitos benéficos a plantas como um aumento da disponibilidade de nutrientes e uma maior tolerância a estresses bióticos e abióticos (Marafon e Endres, 2011; Mendes et al., 2011). Contudo, na literatura, os resultados oriundos do uso de silício (Si) restringem-se mais a gramíneas (Zanetti, 2013), já que estas são classificadas como plantas acumuladoras de silício, por apresentarem maior capacidade de absorção e um teor foliar acima de 1% (Epstein, 1999), sendo assim, mais responsivas ao tratamento.

Por fim, embora descritos na literatura os benefícios atribuídos ao Si quanto ao desenvolvimento e crescimento de plantas, ao solo e ao meio ambiente, empresas fornecedoras de insumos a base de silício (silicatos) recomendam o emprego do produto mediante apenas aos teores de macronutrientes. Desta forma, acarretam-se vários questionamentos em relação às vantagens atribuídas à atuação do micronutriente silício, já que pode ser apenas um *merchandising* para encarecimento final do fertilizante mineral. Logo, há necessidade de estudos envolvendo a adoção de silício isoladamente e a realização de um comparativo do silício associado a outro nutriente, a fim de verificar se tais efeitos benéficos são originários unicamente do nutriente.

Diante do exposto, o objetivo geral deste trabalho foi: avaliar o impacto da utilização de fontes de silício no crescimento, desenvolvimento e produção do maracujazeiro azedo e mamoeiro do grupo solo variedade *Sunrise Solo* e verificar se os benefícios e vantagens listados na literatura são provenientes do silício, do emprego de macronutrientes ou da associação de ambos. Os objetivos específicos foram: (i) Avaliar o efeito da adubação com fontes de silício nas características biométricas do maracujazeiro; (ii) Avaliar as trocas gasosas foliares e o rendimento quântico máximo do Fotossistema II (Fv/Fm) e índice fotossintético (PI) do maracujazeiro azedo submetidos a adubação com silício; (iii) Determinar a capacidade do maracujazeiro azedo em absorver e translocar o nutriente silício; (iv)

Avaliar o efeito da adubação com silício na incidência de ácaros em plantas de mamoeiro.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Fruticultura: Importância econômica no agronegócio

A fruticultura é uma atividade do agronegócio de extrema importância para o desenvolvimento agrícola nacional tanto no mercado interno como na geração de divisas pela exportação de frutas frescas ou de seus produtos industrializados (Rodrigues et al., 2009). O segmento gerou, em 2016, cerca de 5,6 milhões de empregos (CNA Brasil, 2018), em áreas cultivadas que totalizaram 1.770.660 hectares distribuídos por vários polos produtivos no Brasil (IBGE, 2018).

A produção brasileira de frutas, em 2017, foi de aproximadamente 39,5 milhões de toneladas. Esse volume mantém o país na terceira colocação no ranking mundial de frutas, que tem a China como o principal produtor. As frutas são comercializadas em todo território nacional, seguindo as especializações de cada região, em função, principalmente, das condições ambientais e mercado consumidor (Guimarães e Madeira, 2017).

Dentre as frutas mais comercializadas, destacam-se a laranja, banana e o abacaxi. A Laranja é a principal fruta produzida no Brasil em volume, com 17,46 milhões de toneladas saídas dos pomares em 2016, e responde por 44,34% das colheitas totais da Fruticultura (IBGE, 2018). Porém, esta cultura e as demais estão em declínio produtivo no país desde 2010. São vários os motivos: alta perecibilidade, ocorrendo aproximadamente 30% de perdas após a colheita, causada por fungos, insetos, manipulação inadequada, armazenamento incorreto e outros, o que gera

necessidade de uma rápida difusão, mas também, devido às condições climáticas extremas, como altas temperaturas e escassez hídrica (Kist et al., 2017).

A partir de 2014, a produção e a qualidade de frutas produzidas no Nordeste foram afetadas pela crise hídrica. A ausência de precipitação limita a ampliação de área e eleva o aparecimento de pragas. Já na região Sul, o excesso de água ocasiona quebra de safra, limita o volume produzido para exportação e aumenta as incidências de doenças (CEPEA, 2018).

A fruticultura, mesmo apresentando uma ampla gama de espécies cultivadas, é aprisionada pelo uso de pomares tradicionais (laranjeira e bananeira), tanto nos âmbitos mundiais quanto nacionais (Andrade, 2017). No contexto nacional, a produção apenas dessas duas culturas detém de 62,29% da produção do país (IBGE, 2018).

Para obter ascensão no segmento da fruticultura no Brasil há um grande desafio a ser vencido, como a expansão produtiva das demais fruteiras de clima tropical (maracujazeiro, mamoeiro, aceroleira, cajueiro, goiabeira, entre outras) e temperado (ameixeira, macieira, pessegueiro, videira, entre outras), além do aumento do consumo de frutas no país, estimada pela Organização Mundial da Saúde (OMS), sendo inferior a 400 gramas diárias (Andrade, 2017).

## **2.2 Maracujazeiro: Aspectos gerais da cultura**

O maracujazeiro é uma frutífera originária da região tropical da América do Sul (Rizzi et al., 1998). Pertence à família Passifloraceae (Meletti e Maia, 1999), classificada na ordem Malpighiales, que reúne 20 gêneros e 650 espécies, amplamente distribuídas nas regiões tropicais e subtropicais (Nunes, 2002).

No Brasil, foi registrada a ocorrência de quatro gêneros, *Passiflora* L., *Dilkea* Mast., *Ancisthrothyrus* Harms e *Mitostemma* Mast., distribuídos em 130 espécies entre nativas e cultivadas (Bernacci, 2003; Bernacci et al., 2015).

O gênero *Passiflora* é composto de 24 subgêneros e 465 espécies, sendo considerado o de maior importância econômica (Silva, 2006). Apesar da grande variabilidade, as espécies mais cultivadas no Brasil são: a *Passiflora edulis* e *Passiflora alata*.

Segundo Bernacci et al. (2003), 95% dos pomares brasileiros são plantios de maracujá azedo e nos 5% restantes, prevalecem o cultivo de maracujá roxo e o

maracujá doce, sendo estas três espécies as mais importantes, economicamente, para o país.

Muitas espécies de *Passiflora* são cultivadas, principalmente, pelo valor ornamental de suas flores, característica nutricional de seus frutos e propriedades farmacológicas (sedativa, diurética, anti-diarreico, estimulante, tônico e no tratamento de hipertensão) e alimentares de seu suco, semente e casca, esta última é rica em pectina, niacina, ferro, cálcio e fósforo. A niacina atua no crescimento e na produção de hormônios, além de prevenir problemas gastrointestinais. Já os minerais atuam na prevenção da anemia (ferro), no crescimento e fortalecimento dos ossos (cálcio) e na formação celular (fósforo) (Manica, 1981). As fibras do maracujá possuem potencial no controle de obesidade, diabetes e controle de taxas de colesterol (Faleiro et al., 2005). Todavia, a principal importância do maracujá está na alimentação humana, podendo ser consumido *in natura* ou no processamento de sucos, refrescos, doces, geleia, sorvete e licores (Manica, 1981; Meletti e Maia, 1999; Coelho et al., 2016).

O maracujazeiro azedo é o mais conhecido, cultivado e comercializado nacionalmente, tanto no mercado de frutas frescas como na indústria de sucos, por apresentar características agronômicas desejáveis, como maior produtividade, vigor e qualidade dos frutos, menor sensibilidade a algumas moléstias e por produzirem sucos mais ácidos, de coloração amarelada, rico em minerais e vitaminas, muito apreciado pelo seu aroma e sabor agradáveis (Medina, 1980; Leite et al., 1994; Silva, 2006; Silva, 2008; Faleiro et al., 2011).

A exportação de maracujá ainda é bem restrita, ocorrendo em pequena escala, sob as formas de fruta fresca e, principalmente, suco concentrado. Os principais destinos são os países europeus. A participação da fruta no total das exportações de maracujá do Brasil se limita a 1,5%, porque o mercado interno absorve quase a totalidade da produção (Caten, 2013).

A cultura apresenta grande apelo social, haja vista ser uma fruteira cultivada principalmente em pequenos pomares, com área cultivada variando de 1,0 a 4,0 hectares. Por fim, promove geração de emprego, devido ao período de safra (oito meses) e fixação de mão-de-obra no âmbito rural, pela necessidade de renovação dos pomares de dois em dois anos (Faleiro et al., 2005; Pires et al., 2011).

O Brasil, que historicamente sempre foi um dos maiores produtores mundiais de maracujá que, a partir de 1970, tornou-se uma atividade com maior intensidade

comercial, tem sua produção reduzida desde 2010. Atualmente, com 703.489 toneladas concentradas nos estados da Bahia e Ceará, que detêm de 62,7% da produção mundial, necessita da inserção de tecnologias de produção mais adequadas, capazes de elevar a produtividade e rentabilidade dos pomares (Carvalho et al., 2000; IBGE, 2018).

### **2.2.1 Maracujazeiro azedo: Caracterização botânica e morfológica**

A espécie *Passiflora edulis*, popularmente conhecida no Brasil como maracujá azedo, mirim, ácido e suspiro, é comumente cultivada no Havaí, Brasil, parte da Austrália, Fiji e Srilanka, regiões de baixas altitudes e temperaturas elevadas (Manica, 1981), e tem como maior centro de distribuição geográfica a região Central e Norte do Brasil (Manica e Oliveira, 2005).

É uma planta trepadeira sub-lenhosa, que se prende aos suportes por meio de gavinhas. Apresenta grande vigor vegetativo, podendo atingir além de 10 m de comprimento. O caule se apresenta glabro ou piloso, sendo este, lenhoso na base e bastante lignificado, reduzindo o teor de lignina conforme se aproxima do ápice, e com formato cilíndrico ou ligeiramente anguloso, quando jovem. Os ramos são de coloração verde, variando um pouco a tonalidade, semi-flexíveis e trepadores. As folhas são simples, alternadas, profundamente trilobadas, exceto jovens, quando são inteiras ou bilobadas, apresentam também borda serrada, com face superior lustrosa. O pecíolo possui até 6 cm de comprimento e duas glândulas nectaríferas ocelares no ápice, próximo ao limbo (São José, 1994; Sousa e Meletti, 1997; Bruckner e Picanço, 2001; Silva, 2008; Martins, 2009; Pires et al., 2011).

O sistema radicular do maracujazeiro é do tipo axial ou pivotante, com maior concentração das raízes (mais de 50%) nos primeiros 30 cm de profundidade, enquanto 60 a 80% localizam-se a menos de 50 cm do tronco (Ruggiero, 1980; São José, 1994).

As flores possuem grande valor ornamental, destacando a exuberância das pétalas e sépalas brancas dotadas de franjas roxas, bem atrativas para insetos polinizadores, principalmente as mamangavas. São classificadas como axilares, solitárias e completas, que são dotadas de órgão masculino e feminino. A abertura das flores do maracujazeiro é rápida e sincronizada, com abertura por volta do meio dia e fechamento às vinte horas, aproximadamente. Uma vez fecundados os óvulos,

ocorre o desenvolvimento dos frutos, caso contrário, as flores murcham e caem (São José, 1994; Silva, 2008).

O fruto é classificado como sendo uma baga globosa, apresentando 5 a 7,5 cm de diâmetro e de coloração amarelo canário, quando maduro. As espécies cultivadas apresentam de duzentas a trezentas sementes por fruto, estas são ovais, reticuladas, pretas (Lima e Cunha, 2004).

### **2.2.2 Aspectos ambientais**

O Brasil, como centro de diversidade do maracujazeiro, apresenta condições excelentes para o cultivo do maracujá. A planta apresenta pleno desenvolvimento em regiões tropicais e subtropicais, onde o clima é quente e úmido, apresentando longo período de safra, variando de oito meses no Sudeste, dez meses no Nordeste e até doze meses no Norte (Borges e Lima, 2009; Lima, 2010).

A temperatura, a radiação solar, o fotoperíodo e a precipitação são as variáveis climáticas que mais limitam o desenvolvimento dessa espécie, afetando a longevidade e o rendimento das plantas, além de influenciar o aparecimento de pragas e doenças (Martins, 2009).

A faixa de temperatura entre 20 e 32°C é considerada como a mais favorável ao crescimento da planta, com regime pluviométrico variando de 700 a 1800 mm/ano. Chuvas intensas e frequentes no período de floração dificultam a polinização, pois o grão de pólen estoura em contato com a umidade. Já, secas prolongadas causam a queda de frutos (Gazel Filho e Nascimento, 1998). As baixas temperaturas e os dias curtos de inverno interrompem a produção, alterando a duração de safra para 7 a 10 meses por ano (Meletti e Maia, 1999). Além disso, o vingamento dos frutos é afetado pelas temperaturas muito elevadas ou por temperaturas muito baixas (Manica, 1981).

O maracujazeiro, planta tropical típica, requer grande intensidade luminosa que, juntamente com outros fatores, garante um vigoroso crescimento vegetativo, pleno florescimento, maior vingamento de frutos, frutificação abundante e frutos de alta qualidade (Costa, 2008). Segundo Piza Júnior (1993), o maracujazeiro azedo é considerado uma planta de “dias longos”, necessitando de 11 a 12 horas diárias de luz para florescer. O florescimento ocorre em vários meses do ano, iniciando depois das 11 horas da manhã. De acordo com Lima (2010), a produção na entressafra é reduzida nas estações de outono e inverno, devido ao fotoperíodo inferior a 11 horas

e a baixas temperaturas. Todavia, na região Nordeste, mesmo na entressafra, o florescimento é contínuo com a produção.

### 2.3 A cultura do mamoeiro no Brasil e no mundo

O mamoeiro é uma das fruteiras mais cultivadas e consumidas nas regiões tropicais e subtropicais, onde as condições são ecologicamente favoráveis ao seu desenvolvimento, apresentando clima quente, pluviosidade elevada, solos férteis e bem drenados (Marin et al., 1995; Carvalho, 2015). Contudo, não teve ainda o seu centro de origem precisamente relatado (Costa, 2003). Embora haja divergência quanto à origem do mamoeiro, a maioria dos constituintes do gênero *Carica* se concentra ao longo da cordilheira dos Andes, com máxima diversidade genética na Bacia Amazônica Superior, sudeste da Bolívia até a Venezuela, passando pelo Peru e Equador. Logo, o mamoeiro é caracterizado como sendo tipicamente tropical (Badillo, 1971; Costa, 2003; Silva, 2013; Rossi, 2015), com distribuição em latitudes de 32 graus Norte a 32 graus Sul, porém, as áreas comerciais estão distribuídas em latitudes mais restritas (Martins e Costa, 2003).

No Brasil, até fins da década de 70, praticamente não existiam variedades comerciais para plantio, devido ao predomínio do cultivo de mamoeiros dioicos, cujas sementes eram utilizadas na formação de novos plantios, causando alta segregação. No entanto, com a ocorrência do vírus do mosaico, a cultura foi dizimada e migrou para outras regiões do país, retomando sua importância econômica com os cultivares 'Formosa' e 'Solo', principalmente no Pará, Bahia e Espírito Santo, por causa da maior aceitação no mercado interno e externo (Marin et al., 1995).

Atualmente, o mamoeiro é amplamente cultivado em vários países. A Ásia é o continente que produz a maior quantidade de frutos do mamoeiro com 56,3% da produção total, seguido pela América (33,1%), África (10,5%) e Oceania (0,1%) (FAO, 2018). O país que apresenta a maior quantidade de mamão produzido é a Índia (5,7 milhões de toneladas), seguido do Brasil com 1,4 milhões ton, em 30,8 mil hectares e do México (952 mil ton). Visto que a Índia tem sua produção de mamão 4 vezes maior que a brasileira, há a necessidade de investimentos na cadeia produtiva do mamão brasileiro. Em 2016, o Brasil exportou cerca de 38 mil toneladas, produzindo uma receita de US\$ 43,1 milhões (Secex, 2018). Essa fruta é cultivada praticamente em todo território nacional e a produção comercial está concentrada na

Bahia com 368.875 toneladas, seguida do Espírito Santo, com 311.150 ton, Ceará, com 115.525 ton e Rio Grande do Norte, com 86.342 ton (IBGE,2018).

Embora o mamoeiro apresente maior diversificação genética na Bacia Amazônica, os pomares comerciais estão atualmente concentrados nas regiões do Sul da Bahia; Norte do Espírito Santo; Oeste Baiano; Chapada do Apodi, no Rio Grande do Norte; Norte de Minas Gerais; e Baixo Jaguaribe/Vale do Acaraú, no Ceará (Lucena, 2016).

O interesse na cultura de *Carica papaya* reside no aspecto socioeconômico com excelentes perspectivas de mercado interno e externo (Celanti, 2015) e, principalmente, o que tange à geração de emprego e renda (Silva, 2013), absorvendo mão de obra regularmente, pela constante necessidade de manejo, tratamentos culturais, colheita e comercialização, efetuados de maneira contínua nas lavouras, além da renovação dos pomares, em média, a cada três anos (Ramos et al., 2008). Por fim, é uma importante fonte de alimentação, produzindo frutos aromáticos, com elevados teores de pré-vitaminas A e vitamina C, sendo muito utilizados em dietas em razão do seu valor nutritivo e digestivo (Dantas et al., 2002). Os frutos são consumidos maduros, ao natural ou com açúcar e verde em doces industrializados ou para extração de papaína e da pectina. Do mamão maduro são elaborados o purê de mamão em calda (compota), mamão cristalizado, salada de frutas tropicais, geleia, confeitados, vinhos, entre outros (Manica, 1982).

A planta do mamoeiro também é cultivada para fins medicinais, produção de papaína (enzima proteolítica, advinda do látex dos frutos verdes), carpaína (alcaloide empregado como ativador do músculo cardíaco) e para diversos fins nas indústrias têxtil, farmacêutica e de cosméticos (El Moussaoui et al. 2001).

### **2.3.1 Classificação botânica e genótipos do mamoeiro**

O mamão pertence à classe Eudicotyledoneae, subclasse Archichlamydeae, ordem Violales, subordem Caricaceae, família Caricaceae e gênero *Carica* (Costa, 2003). Segundo Van Droogenbroeck et al. (2002), a família Caricaceae possui 35 espécies, distribuídas em seis gêneros. Os gêneros *Carica*, *Horovitzia*, *Jarilla*, *Jacaratia* e *Vasconcellea* são nativos da zona neotropical, enquanto o gênero *Cylicomorpha* é originário da África Equatorial.

No Brasil, de todas as espécies existentes na família Caricaceae, a *Carica papaya* L. é a única conhecida comercialmente. As cultivares de mamoeiro mais exploradas no Brasil são classificadas em dois grupos: “Solo” e “Formosa”, sendo adotadas práticas convencionais, orgânicas e integradas de cultivo (Araújo et al., 2013). As cultivares do grupo Solo são geneticamente mais uniformes, consistindo em linhagens puras fixadas por sucessivas gerações de autofecundação e apresentam peso médio de seus frutos, variando de 425 a 625 g (Macedo, 2012).

As principais cultivares compostas no grupo “Solo” são: Sunrise Solo, Improved Sunrise Solo Line 72/12, Waimanalo, Kapoho Solo, Baixinho de Santa Amália, Golden e Golden THB. Já no grupo “Formosa” destacam-se os híbridos Tainung 01, Tainung 02, Uenf/Caliman 01 e a variedade Rubi Incaper 511. (Ferreira, 2014; Celanti, 2015).

O mamão Sunrise Solo, vulgarmente conhecido também por mamão da Amazônia, mamão Havaí ou papaya, é o que apresenta maior apreciação dentre os consumidores, especialmente entre os estrangeiros (Sturião, 2012). Este é procedente da Estação Experimental do Havaí (EUA).

### **2.3.2 Caracterização botânica**

O mamoeiro é uma planta herbácea, semi-lenhosa, de crescimento rápido, raramente ramificada, que apresenta uma fase juvenil curta, variando de três a oito meses (Peçanha, 2010; Dutra, 2015). Apresenta grande vigor vegetativo, embora plantas de cultivo comercial não ultrapassem 5 a 6 m, as plantas podem atingir além de 10 m de comprimento. Além de uma expressiva longevidade, que pode ser de até 20 anos, há dificuldade do manejo e tratos culturais em plantios comerciais, cujas áreas são renovadas a cada 2 a 3 anos (Marler, 1994).

As folhas emergem do meristema apical, são alternadas, com grandes limbos foliares (até 70 cm de diâmetro), longo-pecioladas, lâminas ovais ou orbiculares, profundamente palmatilobadas, apresentando 7 a 11 nervuras principais. São classificadas como hipoestomáticas, contendo estômatos anomocítico ou anisocítico, ou seja, sem células subsidiárias e com células-guarda assimétricas (Leal-Costa et al., 2010; Dutra, 2015). Estas folhas estão inseridas no caule em forma de espiral, permitindo uma eficiente distribuição da radiação fotossinteticamente ativa, evitando, assim, o autossombreamento (Lima, 2014).

A planta apresenta caule verde suculento, ereto, cilíndrico, com espessura na base de até 40 cm, afinando até uns 5 a 7,5 cm no ápice e marcado por grandes e numerosas cicatrizes foliares (Peçanha, 2010). Os pecíolos são fistulosos, cilíndricos, apresentando 0,5 a 0,7 cm de comprimento (Martins e Costa, 2003).

O sistema radicular do mamoeiro é do tipo axial ou pivotante, apresentando coloração branca-cremosa, dotado de ramificações radiais e enquadra-se no tipo de raiz principal denominada napiforme (Manica, 1982).

Os mamoeiros do grupo Solo em plantios comerciais são do tipo ginoica-andromonoica, ou seja, apresentam plantas hermafroditas e femininas em proporção 2:1. Nesse caso, as plantas femininas são fecundadas pelo pólen de flores hermafroditas, gerando frutos normalmente arredondados ou ligeiramente ovalados, com grande cavidade interna em relação à espessura da polpa, com menor valor comercial. As plantas hermafroditas são autofecundáveis, produzindo frutos geralmente alongados com formato piriforme e cavidade interna menor do que os originados por plantas femininas, apresentando maior valor comercial por terem maior espessura de polpa (Zaidan, 2002; Marin, 2004; Cavalcante, 2013).

O fruto do Sunrise Solo é uma baga carnosa, quando proveniente de flor feminina apresenta formato ovalado e o de flor hermafrodita é piriforme, esférico-periforme, de pedúnculo curto, presa na parte superior do tronco, na axila das folhas. Possui casca lisa, firme, cavidade interna estrelada, com polpa vermelho-alaranjada e peso médio de 425 a 625 gramas, com boa aceitação no mercado interno e no mercado externo. As sementes são pequenas, redondas, rugosas e recobertas com uma camada mucilaginosa (Costa e Pacova, 2003).

Genótipos do grupo Solo são mais apreciados para fins de exportação, por serem dotados de polpa avermelhada e tamanho pequeno, com peso variando de 300 e 650 g. Já os do grupo Formosa são compostos, em sua maioria, por híbridos comerciais, mas também podem ser constituídos por linhagens, estes apresentam polpa laranja-avermelhada e peso médio de 1.150 g e, atualmente, vêm ganhando espaço nos mercados interno e externo, com forte crescimento de vendas para a Europa, o Canadá e os Estados Unidos (Dias et al., 2011). Rodolfo Júnior et al. (2007) obtiveram em seu trabalho um peso médio da cultivar Sunrise Solo de 443,7 g e da cultivar Formosa 1531 g, além de avaliarem outros atributos de interesse. Os autores concluíram que ambas possuem características físico-químicas adequadas para as exigências do mercado interno, exceto para a firmeza dos frutos.

### 2.3.3 Aspectos ambientais

O mamoeiro é planta tropical, com boa adaptabilidade em climas subtropicais, podendo se desenvolver em regiões de clima temperado em áreas livres de geadas. Contudo, nesses ambientes, a qualidade do fruto não é a desejável (baixo teor de açúcar) e a planta pode não completar o ciclo (Manica, 1982).

Por ser uma fruteira tropical, o mamoeiro adapta-se bem em regiões com temperaturas entre 21 e 33°C, sendo a melhor temperatura em torno de 25°C e a umidade relativa do ar adequada de 60 a 85% (Peçanha, 2010). O regime pluviométrico ideal seria da ordem de 1.500 a 2.000 mm anuais, mas 1.200 mm são suficientes, desde que bem distribuídos ao longo do ano (Gazel Filho, 1998). De acordo com Couto e Nacif (1999), condições climáticas desfavoráveis ao cultivo, como extremos de temperaturas, umidade do ar e do solo culminam no surgimento de distúrbios nas flores hermafroditas. Temperaturas inferiores a 20°C facilitam a ocorrência de carpeloidia (distorção e deformidade de flores e frutos), além da diminuição dos teores de sólidos solúveis. Já temperaturas abaixo de 16°C acarretam problemas na maturação de frutos, além de inibir a floração. (Coelho Filho et al., 2009).

De acordo com Mengarda et al. (2014), a luminosidade intervém na emergência de sementes e no desenvolvimento inicial do mamoeiro, sendo que com a utilização de níveis intermediários de irradiância ( $130 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  e  $580 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), tanto a emergência quanto o desenvolvimento das mudas, até os 120 dias, foram adequados. Já a elevada irradiância ( $1.200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) atravancou a emergência e a baixa irradiância ( $60 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) o desenvolvimento das mudas.

No Brasil, a cultura do mamoeiro está situada em segmentos dos Tabuleiros Costeiros, com solos de baixa fertilidade, baixa capacidade de retenção de água e dotado de uma camada adensada próxima à sua superfície que diminui a disponibilidade hídrica ao dificultar a penetração e distribuição radicular das plantas, por fim, apresentam consistência friável quando úmidos; porém, quando secos, possuem consistência dura, muito dura ou extremamente dura, exibindo forte coesão (Coelho Filho e Coelho, 2007; Silva e Carvalho, 2007; Peçanha, 2010).

Todavia, para obter uma boa produtividade, desempenho agrônômico, o solo mais indicado para o cultivo são os de textura areno-argilosa, com pH variando de

5,5 a 6,7. Solos muito argilosos, pouco profundos ou localizados em baixadas, devem ser evitados, pois encharcam com facilidade na época de chuvas intensas e tornam-se endurecidos na época da seca, dificultando o desenvolvimento radicular. É recomendado o plantio em áreas com uma pequena declividade, em locais de pluviosidade elevada, a fim de se evitar o acúmulo de água próximo às raízes (Manica, 1982; Oliveira e Coelho, 2009).

## **2.4 Sistema radicular e distribuição no solo**

O sistema radicular é uma estrutura física, com o objetivo de propiciar suporte às plantas, funcionando como fundação para que o vegetal possa permanecer sobre o solo. Somando-se, desempenha também importantes atividades fisiológicas, na síntese de fitohormônios e absorção da solução do solo. Essas atividades são moduladas pelos fatores que afetam a respiração, tais como a taxa de difusão do oxigênio e a temperatura do solo, que também atuam como reguladores na disponibilidade de íons, na toxidez e na presença de patógenos no solo. Por outro lado, tanto a temperatura quanto a taxa de difusão de oxigênio e a sua quantidade são influenciadas pela umidade do solo (Magalhães, 1988).

Além de prover à planta sustentação física, a importância do sistema radicular relaciona-se, principalmente, ao seu suprimento com água e nutrientes extraídos do solo. Assim, quanto mais desenvolvido e profundo for o sistema radicular da planta, maior será sua resistência ao tombamento pelos ventos e menor a possibilidade de sofrer estresse hídrico (Libardi e Van Lier, 1999) e nutricional (Silva et al., 2006).

A avaliação da distribuição radicular de uma cultura é fundamental para o desenvolvimento de práticas racionais de manejo agrícola que visam à otimização da produtividade. Já que o conhecimento das dimensões do sistema radicular auxilia na escolha de locais apropriados para a instalação de instrumentos, como o tensiômetro e em sistemas de irrigação localizada, permite determinar a quantidade de água a ser aplicada no manejo da irrigação de uma cultura e fixar a distância adequada a partir do tronco, onde deverá ser aplicada a água, bem como a profundidade que a mesma deve atingir (Fante Jr. e Reichardt, 1994; Oliveira et al., 1998; Coelho et al., 2002).

Manica (1981) indica que 73 a 85,5% das ramificações estão concentradas entre 15 a 45 cm de profundidade. Raízes adventícias desenvolvem-se em maracujazeiro azedo, quando a propagação for feita por estaca (Weber, 2013). Já em seu trabalho, Ocampo et al. (1994) concluíram que a maior atividade de raízes ocorreu na profundidade de 0 a 20 cm e em uma distância de 51 a 100 cm da base da planta, indicando que as plantas, nessas condições, apresentam as raízes mais superficiais.

Inforzato e Carvalho (1967) concluíram, em seu trabalho, que 76 e 68% de todas as raízes do mamoeiro estavam concentradas a 30 cm de profundidade do solo, aos 4 e 12 meses de idade do mamoeiro, respectivamente. Atingindo uma profundidade de 1,60 m, aos 4 meses e aos 12 meses alcançava profundidade de 3,40 m. Coelho et al. (2005) concluíram que a profundidade efetiva do sistema radicular do mamoeiro (concentração de 80% das raízes) irrigado por gotejamento superficial ou enterrado foi de 0,45 m e, na microaspersão, variou de 0,15 m na direção perpendicular à fileira de plantas a 0,35 m entre a planta.

## **2.5 Nutrientes minerais no maracujazeiro e no mamoeiro**

A prática de adubações, além de constituir um atributo indispensável para o desenvolvimento das mudas, promove aceleração considerável do crescimento, diminuindo os custos de produção (Miyake et al., 2017). Contudo, a utilização indiscriminada da adubação mineral, de forma contínua e sem realização de avaliação periódica do efeito residual dos fertilizantes aplicados, contribui para o acréscimo da salinidade de solos irrigados, além de ocasionar mudanças nas características químicas do solo e, por conseguinte, no equilíbrio dos nutrientes, gerando desordem nutricional e efeitos antagônicos entre os nutrientes (Silva e Araújo, 2005). Na avaliação das exigências nutricionais é necessário determinar: a) a quantidade extraída (raiz + parte aérea) e exportada (flores + frutos) pela cultura durante o ciclo ou as necessidades nutricionais para alcançar a produtividade almejada; b) a quantidade de nutrientes fornecidas pelo solo à cultura; c) a quantidade de nutrientes contida na água de irrigação; d) a eficiência da absorção de nutrientes nos diferentes métodos de irrigação, e por fim, e) a época de maior demanda dos nutrientes (marcha de absorção) (Ruggiero, 1988; Sousa et al., 2011).

As frutíferas, diferentemente das plantas anuais, possuem estruturas que acumulam nutrientes de um ano para o outro, como raízes, caule, ramos e folhas. Estas plantas necessitam, conforme verificado por análise química, de dezessete nutrientes: carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre, classificados como macronutrientes, por serem exigidos em maiores quantidades na composição das plantas, e o boro, ferro, zinco, manganês, molibdênio, cobre, cloro e sódio, chamados de micronutrientes (Fachinello et al., 2012). De acordo com Freitas (2006), com o aumento da idade das plantas, pode ocorrer mais facilmente a redução nos teores de nutrientes mais móveis no floema (N, P e K), já os com reduzida mobilidade (Ca, B e Mn) tendem a elevar os teores.

O nitrogênio e o potássio são os elementos mais requeridos pelo maracujazeiro, seguidos pelo cálcio, enxofre e fósforo. No entanto, a absorção é pequena até 190 dias de idade. Posteriormente, a absorção de nitrogênio, potássio e cálcio é crescente. Em relação aos demais nutrientes, o aumento só é verificado a partir do 250º dia (Sousa e Borges, 2011). Já na cultura do mamão os macronutrientes potássio, nitrogênio e cálcio são absorvidos em maior proporção comparando-se ao fósforo, magnésio e enxofre. Dentre os micronutrientes, o mamoeiro apresenta maior exigência por ferro, manganês, com uma necessidade intermediária por zinco e boro, enquanto o molibdênio é o menos absorvido. Ressalta-se a exigência contínua da cultura por nutrientes durante o primeiro ano, atingindo o nível máximo aos 12 meses (Mesquita et al., 2010).

### **2.5.1 Nitrogênio (N)**

O nitrogênio (N) é o macronutriente de grande interesse agrônômico, representando mais de 5% da massa seca das plantas (Huaman et al., 2012). Este nutriente presente em quantidades adequadas na planta atua como formador de tecidos, favorecendo o crescimento, a produção de folhas, além de permitir uma adequada atividade fotossintética e integrar proteínas e enzimas, potencializando as etapas do Ciclo de Calvin (Baumgartner, 1980; Huaman et al., 2012). Segundo Malavolta (1989), o nitrogênio atua também em processos de absorção iônica, multiplicação e diferenciação celular, além de estimular o desenvolvimento de gemas floríferas e frutíferas e aumento do teor de proteínas.

O fornecimento de N à planta pode ser realizado na forma amídica (ureia), amoniacal (sulfato de amônio), nítrica (nitrato de sódio) e nítrico-amoniacal (nitrato de amônio, nitrocálcio). Contudo, quando aplicadas ao solo, podem causar alterações tanto no pH quanto nas propriedades químicas (Coelho et al. 2004; Costa, 2005).

A movimentação do N está relacionada com a fonte empregada. Assim, na utilização de fontes amídicas e amoniacais o N ocorrerá no solo, inicialmente, na forma de amônio e, posteriormente, como nitrato; já com o uso da fonte nítrica, o N ocorrerá na forma de nitrato, que são altamente solúveis em água, porém nesta forma não são adsorvidos às partículas do solo (Coelho et al. 2004; Costa, 2005).

A deficiência do N provoca estreitamento do caule, internódio curto, menor tamanho e menos lóbulos das folhas e, por fim, as folhas apresentam coloração verde mais clara e as mais velhas amarelecem e caem prematuramente. Em contrapartida, o excesso culmina em um desenvolvimento vegetativo demasiado em detrimento da produção, além de diminuir proporcionalmente o teor de sólidos solúveis do fruto (Baumgartner, 1980; Vitti et al., 1988).

Quanto à produção, qualidade dos frutos e teores de nitrogênio foliar em maracujazeiro-azedo, Venâncio et al., (2013) verificaram que não houve resposta ao incremento da adubação nitrogenada (0, 70, 140 e 210 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de N), para as variáveis produtividade de frutos, os componentes da produção e as características físicas e químicas, como diâmetro do fruto, espessura da casca, rendimento de polpa, rendimento de suco, sólidos solúveis, acidez titulável e relação SS/AT. No entanto, houve efeito linear positivo das doses de N sobre o comprimento dos frutos e concentração de N foliar. Já a massa dos frutos foi significativamente influenciada pelas doses de N, atingindo um valor máximo de 175,7 g, na dose de 86 kg ha<sup>-1</sup>.

Menegazzo et al. (2011) analisaram a influência de diferentes doses de nitrogênio em cobertura na produção de mudas de mamoeiro 'Papaya'. Foram utilizadas cinco doses de nitrogênio (0; 400; 800; 1600 e 2400 mg dm<sup>-3</sup> de N). Constatou-se aumento linear no comprimento do sistema radicular, número de folhas, teor de clorofila, em função das doses de nitrogênio aplicadas nas mudas de mamoeiro. No entanto, para a massa seca da raiz e parte aérea, verificou-se efeito positivo do incremento do nitrogênio até a dose 1600 mg dm<sup>-3</sup> no substrato. Almeida et al. (2006) e Mendonça et al. (2006), também, verificaram efeitos

significativos das doses de N para mudas de mamoeiro 'Formosa' em dosagens de até  $2.770 \text{ mg dm}^{-3}$  de N em cobertura e maracujazeiro azedo em doses de  $150 \text{ mg dm}^{-3}$ , respectivamente.

Para avaliar doses e fontes de N mais adequadas para a formação de mudas de mamoeiro em casa de vegetação, estudaram-se dois tipos de adubos nitrogenados (ureia e nitrato de amônio) e quatro doses de N ( $D_0 = 0$ ;  $D_1 = 150$ ;  $D_2 = 300$ ;  $D_3 = 450 \text{ mg dm}^{-3}$ ). Os resultados mostraram que houve efeito significativo sobre o teor foliar de N, com supremacia das doses de 300 e  $450 \text{ mg dm}^{-3}$  em relação à menor dose trabalhada, não sendo significativo para as demais variáveis (massa de matéria seca nas folhas e total, além do cálculo do acúmulo na folha e da leitura do índice SPAD nas folhas). Contudo, a utilização da fonte, via nitrato de amônio, foi melhor em relação à ureia para acúmulo de N foliar. Por fim, quando realizada comparação entre os tratamentos (com adubos e doses) com a testemunha, pôde-se verificar a superioridade dos tratamentos perante a planta controle (Rodrigues et al., 2011).

### **2.5.2 Potássio (K)**

O potássio (K) é o nutriente que participa como ativador e, provavelmente, como inibidor, de muitos sistemas enzimáticos encarregados pela síntese e degradação de compostos orgânicos (Baumgartner, 1980). É considerado também um componente mineral de maior expressão nos processos osmóticos, envolvendo absorção e armazenamento de água (Sousa e Borges, 2011). Além de estimular o crescimento e a multiplicação de raízes. Todavia, sua deficiência provoca redução do número e tamanho dos frutos e da área foliar, afetando, conseqüentemente, a fotossíntese e o conteúdo de sólidos solúveis, além de atraso da floração e, por fim, os pecíolos encurvam-se para baixo e as folhas apresentam coloração azul-esverdeada, levemente necrosadas, acarretando, posteriormente, em uma queda prematura das folhas (Baumgartner, 1980; Vitti et al., 1988).

O K apresenta alta mobilidade no solo, atravessando de uma célula para outra com facilidade e do xilema para o floema (Oliveira et al., 2004; Sousa e Borges, 2011). Ruiz et al. (1999), verificaram os mecanismos de transporte via fluxo de massa e difusão no suprimento de K, Ca e Mg em plantas de arroz. Embora existam dois mecanismos de deslocamento do K até as raízes, seja por fluxo de

massa, processo associado ao gradiente de potencial hídrico total, sendo o nutriente carregado de um local de maior potencial de água para um de menor potencial próximo a raiz ou por difusão, processo no qual o nutriente entra em contato com a raiz ao passar de uma região de maior concentração para uma de menor concentração, os autores concluíram que a principal via de transporte é por meio da difusão, todavia, quando a solução do solo detém de quantidades elevadas de K, o fluxo de massa proporcionou um suprimento adequado do nutriente às plantas.

Segundo Malavolta (1986), quando uma planta se desenvolve em solos com baixos teores de nutrientes, ocorre além do declínio do seu crescimento, diminuição de 20 a 30% da produção. Já em 1994, Malavolta descreve o comportamento da planta perante deficiência e excesso de potássio (K). Os sintomas evidenciados pela reduzida disponibilidade de potássio são clorose seguida de necrose nas margens das folhas, diminuição no crescimento dos ramos, perda de folhas e aumento na abscisão de flores, ocorrendo também atraso na floração, queda prematura de frutos e baixo teor de sólidos solúveis totais nas frutas. Já, em demasia no solo, o potássio pode inibir a absorção do magnésio, nutriente essencial no processo fotossintético.

Na literatura há relatos sobre a importância do K para as culturas, sendo este um dos maiores responsáveis pela qualidade dos frutos (Aular et al., 2014).

O resultado do uso da nutrição potássica sobre a qualidade do maracujazeiro-azedo foi avaliado na Universidade de Brasília - Distrito Federal, Brasil. Os tratamentos consistiram em três doses de potássio (0; 640; 1280 kg de  $K_2O\ ha^{-1}.ano^{-1}$ ) e nove genótipos de maracujazeiro-azedo. Verificaram efeito linear positivo das doses de K sobre a produtividade e negativo para a relação SST/ATT. Houve efeito quadrático para o comprimento do fruto, relação comprimento/diâmetro, espessura de casca e número médio de sementes por fruto, utilizando a análise de regressão (Fortaleza et al., 2005).

O mamoeiro exige grande quantidade de K para atingir boas produções e qualidade de frutos adequada. Logo, Marinho et al. (2010) avaliaram o efeito da adubação potássica, com diferentes lâminas de irrigação, sobre a produtividade e a qualidade pós-colheita do mamoeiro híbrido Uenf/Caliman01. Testaram cinco lâminas de irrigação (1.236 mm = L<sub>1</sub>; 1.339 mm = L<sub>2</sub>; 1.444 mm = L<sub>3</sub>; 1.525 mm = L<sub>4</sub> e 1.604 mm = L<sub>5</sub>) e quatro doses de K (30 = K<sub>1</sub>, 42 = K<sub>2</sub>, 54 = K<sub>3</sub> e 66 = K<sub>4</sub> g

planta<sup>-1</sup> mês<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O), utilizando-se cloreto de potássio como fonte de potássio. Não foi possível verificar uma melhor diferenciação entre as lâminas de irrigação, devido ao excesso de chuva. Contudo, os tratamentos L<sub>4</sub>K<sub>2</sub> e L<sub>4</sub>K<sub>3</sub> apresentaram maior peso médio dos frutos. Já a máxima produtividade de 115 t ha<sup>-1</sup> foi obtida com a aplicação de 1.525 mm e as doses de 54 e 66 g K<sub>2</sub>O. Com relação aos valores médios de sólidos solúveis totais, firmezas da polpa e do fruto, não houve efeito significativo das lâminas aplicadas e das doses de potássio.

Para avaliar doses de K, aplicadas via fertirrigação, sobre o crescimento e qualidade de frutos do mamoeiro Tainung, em Neossolo Quartzarênico, no Estado do Ceará, Brasil, utilizaram-se quatro doses de N (D<sub>1</sub> = 60, D<sub>2</sub> = 120, D<sub>3</sub> = 180 e D<sub>4</sub> = 240 g de KCl planta mês<sup>-1</sup>). Os resultados mostraram que as doses influenciaram na fertilidade do solo, aumentando os teores de N, P, K e matéria orgânica. O incremento do potássio até 180 g de KCl planta mês<sup>-1</sup> propiciou maior desenvolvimento (aumento da altura e diâmetro do caule) e produtividade (aumento do número e massa média de frutos por planta) do mamoeiro; por fim, as doses de potássio influenciaram a qualidade dos frutos (tempo de amadurecimento dos frutos, massa da polpa, sólidos solúveis totais, acidez total titulável) (Dos Anjos et al., 2015).

### 2.5.3 Fósforo (P)

No Brasil, os solos tropicais são caracterizados como ácidos e de baixa fertilidade natural, apresentando grande capacidade de adsorção de fósforo (P), o que ocasiona uma baixa eficiência dos fertilizantes fosfatados aplicados no solo, sendo necessária a adição de fertilizantes para suprir as exigências nutricionais das plantas, principalmente do fósforo (Moura, 2013).

A importância do nutriente fósforo para o crescimento das plantas está relacionada ao importante papel desempenhado na transferência de energia da célula, respiração e fotossíntese. Quando em níveis deficitários no solo ocasionam redução da respiração, fotossíntese, síntese de ácido nucleico e de proteína e, por fim, pode retardar ou potencialmente cessar o crescimento, resultando na redução da altura da planta, atraso na emergência das folhas, além de reduzir a brotação e restringir o desenvolvimento e distribuição de raízes secundárias, na produção de matéria seca e na produção de sementes (Grant et al., 2001).

Nos cultivos agrícolas o suprimento de fósforo é realizado mediante o emprego de diferentes fertilizantes fosfatados como fosfatos totalmente acidulados (superfosfato simples e superfosfato triplo), os fosfatos de amônio tais como monoamônio fosfato (MAP) e o diamônio fosfato (DAP), os termofosfatos (termofosfato magnésiano) e os fosfatos naturais importados (fosfato de Arad, Gafsa, Carolina do Norte, etc.) e nacionais (fosfatos de Araxá, Patos de Minas, etc.) (Silva e Maia, 2010).

Para determinar a resposta de mudas de mamoeiro híbrido Tainung F1 n° 1 às doses de fósforo, foram consideradas cinco doses (0; 2; 4; 6; 8 kg m<sup>-3</sup> de substrato), tendo como fonte o superfosfato simples. Observaram que as mudas de mamoeiro apresentaram incremento linear positivo para a característica altura da planta, diâmetro do caule, massa seca da parte aérea, em função do incremento do nutriente. Já o número de folhas não foi influenciado pelas diferentes doses de fósforo testadas (Saraiva et al., 2011).

Trabalhando com plantas de maracujazeiro azedo sob diferentes fontes (superfosfato simples = SFS e superfosfato triplo =SFT) e doses de fósforo em cobertura (0, 12, 18, 24 e 30 g de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> cov<sup>-1</sup>), Santos et al. (2014) concluíram que tanto as fontes quanto as doses de fósforo influenciam o crescimento e produção do maracujazeiro azedo. Todavia, o superfosfato triplo mostra-se mais promissor para o estabelecimento de pomares com alta produtividade, detendo efeitos positivos para os atributos: diâmetro do caule, emissão dos ramos produtivos, número de frutos colhidos por planta, massa média de frutos, principalmente na dose de 42,86 g.

Estudando os efeitos da adubação fosfatada no crescimento vegetativo de abacaxizeiro, Almeida et al. (2014) concluíram que para todas as características avaliadas (altura das plantas, número de folhas, diâmetro do caule e largura da folha 'D'), as doses de P não promoveram efeito significativo. Resultado também demonstrado no experimento de Caetano et al. (2013).

#### **2.5.4 Cálcio (Ca)**

Atualmente, a aplicação de cálcio (Ca) ocorre, predominantemente, por meio do uso de corretivos (calcário agrícola, calcário dolomítico, gesso agrícola e outros) em solos ácidos da América, demonstrando limitação para as reais

necessidades do nutriente no solo (Laing, 2012). Logo, Souza et al. (2009) reinteraram em seu trabalho sobre o conhecimento das concentrações e disponibilidade de Ca presentes nos corretivos, para a manutenção do equilíbrio catiônico no solo, bem como, para uma adequada nutrição das plantas.

O cálcio é um importante componente da estrutura da protopectina da lamela média na parede celular, sendo um agente cimentante, que mantêm as células unidas, devido ao pectato de cálcio da parede celular, aumentando assim, a resistência à penetração de bactérias e fungos (Alarcón et al., 2006; Malavolta et al., 2002). Possui papel fundamental na estabilidade das membranas, interligando cadeias pécticas, além de ser essencial para a integridade da célula e na regulação de enzimas de síntese (Taiz e Zeiger, 2012). É concedido ao cálcio o papel de mensageiro secundário para várias respostas de planta relacionadas com o ambiente e sinais hormonais como, salinidade, hipoxia, choques de frio e calor, distúrbios mecânicos (vento e elevadas concentrações de metais), somando-se a esses fatores, existem aqueles ocasionados por patógenos. Esses estresses elevam a concentração de cálcio no citoplasma, porém, quando cessados esses estímulos, a concentração de cálcio retorna ao normal (Epstein e Bloom, 2006).

Na deficiência de cálcio ocorre necrose de regiões meristemáticas jovens (ápices de raízes ou de folhas jovens), que detém de uma intensa divisão celular e formação de paredes celulares. Pode acarretar também, na deformidade de folhas jovens, comprometimento do sistema radicular, apresentando coloração castanho, encurtamento e ramificação, além de intenso declínio no crescimento (Taiz e Zeiger, 2013). No mamão, a escassez do Ca provoca inicialmente clorose nas folhas recém-maduras, atingindo, posteriormente, folhas mais novas, causando colapso do pecíolo, queda prematura de folhas, exsudação de látex e amolecimento da polpa do fruto, prejudicando o transporte e o tempo de armazenamento (Manica, 1982; Oliveira et al., 2009). Já no maracujazeiro, a falta do nutriente causa deformidade nas folhas, além de clorose e necrose internevais nas folhas mais novas (Ruggiero, 1980; Borges e Lima, 2009).

Campostrini et al. (2005) realizaram um estudo relacionando os teores de Ca e de variáveis meteorológicas à incidência fisiológica do mamão, em plantio comercial de mamoeiro 'Formosa', na localidade de São Francisco do Itabapoana – RJ. Concluindo que as variáveis (temperatura e amplitude térmica) estão relacionadas à incidência do distúrbio fisiológico da MFM (Mancha Fisiológica do

Mamão) e propõem que teores baixos de Ca no fruto podem ocasionar uma desestabilização na parede celular, favorecendo o extravasamento do látex e propiciando a MFM, porém essas informações devem ser reavaliadas.

### **2.5.5 Magnésio (Mg)**

O magnésio (Mg) participa de vários processos vitais da planta que requerem e fornecem energia como a fotossíntese, respiração, síntese de macromoléculas (carboidratos, lipídeos, proteínas), síntese de DNA e RNA e absorção iônica. O nutriente é parte da estrutura da molécula de clorofila (substância que permite a fixação, mediada pela luz solar, de gás carbônico da atmosfera na forma de açúcares) (Malavolta, 1989; Faquin, 2005; Taiz e Zeiger, 2013). Segundo Epstein e Bloom (2006), o magnésio é o nutriente mineral que mais ativa enzimas, entre essas ativações, as mais importantes são as envolvidas na transferência de energia via adenosina trifosfato (ATP). Por fim, estudo demonstra que a presença deste elemento em quantidades suficientes, promove a máxima absorção de fósforo (Malavolta, 1989).

Avaliando o efeito da aplicação de fontes de Mg (hidróxido, nitrato, cloreto e sulfato de magnésio) aplicados via foliar no desenvolvimento de mudas de mamão, Silva et al. (2017) obtiveram, como resultados, a não diferenciação estatística para as variáveis número de folhas, altura da planta e área foliar. Contudo, o tratamento com sulfato de magnésio foi significativo para o diâmetro do caule, possivelmente por conter o nutriente enxofre, elemento utilizado na formação de aminoácidos e proteínas, que em conjunto com magnésio, constituinte da clorofila, são essenciais ao processo da fotossíntese, o que favorece ao diâmetro do caule um melhor fluxo de seiva.

Freitas (2006), em seu trabalho em casa de vegetação no município de Campos dos Goytacazes – RJ, com o objetivo de descrever e caracterizar os sintomas de deficiência de nutrientes em maracujazeiro doce, observou que aos 36 dias após o início da aplicação do tratamento, foi possível verificar os primeiros sintomas de deficiência de Mg. Estes foram caracterizados inicialmente por clorose internerval em folhas velhas, com uma faixa estreita de tecido verde ao longo das nervuras e com a evolução da escassez do nutriente, verificou-se o amarelecimento das folhas, com parte das margens necrosadas e queda intensa de folhas, por fim,

a redução na matéria seca das raízes, por limitar a suplementação de carboidratos para a raiz, impedindo o seu crescimento e ocasionando em plantas deficitárias de Mg, uma maior quantidade do nutriente na parte aérea em detrimento da raiz. Esses sintomas também foram descritos por Taiz e Zeiger (2013), que explicaram que a ocorrência inicial da deficiência provém da mobilidade do cátion e este padrão de clorose ocorre porque a clorofila nos feixes vasculares permanece inalterada em períodos mais longos do que ocorre nas células entre os feixes.

## **2.5.6 Micronutrientes: Zn, B, Mn, Mo, Cu, Co e Na**

### **2.5.6.1 Zinco (Zn)**

O zinco e o boro são os micronutrientes que mais frequentemente promovem deficiência nas culturas nos solos das regiões tropicais (Faquin, 2005). Muitas enzimas requerem íons zinco no sítio ativo, como a anidrase carbônica, dismutase de superóxido, entre outras. As enzimas que detém do elemento zinco estão envolvidas na regulação e na transcrição do DNA, além da síntese e no transporte de RNA. Este elemento pode ser exigido para a biossíntese de clorofila em algumas plantas (Epstein e Bloom, 2006; Hansch e Mendel, 2009; Taiz e Zeiger, 2013).

Lima Neto e Natale (2014) relataram em seu trabalho com caramboleira, que a aplicação de doses de zinco ao substrato promoveu aumento contínuo do teor de N na parte aérea, de Ca nas raízes e de Zn tanto na parte aérea quanto nas raízes, porém, reduziu o Mn na parte aérea. O Zn impulsionou o acúmulo de P, Mg e S (na parte aérea e na planta inteira), de K (na planta inteira), de Ca (nas raízes) e reduziu o acúmulo de Mn (na parte aérea e na planta inteira). Já com a elevação das doses de Zn, o transporte de Ca e de Mn, das raízes para a parte aérea, foi reduzido.

Costa e Costa (2003) descreveram os sintomas as deficiências de Zn no mamoeiro, iniciando-se com o aparecimento de clorose entre as nervuras das folhas, progredindo para manchas de cor púrpura. Quando a deficiência é acentuada, as folhas mais jovens apresentam redução do tamanho e necrose nas bordas e no limbo.

### 2.5.6.2 Boro (B)

O boro é um micronutriente desafiador para pesquisadores, devido a incertezas quanto a sua participação na fisiologia de plantas e na bioquímica. Contudo, evidências sugerem que o elemento está envolvido em três processos: da biossíntese da parede celular, integridade da membrana plasmática e atividades metabólicas (Epstein e Bloom, 2006; Malavolta, 2006). As plantas deficientes em boro apresentam variados sintomas, dependentes da espécie e da idade da planta. Porém, é característico o surgimento de necrose em folhas jovens e gemas terminais, o que reflete a sua baixa mobilidade na planta (Taiz e Zeiger, 2013).

Freitas (2006) verificou o surgimento de sintomas em maracujazeiro doce com déficit de boro aos 45 dias após a omissão do nutriente. Devido a escassez do boro, as folhas novas apresentaram textura mais consistente, mais espessas e ondulações nos bordos. Houve diminuição do comprimento dos internódios e paralisação do crescimento dos ramos.

Araújo e Silva (2012), estudando o efeito das concentrações de boro, zinco e a interação entre os nutrientes sobre o crescimento, desenvolvimento e nutrição do algodoeiro em cultivo hidropônico, verificaram que as concentrações de B exerceram efeito linear positivo e significativo para as variáveis: altura de plantas, diâmetro caulinar e número de estruturas reprodutivas das plantas de algodão. Já o diâmetro caulinar foi influenciado em doses de B até  $45 \mu\text{M L}^{-1}$ , doses mais elevadas promoveram redução do diâmetro. Por fim, o aumento das concentrações de B na solução melhorou a mobilidade do Zn.

### 2.5.6.3 Manganês (Mn)

O manganês é o nutriente mais abundante em solos ácidos (Malavolta et al., 2002). Tem como função acelerar a germinação e a maturação. Participa da reação fotossintética, pelo qual o oxigênio é produzido a partir da água, além de participar da formação de clorofila, algumas gorduras, membrana dos cloroplastos, da síntese de proteínas e ácidos nucleicos e do controle hormonal. A deficiência é identificada pelo amarelecimento internerval das folhas mais novas, associada ao desenvolvimento de pequenas manchas necróticas (Malavolta, 1989; Malavolta et al., 2002; Taiz e zeiger, 2013).

Salvador et al. (2003), conduzindo experimento com mudas de goiabeira e sete doses de Mn em solução nutritiva, verificaram que doses elevadas de Mn ( $50 \text{ mg L}^{-1}$ ) afetaram a produção de massa seca (folhas, caule, raízes), possivelmente, devido à diminuição nos teores de Ca, Fe e Mg, pois esses nutrientes apresentam valência e raio iônico semelhante, podendo ocorrer competição pelo mesmo sítio de absorção, já na dose de  $0,5 \text{ mg L}^{-1}$ , foram obtidos melhores resultados, explicados pela relação direta entre a concentração de manganês na planta e a fotossíntese.

Em experimento com mudas de caramboleira, Hernandez et al. (2010) concluíram que a partir do incremento de manganês, os teores de Mn nas folhas, caule e raízes foram aumentados. A massa seca das folhas, caule e raízes das mudas de caramboleiras aumentou com o incremento das doses de manganês e com o decorrer das épocas de coleta. Como concluído por Salvador et al. (2003), doses de  $0,5 \text{ mg L}^{-1}$ , promoveram melhores resultados.

#### **2.5.6.4 Molibdênio (Mo)**

O molibdênio é requerido em pequenas quantidades pelas plantas. No entanto, no Brasil, os solos tropicais não suprem a necessidade da cultura. Estes dispõem de  $0,5$  a  $5 \text{ mg dm}^{-3}$  e o prontamente disponível para planta varia entre  $0,1$  a  $0,25 \text{ mg dm}^{-3}$ . (Tiritan et al., 2007). A carência de molibdênio propicia nas folhas mais velhas manchas amareladas entre as nervuras, semelhantes à ferrugem do café. Em algumas plantas, as folhas encurvam-se e podem apresentar estrangulamento acentuado do limbo (Malavolta et al., 2002; Taiz e Zeiger, 2013).

#### **2.5.6.5 Cobre (Cu)**

O cobre é um micronutriente essencial para as plantas. Para a obtenção de um crescimento normal é necessário teores entre  $5$  e  $20 \text{ mg kg}^{-1}$ . As plantas deficientes apresentam folhas maiores, pálidas e flácidas, com dobraduras como barquinhas ao longo da nervura principal, estas folhas detêm teores foliares de Cu menores do que  $4 \text{ mg kg}^{-1}$ . Sob deficiência extrema, ocorre queda prematura de folhas. Já Costa e Costa (2003) relataram o início da deficiência nos pontos de

crescimento e em folhas novas, com encurvamento das margens das folhas, podendo ocasionar amarelecimento nas margens da folha.

O cobre aumenta a resistência a doenças e dá mais vigor às plantas, além de participar do processo da respiração e está envolvido no transporte de elétrons durante reações dependentes de luz da fotossíntese (Malavolta, 1989; Malavolta et al., 2002; Epstein e Bloom, 2006; Taiz e zeiger, 2013).

#### **2.5.6.6 Cobalto (Co)**

Segundo Malavolta et al. (2002), o micronutriente cobalto é ativador de enzimas atuantes nos processos de formação de parte da clorofila e de outros compostos. É um elemento químico constituinte da vitamina B12 (cobalamina), participante da formação de leghemoglobina, essencial para o processo de fixação de nitrogênio. Na escassez do Co, ocorre tipicamente o amarelecimento das folhas (Malavolta et al., 2002; Tiritan et al., 2007).

#### **2.5.6.7 Sódio (Na)**

De acordo com Taiz e Zeiger (2013), o sódio, apesar de não ser exigido pelas plantas, estimula o crescimento por meio da expansão celular, além de substituir o potássio como um soluto osmoticamente ativo, em um grau extraordinário.

#### **2.5.7 Silício (Si)**

O silício (Si) é o segundo elemento mais abundante na litosfera, constituindo 27,7% da crosta terrestre, superado apenas pelo oxigênio (Malavolta, 1980). Em solos tropicais, o silício está presente em minerais primários e secundários. Contudo, devido ao avançado grau de intemperização (solos que passaram por acentuado processo de lixiviação, ocasionando acidez e baixa saturação por bases), o silício é encontrado na forma de quartzo e sílica amorfa ( $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) e outras formas não disponíveis às plantas (Barbosa Filho et al., 2001; Giongo e Bohnen, 2011). Já em solos temperados os teores de silício ( $\text{SiO}_2$ ) excedem aos dos sexquióxidos de Al e Fe (Mauad, 2001).

Um solo apresentando valores inferiores a  $20 \text{ mg dm}^{-3}$  de Si, quando extraídos via metodologia com emprego de ácido acético  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  ou, ainda, de  $6 \text{ a } 8 \text{ mg dm}^{-3}$  extraídos em  $\text{CaCl}_2 \text{ } 0,05 \text{ mol L}^{-1}$ , em geral, apresenta necessidade de adubação com Si. De acordo com Korndörfer et al. (1999), estes solos apresentam boa resposta à aplicação de silício. Contudo, quando dotados de teores acima dos descritos, as repostas tendem a ser mais discreta.

O Si solúvel é absorvido pelas raízes das plantas na sua forma neutra, como ácido silícico ou monossilícico ( $\text{H}_4\text{SiO}_4$ ), passivamente regulada pela transpiração, via xilema (transporte a longa distância), juntamente com a água (fluxo de massa) ou por meio do transporte ativo, utilizando transportadores específicos localizados na membrana plasmática das células das raízes (Epstein, 1999; Marafon e Endres, 2011). É depositado como sílica amorfa nas lâminas foliares, bainhas foliares, colmos, cascas e raízes, sendo que na lâmina foliar o acúmulo é maior, principalmente abaixo da cutícula epidérmica, na qual, esta forma uma camada dupla de sílica nas células ou utilizado na formação de estruturas silicificadas nas plantas, os fitólitos (Raven, 2001). Parte do silício absorvido permanece na forma solúvel, mas a maior parte dele é incorporada na parede celular (Costa et al., 2009). Contudo, sua distribuição na planta está relacionada com a taxa transpiratória das partes da planta, sendo mais uniforme em plantas acumuladoras (Mendes et al., 2011).

As principais fontes de Si na solução do solo, de acordo com Lima Filho et al. (1999), são os fertilizantes silicatados, água da irrigação, decomposição de resíduos vegetais, dissociação de ácido silícico polimérico, desprendimento do Si de óxido e hidróxidos de ferro (Fe) e alumínio (Al) e a dissolução de minerais cristalinos e não cristalinos. Já os drenos, consistem na simples assimilação pelas plantas, lixiviação, adsorção em óxidos e hidróxidos de Fe e Al, polimerização do ácido silícico, além da precipitação deste em solução formando minerais. na solução do solo.

Para suprir as necessidades de silício, podem ser empregados resíduos vegetais (casca de arroz e bagaço de cana) ou as cinzas resultantes do processo de queima desses resíduos para geração de vapor. Todavia, esses materiais apresentam lenta liberação no solo e são insuficientes para atender à demanda por Si na agricultura (Montes et al., 2015). Por outro lado, uma grande quantidade de materiais industrializados podem ser usados como fonte de suplementação de Si,

contudo, as principais fontes de Si disponíveis no mercado são os silicatos, sendo comumente utilizadas as escórias de siderurgia, wollastonita, subprodutos da produção de fósforo elementar, silicatos de cálcio, sódio, potássio e magnésio, cimento e termofosfato (Marafon e Endres, 2011). Estas fontes comerciais devem apresentar como características ideais: alta solubilidade, alta concentração de Si solúvel, boas propriedades físicas, dotadas de partículas menores e uniformes, facilidade para aplicação mecanizada, pronta disponibilidade às plantas, boa relação e quantidades de Ca e Mg, baixa concentração de metais pesados e custo relativamente baixo (Prado et al., 2001).

O silício (Si) não é considerado essencial para a maioria das culturas. Todavia, sua essencialidade foi demonstrada para plantas vasculares do grupo Equisitaceae (Epstein e Bloom, 2006) e para diatomáceas (Bacillariophyta) marinhas e de água doce. Estas algas são dotadas de parede celular (frústulas) impregnadas com sílica amorfa hidratada ( $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ), apresentando demanda por silício tão alta quanto por nitrogênio (Machado, 2013).

De acordo com Hodson et al. (2005) e Ma (2004), existem espécies consideradas como acumuladoras de silício (> 4% Si), aquelas com acúmulo de silício intermediário (2 - 4% Si), como Brassicaceae, Urticaceae e Commelinaceae demonstram, além das plantas com baixo acúmulo (< 2%). Em ambas as plantas, o silício, quando em quantidades adequadas, propicia melhora no crescimento e na fertilidade (Epstein, 1999). Porém, plantas classificadas como não acumuladoras absorvem o Si mais lentamente que a água, por apresentarem menor densidade de transportadores de silício do apoplasto para o simplasto, além de um defeito nos transportadores de silício das células do córtex para o xilema, quando comparadas às plantas acumuladoras, o que dificulta a translocação do elemento e a concretização dos benefícios (Souza, 2015). A acumulação de Si é mais acentuada em regiões nas quais a água é perdida via evaporação ou pela transpiração das folhas (Lana et al., 2003).

O elemento silício é agrupado como benéfico ou útil para as plantas, já que o seu emprego não é necessário para a conclusão do ciclo vegetal (Menegale et al., 2015). Contudo, na literatura há demonstrações da eficácia do nutriente, por meio de estudos/experimentação, principalmente em plantas acumuladoras do nutriente. Este vem sendo empregado no aumento da resistência das plantas a estresses bióticos (pragas e doenças) e abióticos (presença de metais pesados,

salinidade, seca, escassez de água, vento forte, geadas, etc), diminuição da taxa de transpiração através do controle do mecanismo de abertura e fechamento dos estômatos, aumentos na eficiência fotossintética, melhoria na arquitetura das plantas (com aumento na penetração de luz no dossel em função do crescimento mais ereto das folhas e a redução do auto-sombreamento), além de propiciar aumento da disponibilidade de nutrientes, atuar como corretivo da acidez do solo e na promoção de incrementos agronômicos (altura da planta, diâmetro, sistema radicular, matéria fresca e seca) (Prado e Natale, 2004; Pulz, 2007; Ferreira, 2009, Barbosa, 2011; Marafon e Endres, 2011; Ribeiro et al., 2011; Ferraz et al., 2014; Reis et al., 2014; Oliveira et al., 2015; Souza, 2015; Nascimento et al., 2017).

Barbosa (2011) concluiu que a aplicação de silicato de cálcio e magnésio não interferiu no desenvolvimento larval e pupal da lagarta na cultura do milho. Porém, interferiu positivamente no peso e no comprimento das larvas do 6º ínstar. Mesmo não intercedendo na produtividade e injúrias provocadas pela praga, a dose de 500 kg ha<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub> aos 15 e 45 DAE provocou menor porcentagem de infestação. Ferreira (2009) verificou que com a aplicação de SiO<sub>2</sub>, o índice da doença e a área da curva de progresso da doença foram reduzidos, houve retardamento do aparecimento dos primeiros sintomas da doença. Além de promover incremento na altura da planta, matéria fresca e seca da parte aérea e raiz e incremento do Ca, conforme aplicação das doses do silicato. Concluindo que a dose de 3,00 g kg<sup>-1</sup> Si via solo foi mais eficiente no controle da mancha-aquosa do meloeiro.

Nascimento et al. (2017) avaliaram a influência de diferentes doses de silício e de cálcio na severidade da antracnose na cultura do feijão-fava. Estes autores utilizaram como fonte de cálcio, o carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>) nas doses de 2, 4, 6 e 8 g kg<sup>-1</sup> e duas fontes de silício, o Rocsil® e o MB4, nas doses de 0,05; 0,075; 0,1; 0,15 g kg<sup>-1</sup> no solo em condições de casa de vegetação. Eles concluíram que houve redução significativa da severidade da antracnose nas folhas de feijão-fava quando o cálcio e o silício são aplicados no solo. O uso de maiores dosagens de MB4 propiciaram maior percentual de controle da doença, resultando em menor comprometimento da área foliar.

Em seu trabalho, envolvendo a aplicação de silício na cultura da batata submetida a estresse hídrico, Pulz (2007) concluiu que dentre vários benefícios atrelados à aplicação do silício (283 kg ha<sup>-1</sup>), pode-se destacar uma melhor

arquitetura da planta, dotada de hastes mais eretas, reduzindo o risco de acamamento, além de proporcionar maior disponibilização de fósforo, por promover a dessorção deste nutriente e, por fim, a adição do nutriente elevou a produção comercial e total da batata, já que o uso gerou aumento no peso médio dos tubérculos.

Prado e Natale (2004), avaliando os efeitos da aplicação da escória siderúrgica em mudas de maracujazeiro, verificaram o efeito positivo da aplicação da escória no pH, na redução linear da concentração de H+Al. Para as concentrações de cálcio e magnésio, valores da soma de bases e da saturação por bases, o efeito foi quadrático. Entretanto, em doses relativamente baixas (360 kg ha<sup>-1</sup>), houve diminuição no acúmulo de nutrientes e na produção de matéria seca das mudas de maracujazeiro.

A fim de comprovar o benefício do Si em relação às características fisiológicas da planta, Ferraz et al. (2014) avaliaram o efeito da aplicação foliar do Si nas trocas gasosas e eficiência fotoquímica em três cultivares de algodoeiro ('BRS Topázio', 'BRS Safra' e 'BRS Rubi'). Verificaram, aos 90 dias, diferenças significativas para as variáveis estudadas, em resposta às aplicações de diferentes concentrações de silício. Dentre as cultivares avaliadas, a 'BRS Topázio' expressou melhor taxa fotossintética em função da adubação silicatada, além de elevar a taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> e eficiência quântica do fotossistema II (Fm/Fv). Na 'BRS Safra' e 'BRS Rubi' o silício reduziu a taxa de assimilação de CO<sub>2</sub>, nas doses de 200 mg L<sup>-1</sup> Si e nas doses de 0 a 134 mg L<sup>-1</sup> Si, respectivamente, e diminuiu a concentração interna de CO<sub>2</sub>, com valores críticos estimados nas plantas submetidas à doses de 200 mg L<sup>-1</sup> Si. Somando-se a este atributo, na 'BRS Rubi', houve aumento da fluorescência da clorofila 'a', na dose de Si entre 0 a 111,8 mg L<sup>-1</sup> Si e da eficiência quântica do fotossistema II, na dose de 104,7 mg L<sup>-1</sup> Si.

Avaliando o efeito da aplicação de Si aplicados via solo nas características agronômicas, no rendimento e na qualidade fisiológica das sementes de cultivares de soja, Oliveira et al. (2015) obtiveram como resultados a não diferenciação estatística para as variáveis número total de legumes na haste principal e o número total de sementes por planta. Contudo, a cultivar BMX Turbo RR mostrou-se mais responsivas ao incremento de Si. Este promoveu melhorias nas características agronômicas (número total de legumes nos ramos, número total de sementes nos

ramos, massa de sementes por planta) e no vigor das sementes. A massa de mil sementes foi influenciada pelo silício em ambas as cultivares.

Reis et al. (2014), estudando o efeito da adubação silicatada sob diferentes regimes hídricos na cultura da soja, verificou que os tratamentos envolveram o emprego de calcário dolomítico e silicato de cálcio com e sem escassez hídrica. Assim, relataram que o tratamento que recebeu menor dose de silicato de cálcio ( $500 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{CaSiO}_3$ ) foi o que proporcionou melhor desenvolvimento das raízes, em termos de massa fresca e seca da raiz. Contudo, o tratamento que promoveu maior comprimento da raiz principal, foi com  $1500 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{CaSiO}_3$  submetido ao déficit hídrico, possivelmente pela tentativa da raiz de conduzir-se até um local com maior umidade do solo. Logo, a utilização de silício é promissora em situações de déficit hídrico, já que ampliou a capacidade de absorção de água, podendo elevar a produtividade de culturas em regiões de seca.

Já no experimento conduzido por Ribeiro et al. (2011), a fertilização silicatada promoveu só o aumento de teores de Ca tanto no solo quanto nas plantas. Enquanto os demais nutrientes (N, P, K, Mg e S) não foram alterados pelo incremento de silicato de cálcio. As doses de Si não promoveram efeito significativo sobre as características de crescimento e, por fim, o crescimento radicular foi 50% menor do que nas plantas controle, na maior dose de silicato de cálcio. Porém, a assimilação de  $\text{CO}_2$  e a condutância estomática não foram alteradas. Logo, mesmo o cafeeiro não sendo responsivo ao incremento de silicato, nesse experimento não houve comprometimento da funcionalidade e do desenvolvimento da parte aérea das plantas cultivadas sob boa disponibilidade hídrica e nutricional.

Souza (2015) relatou que o ácido silícico promoveu aumento do diâmetro do caule e altura do maracujazeiro, nas doses de  $0,21$  e  $0,28 \text{ g vaso}^{-1}$ . Além de promover efeito positivo na massa fresca e seca da folha e do caule da planta. Porém, com o incremento das doses de silício houve decréscimo da massa fresca e seca da raiz. Para as variáveis comprimento e largura da folha, a testemunha e a dose de  $0,28 \text{ g vaso}^{-1}$ , promoveram melhores resultados. O teor de Si na planta aumentou em função das doses aplicadas. As concentrações entre  $0,28$  e  $0,55 \text{ g vaso}^{-1}$  proporcionaram melhor crescimento e desenvolvimento das mudas de maracujazeiro.

Em seu experimento conduzido em ambiente protegido, Luz et al. (2006) avaliaram o efeito do silício sobre o desempenho de nove cultivares de alface

cultivadas em solução nutritiva no sistema hidropônico NFT. Os autores concluíram que, possivelmente, o silício interferiu na absorção de algum nutriente essencial para a alface, promovendo redução de várias variáveis ligadas ao crescimento quando comparadas às plantas sem silício, porém, ambas alcançaram o tamanho comercial. E, por fim, relataram que o uso do silício propiciou às plantas de alface maior resistência à incidência da anomalia fisiológica do tipo queima dos bordos.

### 3. TRABALHOS

#### 3.1. CRESCIMENTO DE *Passiflora edulis* SUPLEMENTADO COM FONTES DE SILÍCIO

**RESUMO** - O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito da adubação com fontes de silício no crescimento vegetativo e radicular de mudas de maracujazeiro azedo. O delineamento foi em blocos ao acaso, sendo oito tratamentos: testemunha; Agrosilício Plus®; ácido silícico puro; ácido silícico puro + óxido de cálcio; ácido silícico puro + óxido de magnésio; ácido silícico puro + óxido de cálcio + óxido de magnésio; óxido de cálcio; óxido de magnésio, com quatro repetições e dois vasos por parcela. Foram avaliados a morfologia da parte aérea (altura da planta, número de folhas, diâmetro do caule, área foliar total e massa seca da planta) e da raiz (comprimento, área superficial, diâmetro médio e volume radicular). A suplementação com fontes de silício proporcionou alterações em todas as variáveis de crescimento avaliadas. O maior comprimento, volume, área superficial e massa seca radicular ocorreu no tratamento com ácido silícico puro. O diâmetro médio da raiz não foi influenciado pelos diferentes tratamentos aplicados. Os resultados obtidos para o crescimento radicular indicam que o uso do silício pode ser considerado um elemento promissor para o cultivo da fruteira em questão.

**Palavras-chave:** Maracujazeiro, sistema radicular, adubação silicatada.

## ***Passiflora edulis* GROWTH FERTILIZED WITH SOURCES OF SILICON**

**ABSTRACT** - The objective of this work was to evaluate the effect of fertilization with sources of silicon on vegetative and root growth of passion fruit seedlings. A randomized block design was used with eight treatments (control; Agrosilicon Plus®; pure silicic acid; pure silicic acid + calcium oxide; pure silicic acid + magnesium oxide; pure silicic acid + calcium oxide + magnesium oxide; calcium oxide; magnesium oxide), four replications and two pots per plot. Aerial parts morphology (plant height; leaves number; stem diameter; total leaf area and plant dry matter) and root growth (length; superficial area; diameter and volume) were evaluated. Supplementation with sources of silicon provided changes in all growth aspects evaluated. Higher length, volume, superficial area and dry matter of roots occurred in plants treated with pure silicic acid. Root mean diameter not changed in response to the different treatments applied. The results to root growth indicate that the use of silicon can be promising to improve passion fruit cultivation.

**Key words:** Passion fruit, root system, silicate fertilization.

## **INTRODUÇÃO**

*Passiflora edulis* é uma frutífera originária da região tropical da América do Sul (Sabião et al., 2011). Pertence à família Passifloraceae, classificada na ordem Malpighiales, que reúne 20 gêneros e 650 espécies amplamente distribuídas nas regiões tropicais e subtropicais (Nunes, 2002).

No Brasil, o maracujá se apresenta como produto de grande importância para o desenvolvimento econômico do agronegócio, contribui para a criação de empregos no meio rural e urbano e gera insumos para as agroindústrias. Contudo, observou-se uma queda expressiva de 39,9% em sua produção entre os anos de 2010 a 2017 (IBGE, 2018). Decorrentes, principalmente, de uma escassez hídrica e/ou deficiência de planejamento de irrigação, ausência de um esquema adequado de adubação associada com correção inicial da acidez potencial do solo e um manejo inadequado de pragas e doenças, que potencializam a baixa produtividade desta cultura (Greco, 2014).

Diante dos pressupostos que tange ao declínio da produção do maracujá, a busca por adubação equilibrada pode ser a alternativa viável para o retorno e o aumento da cadeia produtiva do sistema de cultivo intensivo. Embora os resultados de adubação com fertilizantes silicatados ainda sejam preliminares, a implementação desta tecnologia já apresenta grande potencial para a agricultura (Guével et al., 2007; Etesami e Jeong, 2018)

Muitos trabalhos experimentais já comprovaram os efeitos benéficos causados pelo uso suplementar do elemento Silício (Si) junto aos nutrientes fornecidos as plantas. Entre alguns desses resultados promissores, destaca-se o aumento da disponibilidade de nutrientes e a tolerância a estresses bióticos (doenças e pragas) e abióticos (estresse salino; estresse hídrico; toxicidade a metais; danos devido à radiação, altas temperaturas e geadas), além de reduzir a evapotranspiração (Marafon e Endres, 2011; Mendes et al., 2011; Etesami e Jeong, 2018).

O Si é absorvido pelas plantas como ácido monossilícico ( $H_4SiO_4$ ), porém apresenta concentrações variáveis entre as espécies (Epstein, 1994). As gramíneas são classificadas como plantas acumuladoras de Si, por apresentarem maior capacidade de absorção e um teor foliar acima de 1%, sendo mais responsivas a resultados benéficos do que as plantas dicotiledôneas que não são acumuladoras (Epstein, 1999; Ma e Yamaji, 2008; Zanetti, 2013).

Por fim, a complementação da técnica nutricional com Si pode contribuir de forma eficaz no desenvolvimento vegetativo e, conseqüentemente, aumentar a produção da frutífera. Existe a insegurança relacionada à cultura do maracujazeiro, pois a ocorrência de doenças e o ataque de insetos aumentam os custos na produção e diminui o rendimento por hectare, assim como a escassez de água no solo prejudica o desenvolvimento fisiológico e morfológico da planta, ocasionando baixo crescimento dos ramos com a formação de poucos nós e comprimento de entrenós, o que compromete a quantidade de botões florais e flores abertas do maracujazeiro.

Logo, há necessidade de estudos envolvendo a adoção de silício isoladamente e a realização de um comparativo do silício associado a outro nutriente, a fim de verificar se tais benefícios são originários unicamente do elemento.

O trabalho teve como objetivo avaliar o crescimento vegetativo da parte aérea e do sistema radicular de mudas de maracujazeiro azedo submetidas ao fornecimento de fontes de silício.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação no Campus da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, em Campos dos Goytacazes, no Norte do Estado do Rio de Janeiro (21°19'23" S, e 41°10'40" W; altitude: 14 m). A casa de vegetação foi equipada com um datalogger para obtenção diária da temperatura e da umidade. As leituras obtidas durante o período experimental estão apresentadas na Figura 1. Os dados de radiação foram obtidos por meio de um Quantômetro, em fluxo de fótons fotossintéticos (Figura 2).

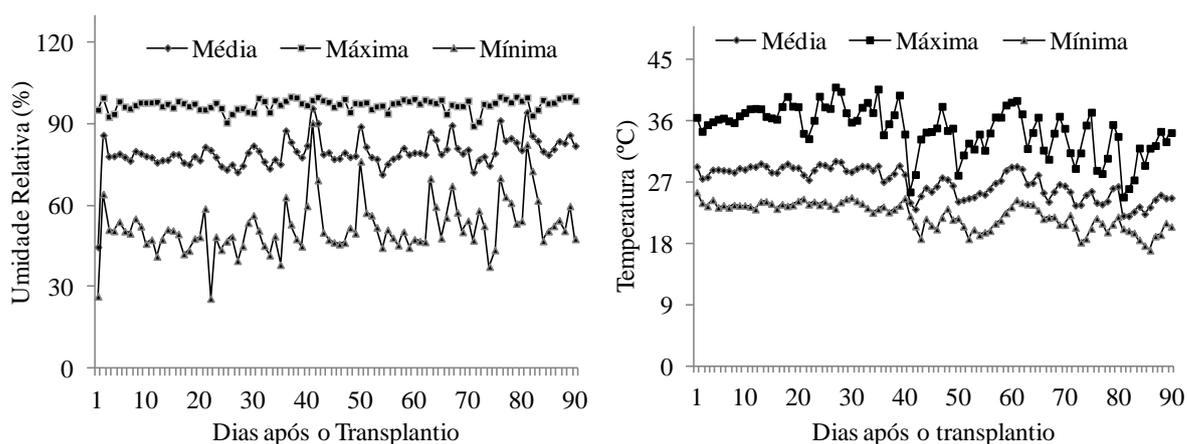


Figura 1. Umidade relativa, em %, e temperatura máxima, média e mínima, em °C, durante o cultivo das plantas de maracujá em casa de vegetação

O delineamento estatístico utilizado foi blocos casualizados com oito tratamentos: testemunha; Agrosilício Plus® (9,52 g dm<sup>-3</sup>); ácido silícico puro (2,14 g dm<sup>-3</sup>); ácido silícico puro (2,14 g dm<sup>-3</sup>) + óxido de cálcio (3,34 g dm<sup>-3</sup>); ácido silícico puro (2,14 g dm<sup>-3</sup>) + óxido de magnésio (0,96 g dm<sup>-3</sup>); ácido silícico puro (2,14 g dm<sup>-3</sup>) + óxido de cálcio (3,34 g dm<sup>-3</sup>) + óxido de magnésio (0,96 g dm<sup>-3</sup>); óxido de cálcio (3,34 g dm<sup>-3</sup>); óxido de magnésio (0,96 g dm<sup>-3</sup>), com quatro repetições. Os tratamentos foram elaborados de acordo com a composição nutricional do fertilizante silicatado Agrosilício Plus®, com o objetivo de introduzir a dose de 1 g dm<sup>-3</sup> de Si ao solo (Braga et al., 2009; Ferreira, 2013).

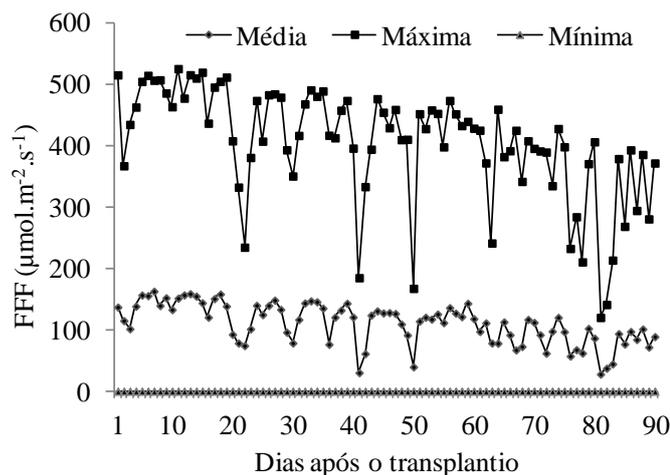


Figura 2. Fluxo de fótons fotossintéticos (FFF), em  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , durante o cultivo das plantas de maracujá em casa de vegetação

As mudas utilizadas nesta pesquisa foram obtidas de sementes selecionadas da empresa FELTRIN®, de maracujá redondo amarelo, com 84% de germinação e 96,8% de pureza, conforme dados disponibilizados nas embalagens pelo fabricante. Para germinar, as sementes foram colocadas em jardineiras de polietileno preto com capacidade de 15 L, previamente preenchidas com areia lavada. Durante a fase de produção de mudas, as plântulas foram irrigadas diariamente e três dias antes do transplante, aplicou-se solução nutritiva completa de 1/4 força e o pH ajustado para 5,4; com a composição química Tabela 1.

Para o preparo do substrato, coletou-se solo na profundidade 0-20 cm de um Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico com textura média. Em seguida, o material foi seco ao ar por cinco dias, para posterior peneiramento em malha de 5 mm para a obtenção da terra fina seca ao ar e enchimento dos vasos com capacidade volumétrica de  $5,5 \text{ dm}^{-3}$ . A composição química e física do substrato para recomendação da correção da acidez e da adubação estão apresentadas na Tabela 2.

Após preenchimento dos vasos, utilizou-se  $1,46 \text{ g dm}^{-3}$  de calcário dolomítico (CaO – 33,5%, MgO – 10,1% e PRNT – 80%) como corretivo de acidez, e, aos 15 e 16 dias após a calagem, foram aplicados  $0,51 \text{ g dm}^{-3}$  de superfosfato simples (18% de  $\text{P}_2\text{O}_5$  e 20% de CaO) e  $0,28 \text{ g dm}^{-3}$  de cloreto de potássio (60% de  $\text{K}_2\text{O}$ ), respectivamente.

Tabela 1. Composição da solução nutritiva completa de Hoagland modificada utilizada no experimento do maracujazeiro. Campos dos Goytacazes, RJ. 2017

Solução estoque	Tratamento Completo mL L <sup>-1</sup>
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> · 4H <sub>2</sub> O (2 mol L <sup>-1</sup> )	1,5
KNO <sub>3</sub> (2 mol L <sup>-1</sup> )	2,0
MAP (1 mol L <sup>-1</sup> )	0,5
MgSO <sub>4</sub> (1 mol L <sup>-1</sup> )	2,0
FeEDTA (25 g L <sup>-1</sup> )	1,0
MICRO*	1,0
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> (25mM)	1,0
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (1 mol L <sup>-1</sup> )	0,5

\* Micro: ZnSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O - 578 mg L<sup>-1</sup>, CuSO<sub>4</sub> · 5H<sub>2</sub>O - 0,125 mg L<sup>-1</sup>, MnSO<sub>4</sub> · H<sub>2</sub>O - 845 mg L<sup>-1</sup>, KCl - 3728 mg L<sup>-1</sup>, (NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub>Mo<sub>7</sub>O<sub>24</sub> · 4H<sub>2</sub>O - 88 mg L<sup>-1</sup>. Fonte: Freitas (2006)

Tabela 2. Atributos químicos e análise granulométrica do solo coletado da camada de 0-20 cm de profundidade no município de Marataízes, Espírito Santo

Camada (cm)	pH (H <sub>2</sub> O)	S-SO <sub>4</sub> mg dm <sup>-3</sup>	P mg dm <sup>-3</sup>	Si mg dm <sup>-3</sup>	K -----mmolc dm <sup>-3</sup> -----	Ca	Mg	Na	Al	H+Al
0-20	3,4	40,00	6,00	3,80	2,10	3,60	0,60	0,40	11,60	39,40
Granulometria										
-----g dm <sup>-3</sup> -----										
Areia			Silte				Argila			
580			60				360			

Análises realizadas pela Fundação Norte Fluminense de Desenvolvimento Regional (FUNDENOR) Departamento de Produção Vegetal, Campos dos Goytacazes.

Os tratamentos contendo as aplicações do Agrosilício, óxido de cálcio e óxido de magnésio foram realizados 20 dias antes do transplante, enquanto a aplicação do ácido silícico foi realizada aos 30 dias após o transplante e em intervalos de 30 dias.

As mudas foram transplantadas para os vasos quando atingiram em média 6,5 cm de altura. Aos 30 e 60 dias após o transplante, aplicou-se 1,5 g de ureia por vaso (45% de N).

Para as análises do crescimento vegetativo, as plantas foram avaliadas aos 90 e 120 dias após a semeadura. Aos 90 dias foram avaliadas no total 64 plantas, sendo uma planta contida em cada vaso e, aos 120 dias foram avaliadas 32 plantas. Em cada avaliação foi mensurada a altura das plantas (cm), o diâmetro do caule

(mm), número de folhas, a área foliar ( $\text{cm}^2$ ). A parte aérea foi separada em folha + pecíolo e caule, sendo determinada, assim, a massa seca das folhas (MSF) e massa seca do caule (MSC).

Altura da planta foi mensurada utilizando uma trena, sendo a medida efetuada desde o colo da planta até a ponta da folha maior. O diâmetro foi determinado a dois centímetros do solo por meio de um paquímetro digital. O número de folhas foi contado desde a folha basal até a última folha aberta. Para a área foliar, a parte aérea foi separada em folha e caule, sendo determinada somente a área das folhas com um medidor de bancada modelo LI - 3100 LICOR (Lincoln, NE, USA).

As folhas, caule e raiz foram acondicionados em papel tipo Kraft colocados em estufa com circulação de ar forçada a  $65^\circ\text{C}$  até peso constante para a determinação da matéria seca. A massa seca da parte aérea foi calculada por soma das massas secas das folhas, pecíolo e caule.

Para análise da distribuição radicular, as plantas foram avaliadas aos 120 dias após a semeadura. Na avaliação, as plantas foram destruídas para a quantificação dos parâmetros comprimento (CR, em cm), diâmetro radicular (DMR, em mm) e volume (VR, em  $\text{cm}^3$ ) e área superficial (AS, em  $\text{cm}^2$ ) das raízes.

Para as medidas morfológicas da raiz, o sistema radicular das plantas foi lavado cuidadosamente em água corrente, com a utilização de peneiras de malha 2 mm, para eliminação do solo aderido às raízes. Após a lavagem, foram acondicionados em sacos plásticos e levados à geladeira com temperatura em torno de  $4^\circ\text{C}$ .

As raízes tiveram sua imagem digitalizada em scanner, na superfície do qual utilizou-se uma cubeta com dimensões de 150 mm x 250 mm, previamente preenchida com água deionizada, onde as raízes foram distribuídas, sendo a quantificação das variáveis CR, VR, DMR e AS, realizada por meio do software "WinRhizo". Para a análise da imagem pelo software, os dados foram considerados em dez classes de diâmetro: classe 1 (diâmetro  $< 0,2$  mm); classe 2 (diâmetro entre 0,2 – 0,4 mm); classe 3 (diâmetro entre 0,4 – 0,6 mm); classe 4 (diâmetro entre 0,6 – 0,8 mm); classe 5 (diâmetro entre 0,8 - 1,0 mm); classe 6 (diâmetro entre 1,0 - 1,5 mm); classe 7 (diâmetro entre 1,5 - 2,0 mm); classe 8 (diâmetro entre 2,0 - 2,5 mm); classe 9 (diâmetro entre 2,5 – 3,0 mm); e classe 10 (diâmetro  $> 3,0$  mm). Na sequência, as raízes foram secas em estufa de circulação forçada de ar com

temperatura de 65°C por 72 horas, sendo, então, pesadas para a determinação da massa seca em balança de precisão.

Inspecionando-se os dados obtidos por meio do software “WhinRhizo”, verificou-se que a ocorrência de raízes nas classes 1, 9 e 10 era pouco frequente. A ocorrência apenas eventual de raízes destas classes contribuía para dilatados coeficientes de variação na análise de variância. Assim, optou-se por agrupar e totalizar as raízes em duas subclasses, classificadas raízes finas (diâmetro < 1,0 mm) e raízes grossas (diâmetro > 1,0 mm).

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo Teste de Tukey (5% de probabilidade), utilizando-se o programa SISVAR.

## RESULTADO E DISCUSSÃO

As fontes de silício aplicadas, assim como o tempo após a semeadura (90 e 120 dias), influenciaram as variáveis de crescimento da planta: altura da planta (AP), número de folhas (NF), diâmetro do caule (DC), área foliar total da planta (AFT), massa seca do caule (MSC), massa seca das folhas (MSF). Os fatores tratamentos e época de avaliação proporcionaram interação significativa para a variável massa seca das folhas (Tabela 3).

O período de 120 dias após a semeadura promoveu maiores incrementos à planta, quanto à altura da planta, número de folhas, diâmetro do caule, área foliar total da planta, massa seca do caule, massa seca das folhas, o que pode ser atribuído ao crescimento natural da planta (Tabela 4).

Observa-se na Tabela 4, que apesar de não diferir estatisticamente dos demais tratamentos, exceto do óxido de magnésio, o tratamento com ácido silícico puro proporcionou maiores valores para a variável altura da planta. Plantas tratadas com óxido de magnésio (MgO) mostraram-se menores que plantas tratadas somente com ácido silícico puro, que ultrapassaram 119 cm. Vale ressaltar que, quanto mais rápido o maracujazeiro atingir a altura necessária para a realização da primeira poda e subsequentes, mais cedo poderá produzir.

Tabela 3. Análise de variância (ANOVA) para as variáveis altura da planta (AP), em cm, número de folhas (NF), diâmetro do caule (DC), em mm, área foliar total da planta (AFT), em cm<sup>2</sup>, massa seca do caule (MSC), em g, e massa seca das folhas (MSF), em g, em plantas de maracujazeiro sob diferentes tratamentos e duas épocas de avaliação após a semeadura

F.V.	GL	Quadrados Médios					
		AP	NF	DC	AFT	MSC	MSF
Bloco	3	38,58 <sup>ns</sup>	0,37 <sup>ns</sup>	0,26 <sup>ns</sup>	2129,40 <sup>ns</sup>	0,27 <sup>ns</sup>	0,31 <sup>ns</sup>
Tratamentos	7	691,98*	9,32*	0,55*	121484,84*	1,97*	5,92*
Tempo	1	347203,92*	1086,67*	93,95*	24080370,16*	458,16*	438,67*
Trat*tempo	7	112,36 <sup>ns</sup>	1,77 <sup>ns</sup>	0,18 <sup>ns</sup>	56503,10 <sup>ns</sup>	1,27 <sup>ns</sup>	3,12*
Resíduo	45	256,59	1,71	0,19	32605,70	0,85	0,98
Total	63	-	-	-	-	-	-
Média	-	99,92	13,13	3,38	928,71	3,03	3,63
CV (%)	-	16,03	9,95	12,81	19,44	30,35	27,30

<sup>ns</sup> não significativo; \*significativo em 5% de probabilidade pelo teste F

Tabela 4. Altura da planta (AP), em cm, número de folhas por planta (NF) e diâmetro do caule (DC), em mm, em plantas de maracujazeiro sob diferentes tratamentos e duas épocas de avaliação após a semeadura

Trat.	AP			NF			DC		
	Dias após a semeadura		Média	Dias após a semeadura		Média	Dias após a semeadura		Média
	90	120		90	120		90	120	
T1	23,42	175,95	99,68ab	9,58	19,00	14,29ab	2,18	4,84	3,51ab
T2	29,34	160,10	94,72ab	9,07	16,75	12,91bc	2,26	4,36	3,31ab
T3	46,22	192,25	119,23a	10,48	19,50	14,99a	2,84	4,96	3,90a
T4	19,70	167,92	93,81ab	8,35	15,25	11,80c	1,98	4,18	3,07b
T5	30,37	184,90	107,63ab	9,46	17,50	13,48abc	2,20	4,86	3,53ab
T6	22,24	168,62	95,43ab	8,42	15,75	12,08c	1,98	4,31	3,14b
T7	21,51	174,85	98,18ab	8,55	16,75	12,65bc	2,05	4,43	3,24ab
T8	17,34	164,02	90,68b	8,16	17,50	12,83bc	1,89	4,81	3,35ab
Média	26,27B	173,58A		9,0B	17,2A		2,17B	4,59A	

Letras minúsculas distintas na linha indicam diferenças estatísticas entre os tratamentos para as duas e letras maiúsculas distintas na coluna indicam diferenças estatísticas entre as idades da planta (90 e 120 dias após a semeadura) pelo teste de Tukey ( $\alpha = 0,05$ ). Obs: T1 = testemunha, T2 = Agrosilício Plus, T3 = Ácido silícico puro (ASP), T4 = ASP + óxido de cálcio (CaO), T5 = ASP + óxido de magnésio (MgO), T6 = ASP + CaO + MgO, T7 = CaO e T8 = MgO

Quanto ao número de folhas, observa-se que os tratamentos dotados de ASP, testemunha e ASP + MgO mostraram-se mais eficientes na produção foliar do que os demais tratamentos. As menores médias, para a variável diâmetro do caule, foram observadas nas plantas dos tratamentos ASP + CaO e ASP + CaO + MgO.

Santos (2011), em seu trabalho sobre mamoeiro 'Sunrise solo', não obteve diferenças estatísticas para o diâmetro do caule nos tratamentos com as diferentes fontes de silício utilizadas (MB4, Rocksil e cinzas de cana-de-açúcar), já em relação à altura, as maiores médias foram obtidas nas plantas controle e no tratamento com Rocksil como fonte de Si.

Souza (2015) relatou que o ácido silícico promoveu aumento do diâmetro do caule e altura do maracujazeiro, nas doses de 0,21 e 0,28 g vaso<sup>-1</sup>, além de promover efeito positivo na massa fresca e seca da folha e do caule da planta. Porém, com o incremento das doses de silício, houve decréscimo da massa fresca e seca da raiz. Para as variáveis comprimento e largura da folha, o controle e a dose de 0,28 g vaso<sup>-1</sup> promoveram melhores resultados. O teor de Si na planta aumentou em função das doses aplicadas. As concentrações entre 0,28 e 0,55 g vaso<sup>-1</sup>, proporcionaram melhor crescimento e desenvolvimento das mudas de maracujazeiro.

Verificou-se, quanto à avaliação da área foliar em plantas de maracujazeiro azedo, diferentes respostas decorrentes da utilização de fontes de silício. Mudas tratadas com ácido silícico puro (ASP) + óxido de cálcio (CaO), com Agrosilício e com CaO apresentaram as menores médias, sendo 762,51, 808,78 e 857,94 cm<sup>2</sup>, respectivamente (Tabela 5).

As fontes de silício fornecidas às plantas não proporcionaram incrementos para a característica relacionada à massa seca do caule para *Passiflora edulis*.

A aplicação do ácido silícico (ASP) não promoveu melhorias significativas à planta quando comparada ao controle, ao tratamento com óxido de magnésio (MgO) e com ASP + MgO para a variável matéria seca foliar (120 dias após semeadura) (Tabela 5). Os diferentes tratamentos aplicados não promoveram efeitos positivos no incremento da variável de crescimento: massa seca das folhas, aos 90 dias, após a semeadura.

Detmann et al. (2012) verificaram em seu experimento com plantas de arroz que a nutrição com Si não afetou o crescimento das plantas, quanto às variáveis biomassa total, área foliar total e específica, todavia, foi eficaz no aumento do rendimento da cultura, com obtenção em um melhor índice de colheita em ambos os genótipos avaliados.

Tabela 5. Área foliar total da planta (AFT), em cm<sup>2</sup>, massa seca do caule (MSC), em g, e massa seca das folhas (MSF), em g, em plantas de maracujazeiro sob diferentes tratamentos e duas épocas de avaliação após a semeadura

Trat.	AFT			MSC			MSF		
	Dias após a semeadura		Média	Dias após a semeadura		Média	Dias após a semeadura		Média
	90	120		90	120		90	120	
T1	319	1685	1002 ab	0,33	6,17	3,25a	1,10 Ba	7,55 Aab	4,33
T2	342	1275	809 b	0,44	4,72	2,58a	1,22 Ba	4,65 Acd	2,93
T3	486	1803	1145 a	0,81	6,89	3,85a	1,85 Ba	8,72 Aa	5,29
T4	246	1278	762 b	0,21	4,72	2,47a	0,72 Ba	4,40 Ad	2,56
T5	363	1639	1001 ab	0,41	6,47	3,44a	1,02 Ba	6,60 Aabcd	3,81
T6	272	1519	896 ab	0,25	5,22	2,74a	0,79 Ba	5,60 Abcd	3,19
T7	255	1461	857 b	0,26	5,02	2,64a	0,79 Ba	5,80 Abcd	3,30
T8	240	1674	956 ab	0,17	6,45	3,31a	0,63 Ba	6,70 Aabc	3,66
Média	315B	1542A		0,36B	5,71A		1,02	6,25	
CV %	19,44			30,35			27,30		

Letras minúsculas distintas na linha indicam diferenças estatísticas entre os tratamentos para as duas idades da planta, exceto a variável MSF, no qual letras minúsculas distintas na linha indicam diferenças estatísticas entre os tratamentos para cada idade da planta avaliada e letras maiúsculas distintas na coluna indicam diferenças estatísticas entre as idades da planta (90 e 120 dias após a semeadura) pelo teste de Tukey ( $\alpha = 0,05$ ). Obs: T1 = testemunha, T2 = Agrosilício Plus, T3 = Ácido silícico puro (ASP), T4 = ASP + óxido de cálcio (CaO), T5 = ASP + óxido de magnésio (MgO), T6 = ASP + CaO + MgO, T7 = CaO e T8 = MgO

Os resultados observados neste trabalho são divergentes aos encontrados por Conceição (2010), em que doses de Si proporcionaram aumento na produção de massa seca da parte aérea em relação ao controle. Como justificativa, a autora relatou que a acumulação de Si nos tecidos de suporte do caule e folha proporciona maior rigidez, melhor arquitetura foliar, facilitando maior captura da luz solar e, conseqüentemente, propicia um incremento fotossintético e no crescimento.

Segundo Epstein (1994), a aplicação de silício fomenta acréscimo no crescimento e produção de biomassa, principalmente em plantas classificadas como acumuladoras (poáceas), através de ações indiretas, melhoria na arquitetura das plantas (com aumento na penetração de luz no dossel em função do crescimento mais ereto das folhas e a redução do auto-sombreamento), além de propiciar aumento da disponibilidade de nutrientes, atuar como corretivo da acidez do solo e aumento da resistência das plantas a estresses bióticos e abióticos.

As variáveis comprimento radicular, comprimento de raízes finas, comprimento de raízes grossas, área superficial radicular, área superficial de raízes

finas e área superficial de raízes grossas foram afetadas, significativamente, pelos diferentes tratamentos aplicados (Tabela 6).

Na Tabela 7, verifica-se também a influência das diferentes fontes de silício sobre as variáveis volume radicular, volume de raízes finas, volume de raízes grossas e massa seca radicular, com exceção da variável diâmetro radicular, que não foi responsiva aos tratamentos.

Tabela 6. Análise de variância (ANOVA) para as variáveis comprimento radicular (CR), em cm, comprimento de raízes finas (CRF), em cm, comprimento de raízes grossas (CRG), em cm, área superficial radicular (ASR), em cm<sup>2</sup>, área superficial de raízes finas (ASRF), em cm<sup>2</sup>, e área superficial de raízes grossas (ASRG), em cm<sup>2</sup>, em plantas de maracujazeiro sob diferentes tratamentos e duas épocas de avaliação após a semeadura

F.V.	G.L.	Quadrados Médios					
		CR	CRF	CRG	ASR	ASRF	ASFG
Bloco	3	453639,69 <sup>ns</sup>	406292,63 <sup>ns</sup>	11432,09 <sup>ns</sup>	16346,69 <sup>ns</sup>	3213,90 <sup>ns</sup>	4034,07 <sup>ns</sup>
Trat.	7	6884195,47*	6066557,58*	42869,11*	156284,73*	68885,26*	13263,90*
Resíduo	21	1164500,86	1001848,72	16651,50	35635,70	15393,08	5064,10
Total	31	-	-	-	-	-	-
Média	-	4529,68	4066,15	461,63	822,78	486,03	235,24
CV (%)	-	23,82	24,62	27,95	22,94	25,53	30,25

<sup>ns</sup> não significativo; \*significativo em 5% de probabilidade pelo teste F

Tabela 7. Resultado da análise de variância (ANOVA) para as variáveis volume radicular (VR), em cm<sup>3</sup>, volume de raízes finas (VRF), em cm<sup>3</sup>, volume de raízes grossas (VRG), em cm<sup>3</sup>, diâmetro radicular (DR), em mm, e massa seca radicular (MSR), em g, em plantas de maracujazeiro sob diferentes tratamentos e duas épocas de avaliação após a semeadura

F.V.	G.L.	Quadrados Médios				
		VR	VRF	VRG	DR	MSR
Bloco	3	7,67 <sup>ns</sup>	0,60 <sup>ns</sup>	20,99 <sup>ns</sup>	0,029 <sup>ns</sup>	0,032 <sup>ns</sup>
Tratamentos	7	32,39*	10,33*	58,43*	0,098 <sup>ns</sup>	0,282*
Resíduo	21	8,52	2,68	22,91	0,055	0,029
Total	31	-	-	-	-	-
Média	-	12,17	6,29	11,80	0,786	0,937
CV (%)	-	23,98	26,01	40,55	29,95	18,35

<sup>ns</sup> não significativo; \*significativo em 5% de probabilidade pelo teste F

Na Figura 3, observa-se que, para as variáveis radiculares analisadas (comprimento, área superficial e volume) houve diferenças significativas entre os tratamentos aplicados. Plantas tratadas com ácido silícico puro obtiveram maior

incremento no comprimento (7602,08 cm), volume (17,38 cm<sup>3</sup>) e superfície radicular (1248,65 cm<sup>2</sup>), sendo 44,65%, 46,65% e 44,66% maior que o comprimento, volume e superfície radicular proporcionado pelo tratamento controle, respectivamente. Embora não verificada diferença entre os tratamentos quanto ao diâmetro, pode-se considerar que o tratamento ácido silícico propiciou maior diâmetro radicular (1,09 mm), o que pode estar relacionado à sua deposição nas raízes, acarretando maior espessamento (Hattori et al., 2003; Zsoldos et al., 2003). Resultados similares ao do presente trabalho são comumente verificados em plantas (Chen et al., 2010; Vaculík et al., 2012).

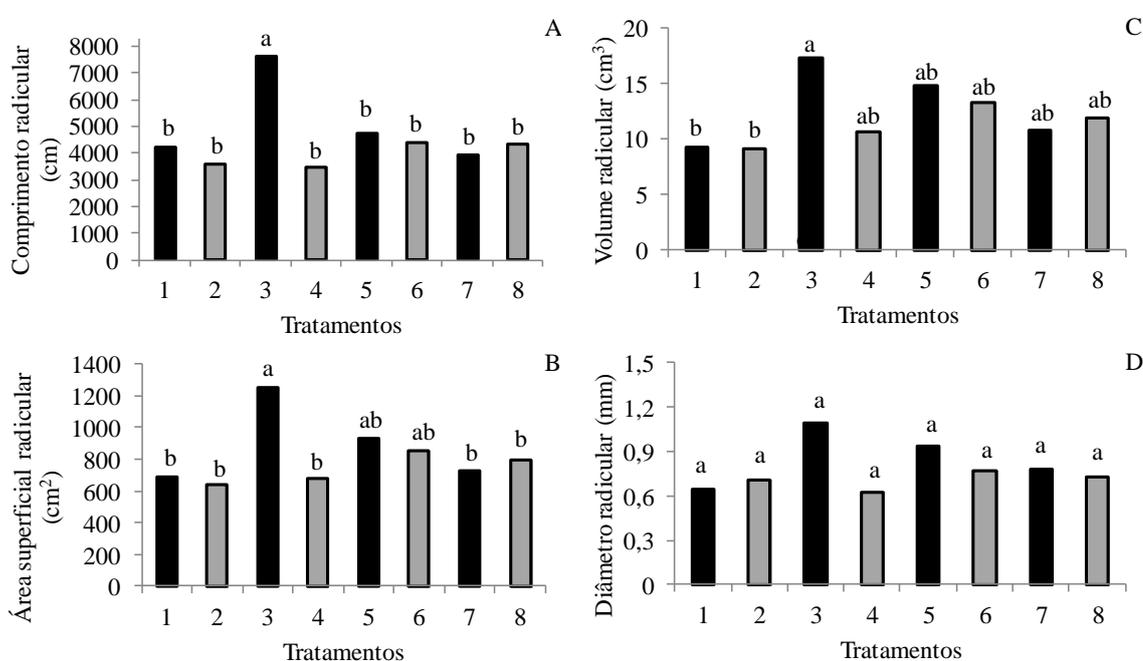


Figura 3- Comprimento (A), em cm, área superficial (B), em cm<sup>2</sup>, volume (C), em cm<sup>3</sup>, e diâmetro (D), em mm, de raízes de maracujazeiro azedo tratadas com diferentes fontes de silício aos 120 dias após a semeadura. Letras distintas entre tratamentos indicam diferenças estatísticas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Obs: 1 = testemunha, 2 = Agrosilício Plus, 3 = Ácido silícico puro (ASP), 4 = ASP + óxido de cálcio (CaO), 5 = ASP + óxido de magnésio (MgO), 6 = ASP + CaO + MgO, 7 = CaO e 8 = MgO

De acordo com Name et al. (2016), o comprimento radicular é um dos melhores parâmetros utilizados em estudos relacionados à absorção de água e nutrientes, já que um sistema radicular mais desenvolvido está associado a maior exploração do volume do solo. Logo, quanto maior o comprimento e quantidade de

raízes, maiores serão as chances de uma planta absorver nutrientes e água necessários para o seu crescimento e desenvolvimento, principalmente em ambientes com restrição desses elementos.

Hattori et al. (2003) verificaram que mudas de sorgo cultivadas na presença de silício apresentaram maior extensibilidade das paredes celulares na zona de alongamento apical e na zona de maturação apical, o que promoveu, simultaneamente, o alongamento da raiz. Somando-se a esta informação, em contraste com a zona de alongamento e maturação apical, a zona basal apresentou maiores valores de módulos elásticos e coeficientes de viscosidade, ambos parâmetros de rigidez. Isso sugere que as deposições de silício tornam as paredes tangenciais internas (ITW) do tecido endodérmico da raiz mais rígidas na parte basal das raízes do sorgo. O que pode promover a proteção dos tecidos vasculares contra parasitas e estresse hídrico.

Mehrabanjoubani et al. (2015) avaliaram o efeito da aplicação de silício em mudas de algodão, canola e trigo e verificaram que todas as plantas cultivadas na presença de Si, na dose de  $1,5 \text{ mmol L}^{-1}$  Si, por 12 dias, apresentaram raízes mais longas do que as cultivadas na ausência de Si.

Para Carvalho-Pupatto et al. (2003), a utilização de escória aumentou o comprimento e superfície radicular, resultado este que diverge do observado neste trabalho. Porém, os autores justificam que tal acontecimento é resultante da presença do Ca e do Mg e da redução da acidez potencial, que propicia a precipitação do íon  $\text{Al}^{+3}$ , elemento responsável por ocasionar atrofiamento do sistema radicular.

Alguns trabalhos evidenciaram que o fornecimento de Si restringiu o alongamento radicular em 37%, em comparação às plantas cultivadas sem suplementação de Si, porém, essa redução não alterou a biomassa e obtiveram maior ocorrência de raízes grossas (Lavinsky, 2013; Ribeiro et al., 2011).

As fontes de silício não tiveram efeitos significativos sobre o comprimento e área superficial de raízes grossas, porém, apresentaram influências tendenciais nos tratamentos com ácido silícico puro ou na presença do Mg (Figura 4). Raízes grossas são responsáveis pela sustentação da planta e demandam extenso tempo para sua formação, tendo baixas taxas de senescência e regeneração (Freitas et al., 2008). Originam-se do crescimento secundário (engrossamento) da região suberosa de raízes finas, com a gradativa substituição da epiderme pela periderme,

a qual confere à raiz proteção contra-choques mecânicos e térmicos e contra desidratação (Almeida e Almeida, 2014), iniciando seu desenvolvimento já no período inicial da implantação de uma cultura. Assim, o quantitativo das raízes grossas é afetado de forma perceptível apenas por eventos de médio ou longo prazo, não respondendo em curto prazo a alterações em fatores de produção como, por exemplo, disponibilidade de água e nutrientes. Todavia, essas explicações foram utilizadas em artigos sobre distribuição radicular de espécies arbóreas que apresentam uma faixa de desenvolvimento mais prolongada, quando comparada ao do maracujazeiro.

Os resultados mostram que o tratamento com ácido silícico + Mg propiciou aumento significativo do volume de raízes grossas. Este efeito pode estar relacionado à participação do magnésio no crescimento radicular, através dos pectatos de Mg que compõem a parede celular (Malavolta, 1980).

Por outro lado, a densidade de raízes finas foi significativa com a aplicação de ácido silícico puro nas três variáveis analisadas: comprimento, área superficial e volume radicular (Figura 5).

Raízes finas são responsáveis pela íntima interação planta-solo, destacando-se os processos de absorção de água e nutrientes, por apresentarem tecidos mais externos com baixo grau de suberização, além de alta permeabilidade à penetração de água e nutrientes. Assim, seu quantitativo pode ser afetado perceptivelmente por eventos de curto prazo, fazendo com que tenham alta taxa de senescência e regeneração (Freitas et al., 2008) e afetando a dinâmica da renovação radicular frente a alterações nos fatores de produção como, por exemplo, a água no solo, a qual pode ser manejada por meio da irrigação.

De acordo com Ceconi et al. (2008), a distribuição das raízes no solo é coordenada pelo genótipo da espécie, mas pode ser influenciada por outros fatores inerentes ao solo, como fertilidade, densidade, disponibilidade de oxigênio, textura, temperatura e, também, pelas circunstâncias em que a espécie se desenvolve.

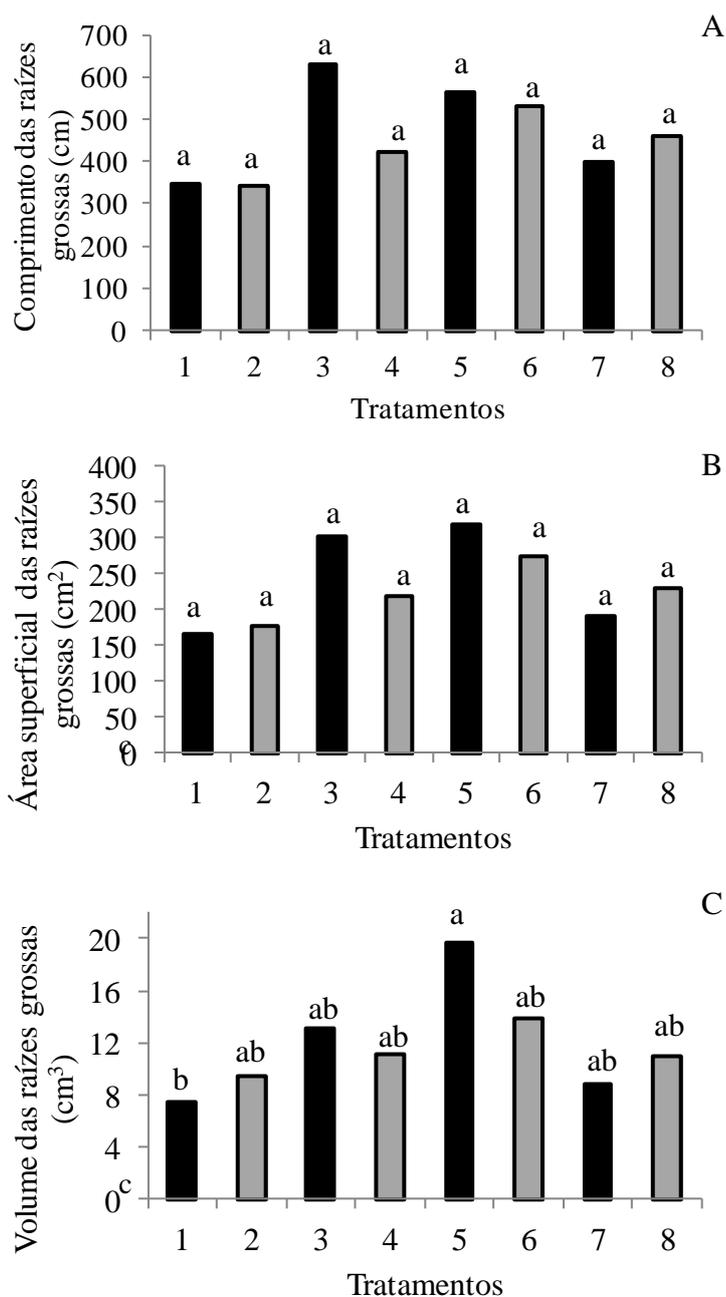


Figura 4. Comprimento (A), em cm, área superficial (B), em cm<sup>2</sup>, e volume (C), em cm<sup>3</sup>, de raízes grossas de maracujazeiro azedo tratadas com diferentes fontes de silício aos 120 dias após a semeadura. Letras distintas entre tratamentos indicam diferenças estatísticas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Obs: 1 = testemunha, 2 = Agrosilício Plus, 3 = Ácido silícico puro (ASP), 4 = ASP + óxido de cálcio (CaO), 5 = ASP + óxido de magnésio (MgO), 6 = ASP + CaO + MgO, 7 = CaO e 8 = MgO

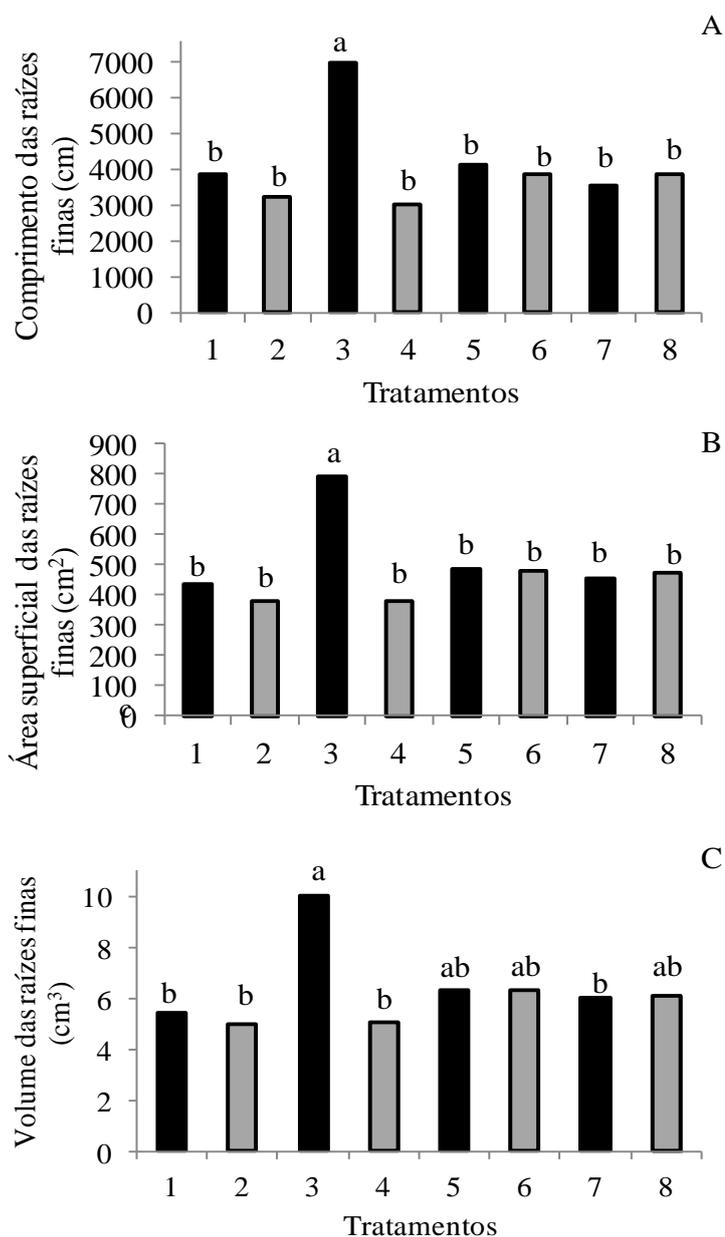


Figura 5. Comprimento (A), em cm, área superficial (B), em cm<sup>2</sup>, e volume (C), em cm<sup>3</sup>, de raízes finas maracujazeiro azedo tratadas com diferentes fontes de silício aos 120 dias após a semeadura. Letras distintas entre tratamentos indicam diferenças estatísticas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Obs: 1 = testemunha, 2 = Agrosilício Plus, 3 = Ácido silícico puro (ASP), 4 = ASP + óxido de cálcio (CaO), 5 = ASP + óxido de magnésio (MgO), 6 = ASP + CaO + MgO, 7 = CaO e 8 = MgO

Com base na massa seca radicular (Figura 6), percebe-se que as diferentes fontes de silício influenciaram significativamente esta variável. O fornecimento do Si, via aplicação de ácido silícico puro, proporcionou maior massa radicular (1,55 g), tendo incremento estimado de 55,69%, quando comparado ao tratamento controle.

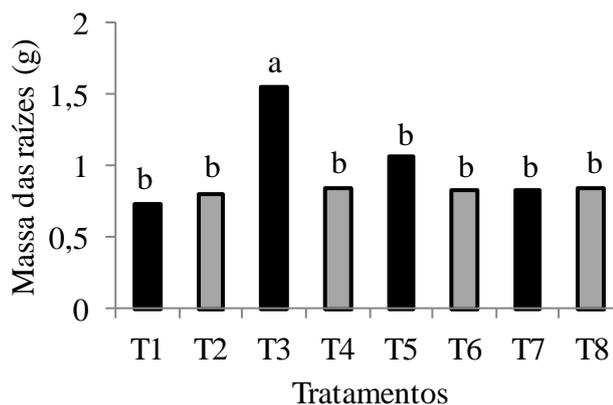


Figura 6. Massa seca radicular, em g, de maracujazeiro azedo tratadas com diferentes fontes de silício aos 120 dias após a semeadura. Letras distintas entre tratamentos indicam diferenças estatísticas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Obs: T1 = testemunha, T2 = Agrosilício Plus, T3 = Ácido silícico puro (ASP), T4 = ASP + óxido de cálcio (CaO), T5 = ASP + óxido de magnésio (MgO), T6 = ASP + CaO + MgO, T7 = CaO e T8 = MgO

Ahmed et al. (2011) testaram dois genótipos de sorgo submetidos a duas concentrações de silício (0 e 200 mL L<sup>-1</sup>) e dois níveis de irrigação (0 e 40 mm). Observaram que a aplicação de silício nos tratamentos irrigados ou não, propiciaram um aumento no peso seco das raízes de 41,17% em meio irrigado, quando comparado ao tratamento em que não foi fornecido o Si e de 38,52% em meio não irrigado. Estes resultados sugeriram que a aplicação de silício foi principalmente benéfica para o crescimento de raiz e seu efeito torna-se mais proeminente na presença de irrigação que estimulou o desenvolvimento do sistema radicular, alocando mais matéria ao sistema radicular das plantas. Sonobe et al. (2010) obtiveram resposta diferente ao submeter mudas de sorgo a duas concentrações de Si e dois níveis de estresse hídrico. Verificaram que o efeito da aplicação do Si depende da duração do período de estresse hídrico. Os resultados indicaram que o aumento no peso seco radicular induzido pelo Si foi mais proeminente quando as plantas foram submetidas à restrição hídrica por um período mais prolongado (23 dias após a semeadura).

Efeitos positivos no incremento radicular foi verificado por outros autores (Carvalho-Pupatto et al., 2003; Hattori et al., 2003). Asmar et al., (2011), trabalhando com diferentes fontes de silício em plântulas de bananeira 'Maçã', obtiveram resultados divergentes aos mencionados nesse trabalho. A bananeira

apresentou incremento na massa fresca e seca da parte aérea com a utilização do silicato de sódio, no entanto, não houve diferença significativa para as variáveis relacionadas à raiz, este fato ocorreu porque a bananeira é classificada como uma planta acumuladora de silício, logo este tende a ficar retido nas folhas, promovendo benefícios quanto à regulação da perda de água.

## CONCLUSÕES

- A aplicação de fontes de silício promove modificações na parte aérea do maracujazeiro azedo;
- Mudanças de *Passiflora edulis* adubadas com ácido silícico puro apresentam aumento na biomassa radicular;
- A suplementação com ácido silícico puro e magnésio contribui para o aumento do volume radicular de *Passiflora edulis*;
- A distribuição radicular de *Passiflora edulis* é alterada pelo emprego de fontes de silício.

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- Ahmed, M.; Fayyaz-ul-Hassen; Khurshid, Y. (2011) Does silicon and irrigation have impact on drought tolerance mechanism of sorghum? *Agricultural Water Management*, 98 (12):1808-1812.
- Almeida. M.; Almeida, C.V. de. (2014) *Morfologia da raiz de plantas com sementes*. Piracicaba: ESALQ/USP, 71p.
- Asmar, S. A.; Pasqual, M.; Rodrigues, F. A.; Araujo, A. G.; Pio, L. A. S.; Silva, S. DE O. (2011) Fontes de silício no desenvolvimento de plântulas de bananeira 'Maçã' micropropagadas. *Ciência Rural*, 41 (7):1127-1131.
- Braga, F.T.; Nunes, C.F.; Favero, A.C.; Pasqual, M.; Carvalho, J.G.; Castro, E.M. (2009) Características anatômicas de mudas de morangueiro micropropagadas com diferentes fontes de silício. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 44 (2):128-132.
- Carvalho-Pupatto, J.G.; Bull, L.T.; Crusciol, C.A. C.; Mauad, M.; Silva, R.H. (2003) Efeito da escória de alto forno no crescimento radicular e na produtividade de arroz. *Pesquisa agropecuária brasileira*, Brasília, 38 (11):1323-1328.

- Ceconi, D.E.; Poletto, I.; Lovato, T.; Schumacher, M.V. (2008) Biomassa e comprimento de raízes finas em povoamento de *Acacia mearnsii* de Wild. estabelecido em área degradada por mineração de carvão. *Floresta*, Curitiba, 38 (1):1-10.
- Chen, Z.; Zhu, Y.G.; LiU, W.J.; Meharg, A.A. (2010) Direct evidence showing the effect of root surface iron plaque on arsenite and arsenate uptake into rice (*Oryza sativa*) roots. *New Phytologist*, 165 (1):91 - 97.
- Conceição, E.D.J. (2010) *Uso do silício na nutrição da bananeira e no controle do Mal-do-Panamá*. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola) – Cruz das Almas- BA, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 69p.
- Detmann, K.C.; Araújo, W.L.; MartinS, S.C.V.; Sanglard, L.M.V.P.; Reis, J.V.; Detman, E.; Rodrigues, F.A.; Nunes-nesi, A.; Fernie, A.R.; Damatta, F.M. (2012) Silicon nutrition increases grain yield, which, in turn, exerts a feed-forward stimulation of photosynthetic rates via enhanced mesophyll conductance and alters primary metabolism in rice. *New Phytologist*, 196 (3):752-762.
- Epstein, E. (1994) The anomaly of silicon in plant biology. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Washington, DC, 91 (1):11-17.
- Epstein, E. (1999) Silicon. *Annual review of plant physiology and plant molecular biology*, Palo Alto, 50 (1):641-664.
- Etesaml, H.; Jeong, B.R. (2018) Silicon (Si): Review and future prospects on the action mechanisms in alleviating biotic and abiotic stresses in plants. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 147:881–896.
- Ferreira, S.G.M.; Botelho, R.V.; Faria, C.M.D.R.; Mateus, M.A.F.; Zaluski, W.L. (2013) Desenvolvimento e fitossanidade de ameixeiras tratadas com silício em sistema orgânico. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, 35 (4):1059-1065.
- Freitas, L.B. (2011) História evolutiva das espécies de *Passiflora* L. de ocorrência no Rio Grande do Sul: aspectos genéticos, estrutura populacional e filogenia molecular. *Revista Brasileira de Biociências*, 9 (1):41-47.
- Freitas, M.S.M. (2006) *Flavonóides e nutrientes minerais em folhas de maracujazeiro amarelo e deficiência de macronutrientes e boro em maracujazeiro doce*. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 119p.

- Freitas, T.A.S.; Barroso, D.G.; Carneiro, J.G.A. (2008) Dinâmica de raízes de espécies arbóreas: visão da literatura. *Ciência Florestal*, Santa Maria, 18 (1):133-142.
- Greco, S.M.L. (2014) *Caracterização físico-química e molecular de genótipos de maracujazeiro azedo cultivados no Distrito Federal*. Tese (Doutorado em Agronomia/Produção Sustentável) – Brasília – DF, Universidade de Brasília/Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 163p.
- Guével, M.H.; Menzies, J.G.; Bélanger, R.R. (2007) Effect of root and foliar applications of soluble silicon on powdery mildew control and growth of wheat plants. *Eur J Plant Pathol*, 119:429–436.
- Hattori, T.; Inanaga, S.; Tanimoto, E.; Lux, A.; Luxová, M.; Sugimoto, Y. (2003) Silicon-Induced changes in viscoelastic properties of sorghum root cell walls. *Plant Cell Physiology*, 44 (7):743-749.
- IBGE (2018). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Brasília, DF. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br> em 06/02/18.
- Lavinsky, A.O. (2013) *Efeito do silício na anatomia radicular e na produção de grãos de arroz*. Tese (Doutorado em Fisiologia Vegetal) – Viçosa –MG, Universidade Federal de Viçosa, 82p.
- Ma, J.F.; Yamaji, N. (2008) Functions and transport of silicon in plants. *Cell. Mol. Life Sci*, 65: 3049 - 3057.
- Malavolta, E. (1980) *Elementos de nutrição mineral de plantas*. 1. ed. São Paulo – SP: Editora Agronômica CERES Ltda, 251p.
- Marafon, A.C.; Endres, L. (2011) *Adubação silicatada em cana-de-açúcar*. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, p.46 (Documentos 307).
- Mendes, L.S.; Souza, C.H.E.; Machado, V.J. (2011) Adubação com silício: influência sobre o solo, planta, pragas e patógenos. *Cerrado Agrociências – UNIPAM*, Patos de Minas - MG, 2:51-63.
- Methrabanjoubani, P.; Abdolzadeh, A.; Sadeghipour, H.R.; Aghdasi, M. (2015) Silicon Affects Transcellular and Apoplastic Uptake of Some Nutrients in Plants. *Pedosphere*, 25 (2):192-201.
- Name, M.H.; Martins Junior, H.L.; Maruyama, T.M.; Falate, R. (2016) Desenvolvimento e comparação entre softwares destinados à avaliação do comprimento radicular. *Espacios*, 37 (4):1-9.

- Nunes, T.S. (2002) *A família Passifloraceae no estado da Bahia, Brasil*. Dissertação (Mestrado em Botânica) - Feira de Santana – BA, Universidade Estadual de Feira de Santana, 169p.
- Ribeiro, R.V.; Silva, L.; Ramos, R.A.; Andrade, C.A.; Zambrosi, F.C.B.; Pereira, S.P. (2011) O alto teor de silício no solo inibe o crescimento radicular de cafeeiros sem afetar as trocas gasosas foliares. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, 35 (3):939-948.
- Sabiao, R.R.; Silva, A.C.C.; Martins, A.B.G.; Cardoso, E.R. (2011) Enraizamento de estacas de *Passiflora nitida* submetidas a diferentes concentrações de ácido indolbutírico (AIB). *Revista Brasileira de Fruticultura*, 33 (1):654-657.
- Santos, A.C.N. (2011) *Fontes de silício na adubação de mamoeiro 'Sunrise solo': efeito sobre as características químicas do solo, o desenvolvimento das plantas e a qualidade do fruto*. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Produção Vegetal) – Alagoas – AL, Universidade Federal de Alagoas, 103p.
- Sonobe, K.; Hattori, T.; AN, P.; Tsuji, W.; Eneji, A.E.; Kobayashi, S.; Kawamura, Y.; Tanaka, K.; Inanaga, S. (2011) Effect of silicon application on sorghum root responses to water stress. *Journal of Plant Nutrition*, 34 (1):71–82, 2011.
- Souza, B.N. (2015) *Silício no desenvolvimento morfofisiológico de mudas de maracujazeiro amarelo*. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Lavras – MG, Universidade Federal de Lavras, 79p.
- Vaculík, M.; Landberg, T.; Greger, M.; Luxová, M.; Stoláriková, M.S.; Lux, A. (2012) Silicon modifies root anatomy, and uptake and subcellular distribution of cadmium in young maize plants. *Annals of Botany*, Oxford, 110 (2):433-443.
- Zanetti, L.V. (2013) *Efeitos da pulverização foliar com silício na tolerância de Theobroma cacao L. (Malvaceae) ao déficit hídrico*. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) – Vitória – ES, Universidade Federal do Espírito Santo, 61p.
- Zsoldos, F.; Vashegyi, A.; Pecsvaradi, A.; Bona, L. (2003) Influence of silicon on aluminium toxicity in common and durum wheats. *Agronomie, EDP Sciences*, Paris, 23 (4):349–354.

### 3.2. MARACUJAZEIRO AZEDO ADUBADO COM FONTES DE SILÍCIO: ABSORÇÃO E TRANSLOCAÇÃO DE SILÍCIO E CARACTERIZAÇÃO FISIOLÓGICA

**RESUMO** - O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito da adubação com fontes de silício (Si) nos aspectos fisiológicos e no padrão de absorção e translocação do elemento silício em mudas de maracujazeiro azedo. O delineamento foi em blocos ao acaso, com oito tratamentos (controle; Agrosilício Plus®; ácido silícico puro; ácido silícico puro + óxido de cálcio; ácido silícico puro + óxido de magnésio; ácido silícico puro + óxido de cálcio + óxido de magnésio; óxido de cálcio; óxido de magnésio), quatro repetições e dois vasos por parcela. Foram avaliadas características fisiológicas (rendimento quântico do fotossistema II, índice fotossintético, condutância estomática, taxa transpiratória e a eficiência instantânea do uso da água), além dos conteúdos de Si na parte aérea, raízes, solo, eficiência de absorção e translocação de Si e análises mineralógicas das fontes de silício. Dentre as variáveis fisiológicas avaliadas, a suplementação com silício promoveu diferenças significativas para taxa fotossintética e transpiratória. A adubação com ácido silícico puro promoveu maior conteúdo de silício na parte aérea, no sistema radicular e, por conseguinte, em toda planta. O maracujazeiro azedo absorveu mais silício advindo dos tratamentos com ácido silícico puro e da associação deste com óxido de magnésio, sendo que a maior concentração deste silício permanece nas raízes do *Passiflora edulis*.

**Palavras chaves:** *Passiflora*, aspectos fisiológicos, teor de silício na planta.

## PASSION FRUIT FERTILIZED WITH SOURCES OF SILICON: ABSORPTION AND TRANSLOCATION OF SILICON AND PHYSIOLOGICAL CHARACTERIZATION

**ABSTRACT** - The objective of this work was to evaluate the effect of fertilization with sources of silicon (Si) on the physiological aspects and on the pattern of absorption and translocation of the silicon element in passion fruit seedlings. A randomized block design was used with eight treatments (control; Agrosilicon Plus®; pure silicic acid; pure silicic acid + calcium oxide; pure silicic acid + magnesium oxide; pure silicic acid + calcium oxide + magnesium oxide; calcium oxide; magnesium oxide), four replications and two pots per plot. Physiological characteristics (quantum yield of photosystem II, photosynthetic index, stomatal conductance, transpiration rate and water use efficiency) were evaluated. Moreover, were evaluated the contents of Si in aerial parts, roots and soil; efficiency of absorption and translocation of Si and mineralogical analyzes of sources of silicon. Silicon supplementation promoted significant differences for photosynthetic and transpiratory rates, in the physiological variables evaluated. Fertilization with pure silicic acid promoted higher silicon content in the aerial part, in the root system and, therefore, in every plant. Passion fruit absorbed more silicon from the treatments with pure silicic acid and its association with magnesium oxide. The highest concentration of this silicon was observed in the roots of *Passiflora edulis*.

**Key words:** *Passiflora*, physiological aspects, silicon content in plant.

### INTRODUÇÃO

O silício (Si) é o segundo elemento mais abundante da litosfera, representando 27,7% da massa da crosta terrestre, sendo superado somente pelo oxigênio, com 48% (Marschner, 2012). Todavia, solos tropicais e subtropicais sujeitos a intenso intemperismo químico e com cultivos intensos, tendem a apresentar baixa disponibilidade de Si trocável (Giongo e Bohnen, 2011).

Na solução do solo, em pH abaixo de 9,0, a forma predominante do Si é o ácido monossilícico (Si (OH)<sub>4</sub>), uma forma facilmente aproveitável pelas plantas (Broadley et al., 2012). A sua absorção pelas plantas ocorre via fluxo de massa e

também com a participação de transportadores específicos identificados como Lsi<sub>1</sub>, Lsi<sub>2</sub> e Lsi<sub>6</sub>, localizados na membrana plasmática das células das raízes e do parênquima do xilema, respectivamente (Epstein, 1999; Ma et al., 2007; Chiba et al., 2009; Mitani et al., 2009; Marafon e Endres, 2011).

Embora o Si não seja considerado um fator limitante para as plantas completarem o ciclo, a sua introdução em cultivos agrícolas tem elevado potencial tecnológico na cadeia produtiva. A contribuição deste elemento está normalmente associada ao aumento na disponibilidade de nutrientes e à tolerância a estresses bióticos (doenças e pragas) e abióticos (estresse salino; estresse hídrico; toxicidade a metais; danos devido à radiação, altas temperaturas e geadas), além de fatores fisiológicos, tais como a redução da evapotranspiração, aumento na taxa fotossintética, entre outros benefícios (Marafon e Endres, 2011; Mendes et al., 2011, Song et al., 2014).

A maior parte dos efeitos benéficos causados pelo Si está atribuído à deposição deste nutriente nas paredes celulares das raízes, caules e folhas (Mitani et al., 2005). Além de favorecer a parte aérea das plantas, o acúmulo deste nutriente nas raízes reduz a passagem de fluxo apoplástico e fornece sítios de ligação para metais, resultando em menor absorção e translocação de elementos e sais tóxicos das raízes para a parte aérea. Contribui, ainda, para o aumento da síntese de celulose, suberina e lignina, acarretando maior rigidez e resistência das células radiculares, atuando desta forma em controles profiláticos contra o ataques de patógenos e pragas, como insetos, nematoides e fungos (Malavolta, 1997; Zsoldos et al., 2003; Ma. e Yamaji, 2006; Freitas, 2015).

Alguns estudos têm demonstrado o aumento de ramificação das raízes (Vaculík et al., 2012), sendo observado que a adição de Si melhorou os efeitos negativos do cádmio no crescimento e desenvolvimento de plantas expostas a diferentes concentrações. Contudo, o tratamento constituído apenas por Si gerou maior comprimento, peso fresco e seco de raízes seminais primárias de plantas de milho. Fawe et al. (2001) relatam em seu trabalho que o silício presente nas raízes pode realizar papel na rede de sinalização, além de induzir resistência sistêmica em outros órgãos.

Considerando a grande expressividade do maracujazeiro na área agrícola do país destinada à fruticultura e a utilização do silício como uma alternativa para viabilizar o retorno do aumento da produção em sistema de cultivo intensivo, torna-

se importante a ampliação da base de conhecimento dos efeitos desse elemento em maracujazeiro. Neste contexto, objetivou-se realizar o estudo da absorção e translocação de silício e a caracterização fisiológica de mudas de maracujazeiro azedo submetidas ao fornecimento de diferentes fontes de silício.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação no Campus da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, em Campos dos Goytacazes, no Norte do Estado do Rio de Janeiro (21°19'23" S, e 41°10'40" W; altitude: 14 m). A casa de vegetação foi equipada com um datalogger para obtenção diária da temperatura e da umidade. As leituras obtidas durante o período experimental estão apresentadas na Figura 1. Os dados de radiação foram obtidos por meio de um Quantômetro, em fluxo de fótons fotossintéticos (Figura 2).

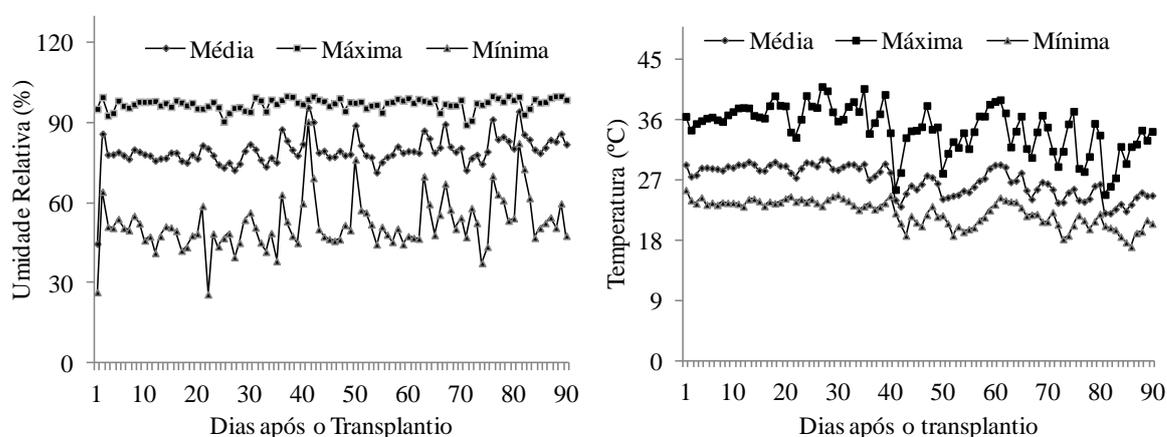


Figura 1. Umidade relativa, em %, e temperatura máxima, média e mínima, em °C, durante o cultivo das plantas de maracujá em casa de vegetação

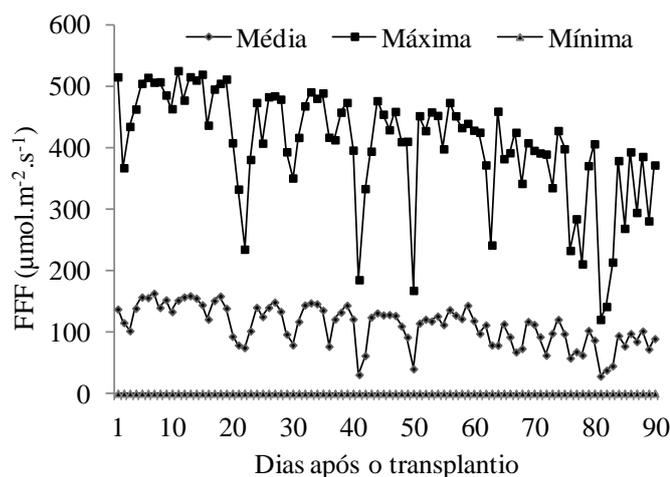


Figura 2. Fluxo de fótons fotossintéticos (FFF), em  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , durante o cultivo das plantas de maracujá em casa de vegetação

O delineamento experimental foi de blocos casualizados com oito tratamentos: testemunha; Agrosilício Plus® ( $9,52 \text{ g dm}^{-3}$ ); ácido silícico puro ( $2,14 \text{ g dm}^{-3}$ ); ácido silícico puro ( $2,14 \text{ g dm}^{-3}$ ) + óxido de cálcio ( $3,34 \text{ g dm}^{-3}$ ); ácido silícico puro ( $2,14 \text{ g dm}^{-3}$ ) + óxido de magnésio ( $0,96 \text{ g dm}^{-3}$ ); ácido silícico puro ( $2,14 \text{ g dm}^{-3}$ ) + óxido de cálcio ( $3,34 \text{ g dm}^{-3}$ ) + óxido de magnésio ( $0,96 \text{ g dm}^{-3}$ ); óxido de cálcio ( $3,34 \text{ g dm}^{-3}$ ); óxido de magnésio ( $0,96 \text{ g dm}^{-3}$ ), com quatro repetições. Unidade experimental foi composta por dois vasos contendo duas plantas cada. Estes seis últimos tratamentos foram elaborados de acordo com a composição nutricional do fertilizante silicatado (Agrosilício Plus®).

As mudas utilizadas nesta pesquisa foram obtidas de sementes selecionadas da empresa FELTRIN®, de maracujá redondo amarelo, com 84% de germinação e 96,8% de pureza, conforme dados disponibilizados nas embalagens pelo fabricante. Para germinar, as sementes foram colocadas em jardineiras de polietileno preto com capacidade de 15 L, previamente preenchidas com areia lavada. Durante a fase de produção de mudas, as plântulas foram irrigadas diariamente e três dias antes do transplante aplicou-se solução nutritiva completa de 1/4 força e o pH ajustado para 5,4; com a composição química Tabela 1.

Tabela 1. Composição da solução nutritiva completa de Hoagland modificada utilizada no experimento do maracujazeiro. Campos dos Goytacazes, RJ. 2017

Solução estoque	Tratamento
	Completo mL L <sup>-1</sup>
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> · 4H <sub>2</sub> O (2 mol L <sup>-1</sup> )	1,5
KNO <sub>3</sub> (2 mol L <sup>-1</sup> )	2,0
MAP (1 mol L <sup>-1</sup> )	0,5
MgSO <sub>4</sub> (1 mol L <sup>-1</sup> )	2,0
FeEDTA (25 g L <sup>-1</sup> )	1,0
MICRO*	1,0
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> (25mM)	1,0
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (1 mol L <sup>-1</sup> )	0,5

\* Micro: ZnSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O - 578 mg L<sup>-1</sup>, CuSO<sub>4</sub> · 5H<sub>2</sub>O - 0,125 mg L<sup>-1</sup>, MnSO<sub>4</sub> · H<sub>2</sub>O - 845 mg L<sup>-1</sup>, KCl - 3728 mg L<sup>-1</sup>, (NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub>Mo<sub>7</sub>O<sub>24</sub> · 4H<sub>2</sub>O - 88 mg L<sup>-1</sup>. Fonte: Freitas (2006)

Para o preparo do substrato, coletou-se solo na profundidade 0 - 20 cm de um Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico com textura média, em seguida, o material foi seco ao ar por cinco dias, para posterior peneiramento em malha de 5 mm para a obtenção da terra fina seca ao ar e enchimento dos vasos com capacidade volumétrica de 5,5 dm<sup>-3</sup>. A composição química e física do substrato para recomendação da correção da acidez e da adubação estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Atributos químicos e análise granulométrica do solo coletado da camada de 0-20 cm de profundidade no município de Marataízes, Espírito Santo

Camada (cm)	pH (H <sub>2</sub> O)	S-SO <sub>4</sub> mg dm <sup>-3</sup>	P mg dm <sup>-3</sup>	Si mg dm <sup>-3</sup>	K -----mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----	Ca	Mg	Na	Al	H+Al
0-20	3,4	40,00	6,00	3,80	2,10	3,60	0,60	0,40	11,60	39,40
Granulometria										
-----g dm <sup>-3</sup> -----										
Areia			Silte			Argila				
580			60			360				

Obs.: Análises realizadas pela Fundação Norte Fluminense de Desenvolvimento Regional (FUNDENOR) Departamento de Produção Vegetal, Campos dos Goytacazes.

Após preenchimento dos vasos, utilizou-se 1,46 g dm<sup>-3</sup> de calcário dolomítico (CaO – 33,5%, MgO – 10,1% e PRNT – 80%) como corretivo de acidez, e aos 15 e 16 dias após a calagem foram aplicados 0,51 g dm<sup>-3</sup> de superfosfato

simples (18% de  $P_2O_5$  e 20% de CaO) e  $0,28 \text{ g dm}^{-3}$  de cloreto de potássio (60% de  $K_2O$ ), respectivamente.

Os tratamentos contendo as aplicações do Agrosilício, óxido de cálcio e óxido de magnésio foram realizados 20 dias antes do transplântio, enquanto a aplicação do ácido silícico foi realizada aos 30 dias após o transplântio e em intervalos de 30 dias.

As mudas foram transplantadas para os vasos quando atingiram em média 6,5 cm de altura. Aos 30 e 60 dias após o transplântio, aplicou-se 1,5 g de ureia por vaso (45% de N).

As plantas foram avaliadas aos 90 e 120 dias após a semeadura. Aos 90 dias foram avaliadas no total 64 plantas, sendo uma planta contida em cada vaso e aos 120 dias, foram avaliadas 32 plantas. Em cada avaliação foram determinadas as características fotossintéticas [taxa fotossintética líquida por unidade de área foliar, A ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), condutância estomática ao vapor d'água, gs ( $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), taxa transpiratória, E ( $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )], determinação do rendimento quântico máximo do Fotossistema II ( $F_v/F_m$ ) e Índice Fotossintético (PI).

As medidas pontuais foram realizadas entre 8:00 e 11:00 horas, em duas folhas completamente expandidas de cada planta (4ª folha totalmente expandida contadas a partir do ápice), utilizando o analisador de gás infravermelho (IRGA, Infrared Gas Analyzer), modelo Li-6400 (Li-Cor, Biosciences Inc., Nebraska, EUA). O rendimento quântico máximo do FSII ( $F_v/F_m$ ) e o índice fotossintético (PI) foram obtidos com auxílio do fluorímetro Pocket PEA (Plant Efficiency Analyser), nas mesmas folhas em que foram realizadas as medidas de trocas gasosas.

Além das variáveis analisadas, foi também calculada a eficiência instantânea do uso da água (EUA), com base na relação dos valores de fotossíntese líquida e taxa de transpiração.

As folhas, caule e raiz foram acondicionados em papel tipo Kraft colocados em estufa com circulação de ar forçada a  $65^\circ\text{C}$  até peso constante para a determinação do silício contido nas partes da planta. O material foi então triturado em moinho (tipo Wiley) com peneira de 30 mesh e armazenado em frascos hermeticamente fechados.

Após o processo de secagem e moagem as amostras, foram encaminhadas ao Laboratório de Nutrição Mineral da Universidade Estadual do Norte Fluminense para determinação do nutriente silício contido nas raízes, caule

e folha foi realizada com o emprego do método colorimétrico amarelo, descrito por Korndörfer et al. (2004), que consiste basicamente na extração do Si do material vegetal (0,1 g) por digestão com água oxigenada e hidróxido de sódio em autoclave seguido de posterior emprego de outros reagentes necessários para a determinação do silício, finalizando o processo com a leitura do Si nos extratos em fotolorímetro, no comprimento de onda de 410 nm, e, imediatamente após a adição dos reagentes, uma vez que o complexo amarelo ácido sílico-molíbídico é bastante instável.

No dia da coleta dos resultados foi avaliada a quantidade de silício solúvel acumulada no solo. Amostras de solo foram retiradas dos vasos cultivados com maracujazeiro e preparadas para análise. Para tanto, foram acondicionadas em frascos plásticos, secas em estufa com circulação de ar forçada a 45°C até peso constante e peneiradas (< 2,0 mm). O procedimento consistiu no emprego inicial de 10 g de solo e na utilização do extrator ácido acético (0,5 mol L<sup>-1</sup>). Após agitação, decantação e filtração, as soluções ficaram em repouso por 12 horas para a decantação da argila suspensa. Para a determinação do teor de silício foi retirada uma alíquota de 10 mL do extrato (filtrado/decantado) de cada amostra e colocada em um becker de 50 mL, com posterior aplicação da solução sulfo-molíbídica, ácido tartárico 200 L<sup>-1</sup> e ácido ascórbico, finalizando o processo com a leitura do Si nos extratos em fotolorímetro, no comprimento de onda de 660 nm (Korndörfer et al., 1999).

Com base nos teores de silício contidos na parte aérea, raízes e em toda planta, foram determinados os conteúdos desse elemento nas partes já mencionadas. A partir dos dados dos conteúdos de Si foi calculada a eficiência de absorção de silício pela planta com base na relação conteúdo de silício na planta (mg)/matéria seca de raízes (g), proposta por Marschner (1995) e Siddiqi e Glass (1981) e a translocação de silício, avaliada com base na relação conteúdo de silício na parte aérea/contéudo de silício na planta toda, proposto por Li et al. (1991).

Foram realizadas análises mineralógicas das fontes de silício, por meio de difração de raio-X (DRX), com o objetivo de averiguar quais fases minerais presentes nos fertilizantes estão associadas ao Si. As amostras de fertilizantes foram moídas e submetidas ao peneiramento em malha de 0,053 mm e o material foi analisado em equipamento RIGAKU Miniflex II, sob radiação CuK $\alpha$  equipado com monocromador de grafite na forma de pó não-orientado. As leituras foram

realizadas no intervalo de 3 a 50° 2θ e velocidade de 1 segundo/passo. A identificação das fases cristalinas foi efetuada com programa MATCH 3.0.

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo Teste de Tukey (5% de probabilidade), utilizando-se o programa SISVAR para Windows versão 5.3 (Ferreira, 2011).

## RESULTADO E DISCUSSÃO

Os diferentes tratamentos utilizados não influenciaram as variáveis fisiológicas rendimento quântico do fotossistema II (Fv/Fm), índice Fotossintético (PI), condutância estomática (gs), transpiração (E) e eficiência instantânea do uso da água (A/E). Contudo, houve diferença para a variável taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> (A) (Tabela 3).

O período de avaliação (90 e 120 dias após a semeadura) afetou, significativamente, o Fv/Fm, PI, gs, E e A/E. Os fatores tratamentos e época de avaliação não proporcionaram interação para as variáveis avaliadas.

Tabela 3. Análise de variância para os parâmetros fisiológicos rendimento quântico do fotossistema II (Fv/Fm), índice Fotossintético (PI), taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> (A), em  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , condutância estomática (gs), em  $\text{molH}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , e transpiração (E),  $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , e eficiência instantânea do uso da água (A/E) em plantas de maracujazeiro sob diferentes tratamentos e duas épocas de avaliação após a semeadura

F.V.	GL	Quadrados Médios					
		Fv/Fm	PI	A	gs	E	A/E
Bloco	3	0,00005 <sup>ns</sup>	0,3307 <sup>ns</sup>	9,7048 <sup>ns</sup>	0,01953 <sup>ns</sup>	1,95372 <sup>ns</sup>	0,2169 <sup>ns</sup>
Tratamento	7	0,00011 <sup>ns</sup>	0,1022 <sup>ns</sup>	16,2025*	0,01929 <sup>ns</sup>	3,11105 <sup>ns</sup>	0,6857 <sup>ns</sup>
Tempo	1	0,00210*	9,7695*	3,0380 <sup>ns</sup>	0,14573*	70,8143*	45,0912*
Trat*tempo	7	0,00008 <sup>ns</sup>	0,2535 <sup>ns</sup>	8,3987 <sup>ns</sup>	0,01004 <sup>ns</sup>	1,72098 <sup>ns</sup>	0,8388 <sup>ns</sup>
Residuo	45	0,00009	0,5268	6,8228	0,01142	1,54666	0,5355
Total	63	-	-	-	-	-	-
Média	-	0,8064	2,8158	10,7667	0,21762	4,04223	3,0270
CV (%)	-	1,22	25,78	24,26	49,10	30,77	24,18

<sup>ns</sup> não significativo; \*significativo em 5% de probabilidade pelo teste F

As variáveis rendimento quântico do fotossistema II, índice Fotossintético não foram afetadas, significativamente, pelos diferentes tratamentos aplicados. Com relação à variável taxa de assimilação de CO<sub>2</sub>, o tratamento com ácido silício

puro + óxido de cálcio proporcionou a maior média para a variável, sendo esta igual a  $13,511 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . A menor média estimada de fotossíntese foi encontrada no tratamento com ácido silícico puro, apresentando valor de  $9,260 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , sendo 31,46% menor que a taxa fotossintética proporcionada com o emprego associado do ácido silício puro e óxido de cálcio. Todavia, essa redução gerada com o uso do silício, conforme se verifica na Tabela 4, diverge de várias menções encontradas na literatura (Ferreira, 2008, Pinto et al., 2012; Ferraz et al., 2014).

Quanto ao período pós semeadura não houve diferença estatística para a à variável taxa de assimilação de  $\text{CO}_2$ . Embora não haja diferença estatística, houve um acréscimo da taxa fotossintética, o que foi divergente ao resultado encontrado por Carvalho-Pupatto et al. (2003), que verificaram, em seu experimento, que a fotossíntese líquida diminui com a idade da planta. Essa redução pode ser explicada pelo aumento proporcional de respiração dos tecidos e, pode ocorrer, também, em função do autossombreamento.

Maghsoudi et al. (2016) observaram aumento significativo nas taxas líquidas de absorção de  $\text{CO}_2$  em plantas de trigo com aplicação foliar de Si em comparação ao tratamento controle (sem Si) sob condições de estresse e não-estresse hídrico. Todavia, a resposta promovida pelo Si foi mais pronunciada quando as plantas foram submetidas às condições de déficit.

Barbosa et al. (2015) verificaram, estudando o efeito da introdução de Si exógeno em plantas de milho, aumento dos níveis de pigmentos fotossintetizantes. O nível da clorofila *a* aumentou em 22% quando comparado ao tratamento controle e para a clorofila *b*, foi de 43%. Segundo Taiz e Zeiger (2012), estes pigmentos são responsáveis pela coleta da luz, que posteriormente é transferida para os centros de reação e armazenadas a longo prazo. Este processo é indispensável para o funcionamento da fotossíntese. Logo, o aumento na quantidade total de clorofilas normalmente está associado à melhora na interceptação de luz e melhor desempenho dos parâmetros fotossintéticos. O teor de clorofila é um fator importante na produtividade das plantas.

A razão  $F_v/F_m$  é um importante indicador de efeito inibitório, quando as plantas são submetidas a estresses de natureza biótica ou abiótica. Quando o valor do rendimento quântico máximo do FSII varia de 0,75 a 0,85, as plantas não apresentam quaisquer alterações advindas de estresse, contudo, valores inferiores caracterizam inibição da atividade fotoquímica da planta (Souza et al., 2012; Lima,

2014; Carvalho et al., 2015). Logo, neste trabalho o valor obtido para a variável Fv/Fm variou de 0,80 a 0,81, o que permite concluir que a aplicação do silício não afetou a eficiência fotoquímica das plantas de maracujazeiro azedo (Tabela 4).

Tabela 4. Rendimento quântico do fotossistema II (Fv/Fm), índice fotossintético (PI) e taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> (A), em  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , em plantas de maracujazeiro sob diferentes tratamentos e duas épocas de avaliação após a semeadura

Trat.	Fv/Fm			PI			A		
	Dias após a semeadura		Média	Dias após a semeadura		Média	Dias após a semeadura		Média
	90	120		90	120		90	120	
T1	0,81	0,79	0,80a	3,498	2,280	2,889 a	9,48	9,94	9,71ab
T2	0,81	0,80	0,81a	3,042	2,691	2,866 a	10,29	13,55	11,92ab
T3	0,80	0,80	0,80a	2,890	2,478	2,684 a	7,43	10,64	9,04b
T4	0,81	0,79	0,80a	3,456	2,292	2,874 a	13,89	13,13	13,51a
T5	0,81	0,80	0,81a	3,315	2,428	2,872 a	11,78	8,85	10,32ab
T6	0,82	0,79	0,81a	3,155	2,132	2,644 a	10,02	10,09	10,06ab
T7	0,81	0,80	0,81a	2,927	2,543	2,735 a	9,99	10,59	10,29ab
T8	0,81	0,81	0,81a	3,369	2,556	2,962 a	11,50	11,07	11,29ab
Média	0,81A	0,80B		3,21A	2,42B		10,55A	10,98A	
CV (%)	1,22			25,78			24,26		

Letras minúsculas distintas na linha indicam diferenças estatísticas entre os tratamentos para as duas idades da planta e letras maiúsculas distintas na coluna indicam diferenças estatísticas entre as idades da planta (90 e 120 dias após a semeadura) pelo teste de Tukey ( $\alpha = 0,05$ ). Obs: T1 = testemunha, T2 = Agrosilício Plus, T3 = Ácido silícico puro (ASP), T4 = ASP + óxido de cálcio (CaO), T5 = ASP + óxido de magnésio (MgO), T6 = ASP + CaO + MgO, T7 = CaO e T8 = MgO

Por conseguinte, foi analisado neste experimento o índice fotossintético (PI), outra variável utilizada para identificar condições estressantes à planta, porém, este é mais sensível aos efeitos dos estresses, quando comparada ao rendimento quântico do FSII. Denota-se que altos valores de PI expressam elevada eficiência nos processos fotoquímicos (Lima, 2014). Consequentemente, para esta variável não ocorreu diferenciação significativa entre os tratamentos (Tabela 4).

Para a condutância estomática e eficiência instantânea do uso da água, as diferentes fontes de silício utilizadas neste trabalho não promoveram quaisquer diferenciações. Todavia, com o emprego do ácido silícico puro houve decréscimo de 62,17% da taxa transpiratória quando comparada à média obtida com o tratamento de ácido silícico puro + óxido de cálcio ( $5,289 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), apresentando valor de  $3,288 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (Tabela 5). A redução transpiratória pode ser descrita como uma condição favorável ao desenvolvimento da planta. Esta redução pode ser decorrente do alto conteúdo de silício presente na parte aérea.

Sabe-se que o silício é absorvido juntamente com a água e quando esta é evaporada, o elemento é depositado como ácido silícico polimerizado na epiderme foliar junto às células-guarda dos estômatos e a outras células epidérmicas. Essa deposição propicia a formação de uma dupla camada de sílica cuticular, ocasionando um espessamento, o que promove uma diminuição da transpiração, limitando a perda de água das plantas (Marafon e Endres, 2011).

Tabela 5. Condutância estomática ( $g_s$ ), em  $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$ , transpiração (E), em  $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$ , e eficiência instantânea do uso da água (A/E) em plantas de maracujazeiro sob diferentes tratamentos e duas épocas de avaliação após a semeadura

Trat.	$g_s$			E			A/E		
	Dias após a semeadura		Média	Dias após a semeadura		Média	Dias após a semeadura		Média
	90	120		90	120		90	120	
T1	0,14	0,24	0,19a	2,62	4,877	3,747ab	3,82	2,06	2,939a
T2	0,16	0,33	0,25a	2,89	6,014	4,457ab	3,88	2,25	3,069a
T3	0,07	0,25	0,16a	1,49	5,087	3,288 b	5,13	2,09	3,610a
T4	0,25	0,39	0,32a	4,10	6,475	5,289 a	3,42	2,03	2,724a
T5	0,19	0,19	0,19a	3,26	4,162	3,712ab	4,25	2,22	3,238a
T6	0,18	0,20	0,19a	3,06	4,361	3,712ab	3,55	2,42	2,983a
T7	0,15	0,27	0,21a	2,86	4,780	3,821ab	3,69	2,21	2,954a
T8	0,21	0,25	0,23a	3,63	4,996	4,311ab	3,17	2,22	2,698a
Média	0,17B	0,26A		2,99B	5,10A		3,87A	2,19B	
CV %	49,10			30,77			24,18		

Letras minúsculas distintas na linha indicam diferenças estatísticas entre os tratamentos para as duas idades da planta e letras maiúsculas distintas na coluna indicam diferenças estatísticas entre as idades da planta (90 e 120 dias após a semeadura) pelo teste de Tukey ( $\alpha = 0,05$ ). Obs: T1 = testemunha, T2 = Agrosilício Plus, T3 = Ácido silícico puro (ASP), T4 = ASP + óxido de cálcio (CaO), T5 = ASP + óxido de magnésio (MgO), T6 = ASP + CaO + MgO, T7 = CaO e T8 = MgO

Vários estudos já demonstraram o efeito positivo do silício na redução da taxa transpiratória em plantas. Sabe-se que a transpiração foliar ocorre principalmente pelos estômatos e parcialmente pela cutícula (Marschner, 2012). Snyder e Matichenkov (2007) verificaram a diminuição da transpiração cuticular, devido à deposição do Si sob a cutícula das folhas, bem como a redução do diâmetro dos poros estomáticos. Já em sua pesquisa com plantas de milho, Gao et al. (2006) observaram uma diminuição da transpiração foliar para ambas as superfícies adaxial e abaxial, advindo da aplicação de Si, tanto em plantas submetidas ou não ao estresse hídrico. Todavia, nenhum efeito da aplicação de Si na transpiração cuticular foi encontrado.

Porém, neste trabalho é mencionado que a adição do ácido silícico puro acarretou um decréscimo da taxa fotossíntese. De acordo com Taiz e Zeiger (2013), a absorção de CO<sub>2</sub> está acoplada à perda de água. O gradiente motor da perda de água pelas folhas é maior que o da absorção de CO<sub>2</sub>, sendo 400 moléculas de água perdidas para cada molécula de CO<sub>2</sub> obtida. Sabe-se que o CO<sub>2</sub> é o substrato primário da fotossíntese, logo, quando submetidas às mesmas condições ambientais, uma planta que fotossintetiza mais tende a apresentar uma maior transpiração.

Madeiros et al. (2009) verificaram que a adição de escória siderúrgica em cultivares de cana-de-açúcar também não afetou significativamente as variáveis condutância e eficiência do uso da água, porém promoveu alterações na transpiração da planta. Pinto et al. (2012) já verificaram que a dose de 3 mL L<sup>-1</sup> de silicato de potássio promoveu um aumento em 44% da fotossíntese líquida em comparação à testemunha. Todavia, as variáveis condutância estomática, transpiração e eficiência do uso da água não foram influenciadas, independentemente do genótipo de cacau avaliado.

Ao observar os resultados do conteúdo de silício na parte aérea, raiz e em toda planta e eficiência de absorção (EA) do elemento Si, percebem-se diferenças significativas entre os tratamentos, exceto para a variável eficiência de translocação do silício (Tabela 6).

O conteúdo de Si acumulado na parte aérea (folha + caule), na raiz e em toda a planta foi superior com a aplicação do ácido silícico puro (Tabela 7), o que não foi verificado para os tratamentos compostos pela mesma dose de silício, porém, com a presença de outros elementos em sua constituição. Com esse resultado, infere-se a possibilidade da ocorrência de precipitação de silicatos de Ca e Mg na solução do solo.

Quanto aos teores de Si no solo aos 120 dias após a semeadura do maracujazeiro azedo, observa-se que todos os tratamentos promoveram acréscimo nos teores do nutriente em relação à quantidade inicial (3,80 mg dm<sup>-3</sup>). Contudo, a fonte comercial Agrosilício Plus apresentou o maior acúmulo de Si no solo (Tabela 7). A existência de outros elementos na composição do produto, não especificado pelo fabricante, pode ter ocasionado competições nutricionais, limitando a absorção do Si.

Tabela 6. Análise de variância para as variáveis conteúdo de silício (Si) na parte aérea (SIPA), em mg planta<sup>-1</sup>, nas raízes (SIRA), em mg planta<sup>-1</sup>, total na planta (Si planta), em mg planta<sup>-1</sup>, e teor de silício no solo (SISOL), em mg dm<sup>-3</sup>, e eficiência de absorção (Ef.Abs.), em mg g<sup>-1</sup>, e translocação de silício (Si transl.), %, em plantas de maracujazeiro sob diferentes tratamentos aos 120 dias após a semeadura

F.V.	GL	Quadrados Médios					
		SIPA	SIRA	Si planta	SISOL	Ef.Abs.	Si transl.
Bloco	3	2,695 <sup>ns</sup>	1,987 <sup>ns</sup>	0,318 <sup>ns</sup>	193,512 <sup>ns</sup>	20,494 <sup>ns</sup>	55,100 <sup>ns</sup>
Tratamento	7	114,153*	91,809*	405,695*	3044,027*	59,613*	99,585 <sup>ns</sup>
Residuo	21	5,119	3,085	9,330	131,635	9,296	54,982
Total	31	-	-	-	-	-	-
Média	-	11,23	6,90	18,12	31,48	18,70	63,27
CV (%)	-	20,15	25,47	16,85	36,44	16,30	11,72

<sup>ns</sup> não significativo; \*significativo em 5% de probabilidade pelo teste F

Tabela 7. Conteúdo de silício (Si) na parte aérea (SIPA), em mg planta<sup>-1</sup>, nas raízes (SIRA), em mg planta<sup>-1</sup>, total na planta (Si planta), em mg planta<sup>-1</sup>, e teor de silício no solo (SISOL), em mg dm<sup>-3</sup>, e eficiência de absorção (Ef.Abs.), em mg g<sup>-1</sup>, e translocação de silício (Si transl.), %, de silício em plantas de maracujazeiro sob diferentes tratamentos e duas épocas de avaliação após a semeadura

Tratam.	SIPA	SIRA	Si planta	SISOL	Ef.Abs.	Si transl.
T1	9,94 bc	3,58 c	13,52 c	5,64 c	18,77 b	73,44 a
T2	8,27 bc	4,98 bc	13,25 c	91,50 a	16,72 b	62,48 a
T3	23,68 a	18,22 a	41,90 a	8,54 c	27,40 a	56,50 a
T4	8,07 c	5,35 bc	13,42 c	32,54 bc	16,16 b	59,84 a
T5	13,57 b	8,52 b	22,09 b	29,08 bc	20,80 ab	61,91 a
T6	9,08 bc	4,90 bc	13,98 c	46,29 b	17,19 b	64,25 a
T7	8,16 c	4,95 bc	13,11 c	19,14 bc	16,23 b	61,74 a
T8	9,04 bc	4,65 bc	13,69 c	19,13 c	16,34 b	66,02 a
Média	11,23	6,90	18,12	31,48	18,70	63,27
CV %	20,15	25,47	16,85	36,44	16,30	11,72

Letras minúsculas distintas na coluna indicam diferenças estatísticas entre os tratamentos para a mesma variável avaliada aos 120 dias após a semeadura, pelo teste de Tukey ( $\alpha = 0,05$ ). Obs: T1 = testemunha, T2 = Agrosilício Plus, T3 = Ácido silícico puro (ASP), T4 = ASP + óxido de cálcio (CaO), T5 = ASP + óxido de magnésio (MgO), T6 = ASP + CaO + MgO, T7 = CaO e T8 = MgO

O tratamento com ácido silícico puro (ASP) apresentou menor teor de Si retido no solo, fato que deve estar associado à maior solubilidade da fonte (ver discussão adiante). Porém, nota-se a presença do Si, acima da concentração inicial, na testemunha e nos óxidos. Esse aumento dos valores de Si trocável nesses tratamentos pode ser explicado pela aplicação de calcário dolomítico e consequente elevação do pH do solo a valores superiores a 7, o que normalmente

eleva a disponibilidade de Si trocável no solo (Klotzbücher et al., 2018; Haynes, 2019). Todavia, a quantidade de silício advinda dessas fontes pode não ser suficiente para propiciar proteção às plantas aos estresses bióticos ou abióticos (Luz et al., 2006; Moraes et al., 2006).

As análises mineralógicas dos fertilizantes (Figura 3) demonstram uma composição bastante distinta entre as duas fontes de Si. O ácido silícico, como já esperado, possui apenas um pico amplo e de baixa intensidade, na posição de 0,404 nm, relacionado à fase SiO<sub>2</sub> cristalizada, com possíveis contribuições de tridimita e cristobalita, polimorfos de SiO<sub>2</sub> de baixo ordenamento estrutural. Já o fertilizante Agrosilício Plus é composto de uma mistura de minerais silicatados e carbonatos. Embora análises quantitativas não tenham sido efetuadas, a grande intensidade dos picos relacionados à calcita (CaCO<sub>3</sub>; principais picos em 0,388, 0,304, 0,250 e 0,229 nm, Figura 3) sugere que este mineral, principal constituinte de rochas calcárias, seja a fase dominante na amostra. As fases detectadas contendo Si são relacionadas a minerais do grupo do feldspato (picos em 0,336, 0,319, 0,287 nm, Figura 3) e prováveis filossilicatos (argilominerais), cujos picos são de baixa intensidade e de difícil distinção.

Esses atributos mineralógicos dos fertilizantes explicam, parcialmente a disponibilidade do elemento no substrato nos tratamentos que usaram as duas fontes distintas. A existência de polimorfos de SiO<sub>2</sub> de baixo ordenamento estrutural no ácido silícico sugere maior capacidade de dissolução, embora o pH do substrato não tenha atingido valores superiores a 9, ideal para a solubilização de silicatos em solos similares às fontes biogênicas com estruturas mineralógicas similares (Keeping et al., 2017). O baixo ordenamento estrutural evidenciado no padrão de DRX é um atributo importante do sólido que deve estar associado à sua maior superfície específica, o que facilitaria sua dissolução após o contato com a solução do solo.

Já os atributos mineralógicos do produto Agrosilício Plus reforçam os resultados encontrados no substrato dos tratamentos baseados na sua aplicação. O teor do elemento Si é menor (já que há provável predomínio de carbonatos, Figura 3) e os minerais com elevados teores de Si na composição aparentemente possuem maior ordenamento estrutural em comparação aos polimorfos de SiO<sub>2</sub> que compõem o ácido silícico, reduzindo sua liberação à solução do solo em curto prazo.

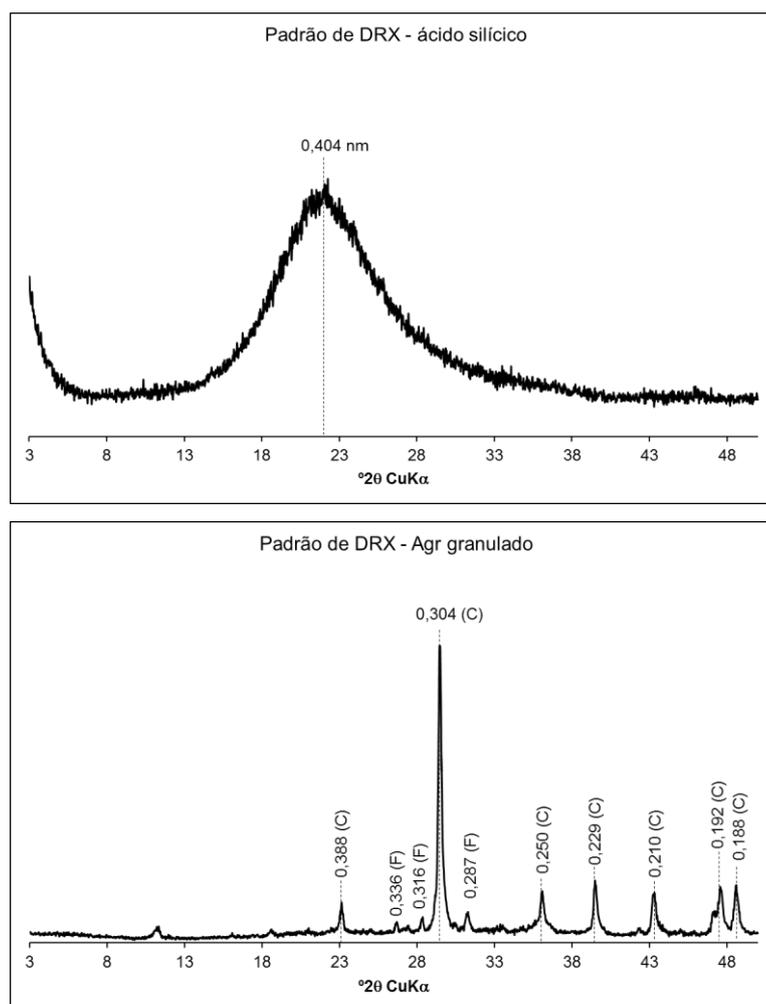


Figura 3. Difractometria de raios X para os fertilizantes Ácido silícico e Agrosilício Plus® (agr granulado)

Verificou-se que no tratamento com ácido silícico puro, o nutriente silício foi prontamente absorvido pelas plantas de maracujazeiro azedo (Tabela 7). Contudo, não houve diferença significativa entre os tratamentos quanto à eficiência de translocação. A ineficiência em translocar Si pode ser atribuída à reduzida densidade de transportadores específicos envolvidos no transporte do Si das células corticais radiculares para o xilema (Ma e Takahashi, 2002).

Carvalho et al. (2003) avaliaram a eficiência de absorção de silício em função das doses do elemento e da época de avaliação e verificaram que mesmo com o incremento da matéria seca das raízes e do conteúdo de silício nas plantas, a eficiência de absorção diminui com o avanço do período de crescimento do eucalipto. Essa mesma redução foi verificada para a eficiência de translocação de Si, o que reforça a existência de algum mecanismo controlador do movimento migratório de Si em plantas de eucalipto. Camargo (2011) verificou inexistência de

diferença estatística entre as fontes de silício e a controle na eficiência de absorção, aos 30 dias de avaliação. Porém, aos 60 e 90 dias, a maior dose do silicato de potássio aplicado via foliar diferiu das demais fontes. E a translocação do nutriente foi mais eficaz aos 60 dias. Logo, pode-se inferir que apesar do eucalipto não ser considerado uma planta acumuladora, este foi capaz de absorver e translocar o silício.

Apesar da utilização do ácido silícico puro promover a liberação do silício para o solo e maior eficiência na absorção, a quantidade liberada não foi suficiente em promover diferença significativa em relação ao controle nas características fisiológicas. Contudo, o ASP promoveu efeitos relativamente superiores para todas as variáveis avaliadas, quando comparado aos demais tratamentos.

Na literatura são evidenciados benefícios atribuídos à deposição do elemento silício nas raízes. O silício diminui os efeitos deletérios de estresses abióticos propiciados por metais pesados e tóxicos, através da retenção desses metais nas raízes e inibição da translocação para parte aérea e, por fim, a acumulação de silício no apoplasto da raiz funciona como uma barreira ao fluxo apoplástico de íons metálicos (Marafon e Endres, 2011).

Vale ressaltar que a disponibilidade dos nutrientes é afetada por vários fatores inerentes ao solo como a aeração, umidade, matéria orgânica e pH (Martins, 2010). Já em relação à planta, a absorção é influenciada pelos atributos morfológicos das raízes e a translocação varia de acordo com a espécie da planta (Martins, 2010). De acordo com Korndörfer et al. (1999), solos que apresentam valores de Si solúvel inferiores a  $24 \text{ mg dm}^{-3}$ , quando extraídos via metodologia com emprego de ácido acético  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ , apresentam boa resposta à aplicação de silício. Contudo, quando dotados de teores acima dos descritos, as repostas tendem a ser mais discreta. A respeito do mencionado, vários trabalhos não apresentam o teor inicial de silício no solo, valor este que pode ser fundamental na análise dos resultados, concluindo se o elemento é benéfico ou não para a planta avaliada.

## CONCLUSÕES

- A adubação com ácido silícico puro provoca alterações nas variáveis fisiológicas de *Passiflora edulis*;

- O maracujazeiro azedo absorve mais silício advindo do ácido silícico puro, sendo que a maior concentração deste silício permanece nas raízes de *Passiflora edulis*;
- A introdução de agrosilício no cultivo do maracujazeiro favorece um aumento no teor de silício no solo, o que é benéfico em situações de contaminação com metais pesados, já que o elemento silício apresenta um grande potencial de complexação dos elementos prejudiciais às plantas.

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- Barbosa, M.A.M.; Silva, M.H.L.; Viana, G.D.M.; Ferreira, T.R.F.; Souza, C.L.F.C.; Lobato, E.M.S.G.; Lobato, A.K.S. (2015) Beneficial repercussion of silicon (Si) application on photosynthetic pigments in maize plants. *Australian Journal of Crop Science*, 9 (11):1113-1118.
- Broadley, M.; Brown P.; Cakmak, I.; MA, J.F.; Rengel, Z.; Zhao, F. (2012) Beneficial Elements. In: Marschner P. (eds.) *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*, London: Academic Press, p. 249–270.
- Camargo, J.M.M. (2011) *Seleção de clones, absorção e translocação de silício, e seu efeito sobre a população do psilídeo-de-concha Glycaspis brimblecombei (Moore) (Hemiptera: Psyllidae) em plantas de Eucalyptus camaldulensis Dehn.* Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) – Curitiba – PR, Universidade Federal do Paraná, 104p.
- Carvalho, R.; Furtini Neto, A.E.; Curi, N.; Resende, A.V. (2003) Absorção e translocação de silício em mudas de eucalipto cultivadas em Latossolo e Cambissolo. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, 27:491-500.
- Carvalho, J.J.; Teixeira, M.B.; Crispim Filho, A.J.; Silva Filho, R.O.; Moura, L.M.F. (2015) Adubação silicatada em substituição à calagem sobre características fisiológicas de feijão cultivadas com e sem déficit hídrico. *Anais do III Inovagri International Meeting*, Fortaleza, p.3192-3201.
- Carvalho-Pupatto, J.G.; Bull, L.T.; Crusciol, C.A.C.; Mauad, M.; Silva, R.H. (2003) Efeito da escória de alto forno no crescimento radicular e na produtividade de arroz. *Pesquisa agropecuária brasileira*, Brasília, 38 (11):1323-1328.
- Chiba, Y.; Mitani, N.; Yamaji, N.; Ma, J.F. (2009) HvLsi1 is a silicon influx transporter in barley. *The Plant Journal*, 57 (5):810–818.

- Epstein, E. (1999) *Silicon. Annual review of plant physiology and plant molecular biology*, Palo Alto, 50 (1):641-664.
- Fawe, A.; Menzies, J.G.; Cherif, M.; Belanger, R.R. (2001) Silicon and disease resistance in dicotyledons. In: Datnoff, L.E.; Snyder, G.H.; Korndörfer, G.H. editors. *Silicon in agriculture*. The Netherlands: Elsevier Science, p.159-169.
- Ferraz, R.L.S; Beltrão, N.E.M.; Melo, A.S.; Magalhães, I.D.; Fernandes, P.D.; Rocha, M.S. (2014) Trocas gasosas e eficiência fotoquímica de cultivares de algodoeiro herbáceo sob aplicação de silício foliar. *Semina: Ciências Agrárias*, 35 (2):735-748.
- Ferreira, D.F. (2011) Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia* (UFLA), 6:1039-1042.
- Ferreira, S.M. (2008) *O efeito do silício na cultura do algodoeiro (Gossypium hirsutum L.): aspectos bioquímicos, qualidade de fibra e produtividade*. Tese (Doutorado em Ecologia Aplicada) – Piracicaba – SP, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 67p.
- Freitas, L.B. (2015) *Interação silício e alumínio em plantas de arroz de Terras Altas e mamona*. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura) – Botucatu – SP, Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP, 151p.
- Freitas, M.S.M. (2006) *Flavonóides e nutrientes minerais em folhas de maracujazeiro amarelo e deficiência de macronutrientes e boro em maracujazeiro doce*. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 119p.
- Gao, X.; Zou, C.; Wang, L.; Zang., F. (2006) Silicon Decreases Transpiration Rate and Conductance from Stomata of Maize Plants. *Journal of Plant Nutrition*, 29 (9):1637-1647.
- Giongo, V.; Bohnen, H. (2011) Relação entre alumínio e silício em genótipos de milho resistente e sensível a toxidez de alumínio. *Bioscience Journal*, Uberlândia, 27 (3):348-356.
- Haynes, R.J. (2019) What effect does liming have on silicon availability in agricultural soils? *Geoderma*, 337 :375-383.
- Keeping, M. G., Miles, N., Rutherford, R.S. (2017) Liming on acid soil treated with diverse silicon sources: Effects on silicon uptake by sugarcane (*Saccharum* spp. hybrids). *Journal of Plant Nutrition*, 40 (10):1417-1436.

- Klotzbücher, T., Klotzbücher, A., Kaiser, K., Merbach, I., Mikutta, R. (2018) Impact of agricultural practices on plant-available silicon. *Geoderma*, 331 :15-17.
- Korndörfer, G.H.; Coelho, N.M.; Snyder, G.H.; Mizutani, C.T. (1999) Avaliação de métodos de extração de silício para solos cultivados com arroz de sequeiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, 23 (1):101-106.
- Korndörfer, G.H.; Pereira, H.S.; Nola, A. (2004) *Análise de silício: solo, planta e fertilizante*. Uberlândia: Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, 34p.
- Li, B.; Mckeand, S.E.; Allen, H.L. (1991) Genetic variation in nitrogen use efficiency of loblolly pine seedlings. *Forest Science*, Bethesda, 37 (2):613-626.
- Lima, R.S.N. (2014) *Irrigação parcial do sistema radicular e déficit de irrigação regulado em mamoeiro (Carica papaya L.): capacidade fotossintética, crescimento e eficiência no uso da água*. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 129p.
- Luz, J.M.Q.; Guimarães, S.T.M.R.; Korndorfer, G.H. (2006) Produção hidropônica de alface em solução nutritiva com e sem silício. *Horticultura Brasileira*, 24 (3):295-300.
- Ma, J.F., Yamaji, N. (2006) Silicon uptake and accumulation in higher plants. *Trends in Plant Science*, 11 (8):392–397.
- Ma, J.F.; Yamaji, N.; Mitani, N.; Tamai, K.; Konishi, S.; Fujiwara, T.; Katsuhara, M.; Yano, M. (2007) An efflux transporter of silicon in rice. *Nature*, 448 (7150):209–212.
- Ma, J.F.; Takahashi, E. (2002) *Soil, fertilizer and plant silicon research in Japan*. Amsterdam: Elsevier Science, 294p.
- Madeiros, L.B.; Vieira, A.O.; Aquino, B.F. (2009) Influência da escória siderúrgica sobre trocas gasosas e produção de biomassa da cana-de-açúcar. *Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal*, 6 (2):121-129.
- Maghsoudi, K.; Emam, Y.; Pessarakli, M. (2016) Effect of Silicon on Photosynthetic Gas Exchange, Photosynthetic Pigments, Cell Membrane Stability and Relative Water Content of Different Wheat Cultivars under Drought Stress Conditions. *Journal of Plant Nutrition*, 39 (7):1001-1015.
- Malavolta, E. (1980) *Elementos de nutrição mineral de plantas*. 1. ed. São Paulo – SP: Editora Agronômica CERES Ltda, 251p.

- Malavolta, E.; Vitti, G.C.; Oliveira, S.A. (1997) *Avaliação do estado nutricional de plantas: princípio e aplicações*. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 315 p.
- Marafon, A.C.; Endres, L. (2011) *Adubação silicatada em cana-de-açúcar*. Aracaju: *Embrapa Tabuleiros Costeiros*, p.46 (Documentos 307).
- Marschner, H. (1995) *Mineral nutrition of higher plants*. 2.ed San Diego: Academic Press, 889p.
- Marschner, H. (2012) *Mineral nutrition of higher plants*. 3.ed London: Elsevier, 643p.
- Martins, P.O. (2010) *Cinética de absorção de silício por cultivares de cana-de-açúcar e de arroz*. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura) – Botucatu – SP, Universidade Estadual Paulista, 67p.
- Mendes, L.S.; Souza, C.H.E.; Machado, V.J. (2011) Adubação com silício: influência sobre o solo, planta, pragas e patógenos. *Cerrado Agrociências – UNIPAM*, Patos de Minas - MG, 2:51-63.
- Mitani, N.; Chiba, Y.; Yamaji, N.; Ma, J.F. (2009) Identification and characterization of maize and barley Lsi2-like silicon efflux transporters reveals a distinct silicon uptake system from that in rice. *The Plant cell*, 21 (7):2133–2142.
- Mitani, N.; Ma, J.F. (2005) Uptake system of silicon in different plant species. *Journal of Experimental Botany*, 56 (414):1255–1261.
- Moraes, S.R.G.; Pozza, E.A.; Alves, E.; Pozza, A.A.A.; Carvalho, J.G.; Lima, P.H.; Botelho, A.O. (2006) Efeito de fontes de silício na incidência e na severidade da antracnose do feijoeiro. *Fitopatologia Brasileira*, Brasília, 31(1):69-75.
- Moreira, A.; Carvalho, J.G. de; Evangelista, A.R. (1999) Influência da relação cálcio:magnésio do corretivo na nodulação, produção e composição mineral da alfafa. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 34 (2):249-255.
- Pimentel-Gomes, F. (2000) *Curso de estatística experimental* 14a. Piracicaba – SP: Editora da Universidade de São Paulo: 477p.
- Pinto, D.G.; Aguilar, M.A.G.; Souza, C.A.S.; Silva, D.M.; Siqueira, P.R.; Cao, J.R.; Zanetti, L.V. (2012) Alterações fisiológicas após aplicação de silício em cacau e sua influência na preferência por pulgões. *Revista Ceres*, Viçosa, 59 (3):360-367.

- Siddiqi, M.Y.; Glass, A.D.M. (1981) Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. *Journal of Plant Nutrition*, New York, 4:289-302.
- Song, A.; Li, P.; Fan, F.; Li, Z.; Liang, Y. (2014) The effect of silicon on photosynthesis and expression of its relevant genes in rice (*Oryza sativa* L.) under high-zinc stress. *Plos One*, 9 (11):1–21.
- 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. (2012) Influência do silício sobre o crescimento, a fluorescência da clorofila a e na incidência de insetos-pragas em genótipos de cacau. *Agrotrópica*, Bahia, 24 (1):31 - 40.
- Snyder, G.H.; Matichenkov, V.V. (2016) Silicon. In: *Handbook of plant nutrition*. A.V. Barker and D.J. Pilbeam (eds), Taylor and Francis Group, CRC Press, Boca Raton, p.551-568.
- Taiz, L.; Zeiger, E. (2013) *Fisiologia vegetal* 5a Ed. Porto Alegre: Artmed, p.918, 2013.
- Vaculík, M.; Landberg, T.; Greger, M.; Luxová, M.; Stoláriková, M.S.; Lux, A. (2012) Silicon modifies root anatomy, and uptake and subcellular distribution of cadmium in young maize plants. *Annals of Botany*, Oxford, 110 (2):433-443.
- Verginassi, A. (2008) *Silício no controle da ferrugem asiática da soja*. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Campus Jataí – GO, Universidade Federal de Goiás – UFG, 42p.
- Yadare, J.S.P.; Girdhar, I.K. (1981) The effects of different magnesium: calcium ratios and sodium adsorption ratio values fo leaching water on the properties of calcareous versus noncalcareous soils. *Soil Science*, Philadelphia, 131 (3): 194-198.
- Zsoldos, F.; Vashegyi, A.; Pecsvaradi, A.; Bona, L. (2003) Influence of silicon on aluminium toxicity in common and durum wheats. *Agronomie*, EDP Sciences, Paris, 23 (4):349–354.

### 3.3. OCORRÊNCIA E DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DE ÁCARO BRANCO EM MUDAS DE MAMOEIRO ADUBADOS COM FONTES DE SILÍCIO

**RESUMO-** O objetivo do trabalho foi avaliar os efeitos da aplicação de silício na ocorrência e distribuição vertical do ácaro branco *Polyphagotarsonemus latus* (Banks) (Acari: Tarsonemidae), em plantas de mamão. O delineamento foi em blocos ao acaso, com oito tratamentos (controle; Agrosilício Plus<sup>®</sup>; ácido silícico puro; ácido silícico puro + óxido de cálcio; ácido silícico puro + óxido de magnésio; ácido silícico puro + óxido de cálcio + óxido de magnésio; óxido de cálcio; óxido de magnésio), quatro repetições e dois vasos por parcela. Foi realizada a contagem do número de ovos e ninfas e adultos ácaro branco em seis pontos de amostragem em cada folha, além da verificação da distribuição vertical destes elementos, na porção apical, mediana e basal da planta. A suplementação com silício, cálcio, magnésio e a associação desses elementos promoveram redução significativa na incidência de ácaros brancos e na soma envolvendo o adulto e os ovos de *P. latus*. Nos tratamentos mais atacados (testemunha e agrosilício), os maiores danos ocorreram no ápice da planta, enquanto nos demais tratamentos não há diferença quanto à porção da planta avaliada.

**Palavras-chave:** mamão, *Polyphagotarsonemus latus*, ácido silícico.

## OCCURRENCE AND VERTICAL DISTRIBUTION OF THE BROAD MITE IN PAPAYA SEEDLINGS FERTILIZED WITH SILICON SOURCES

**ABSTRACT** - The objective of this work was to evaluate the effects of silicon application on the occurrence and vertical distribution of the broad mite *Polyphagotarsonemus latus* (Banks) (Acari: Tarsonemidae), in papaya plants. A randomized block design was used with eight treatments (control; Agrosilicon Plus®; pure silicic acid; pure silicic acid + calcium oxide; pure silicic acid + magnesium oxide; pure silicic acid + calcium oxide + magnesium oxide; calcium oxide; magnesium oxide), four replications and two pots per plot. At six sampling points on each leaf was counted of the number of eggs and nymphs and adults of the broad mite, besides verifying the vertical distribution of the same, in the apical, median and basal portion of the plant. Silicon, calcium and magnesium supplementation and the association of these elements promoted a significant reduction in the incidence of broad mite and in the sum involving the adult and the eggs of the *P. latus*. In the most attacked treatments (control and Agrosilicon), the highest damages were verified in the apical portion. In the other treatments, there was no difference in the evaluated portions of the plants.

**Key words:** papaya, *Polyphagotarsonemus latus*, silicic acid.

### INTRODUÇÃO

O interesse pelo cultivo do mamoeiro reside no aspecto socioeconômico com excelentes perspectivas de mercado interno e externo (Celanti, 2015) e, principalmente, o que tange à geração de emprego e renda (Silva, 2013), absorvendo mão de obra, pela constante necessidade de manejo, tratos culturais, colheita e comercialização, efetuados de maneira contínua nas lavouras, além da renovação dos pomares, em média, a cada três anos (Ramos et al., 2008). Por fim, é uma importante fonte de alimentação, produzindo frutos aromáticos, com elevados teores de vitaminas A e C, sendo muito utilizados em dietas em razão do seu valor nutritivo e digestivo (Dantas et al., 2002).

Atualmente, o mamoeiro é amplamente cultivado em vários países. A Ásia é o continente que produz a maior quantidade de frutos do mamoeiro, com 56,3%

da produção total, seguido pela América (33,1%), África (10,5%) e Oceania (0,1%) (FAO, 2018). Os países líderes mundiais na produção de mamão são a Índia (5,7 milhões de toneladas), o Brasil (1,4 milhões de toneladas) e o México (952 mil toneladas). Visto que a Índia tem sua produção de mamão 4 vezes maior que a brasileira, há necessidade de investimentos na cadeia produtiva do mamão brasileiro (FAO, 2018).

Em 2016, o Brasil exportou cerca de 40 mil toneladas, produzindo uma receita de US\$ 43,1 milhões (Secex, 2018). Essa fruta é cultivada praticamente em todo território nacional e a produção comercial está concentrada na Bahia com 753.417 toneladas, seguida do Espírito Santo (251.365 ton), Ceará (110.520 ton) e Rio Grande do Norte (94.740 ton) (IBGE, 2018).

As lavouras de mamão são atacadas por inúmeros artrópodes pragas. Dentre esses, os ácaros são considerados um grupo capaz de impactar grandemente a produção e longevidade das lavouras. Dentre os ácaros de ocorrência frequente, destaca-se o ácaro branco *Polyphagotarsonemus latus* (Banks) (Acari: Tarsonemidae), uma espécie cosmopolita e polífaga com registro de ocorrência em distintas culturas economicamente importantes e presente em todas as regiões do Brasil (Moraes e Flechtmann, 2008). A maior concentração do ataque nas plantas ocorre na região apical das plantas, onde os tecidos são mais tenros, em função da menor dureza e maior qualidade nutricional dos tecidos (Moraes, 2014). Devido à atividade de alimentação e, provavelmente, injeção de toxinas salivares, as folhas apresentam alteração de coloração, clorose, retorcimento, deformação e com a intensificação dos ataques, as folhas novas apresentam redução da área foliar, restando somente as nervuras, o que acarreta uma paralisação no crescimento e, por fim, leva a planta à morte (Aubert et al., 1981).

O controle do ácaro branco é realizado basicamente com a utilização de acaricidas. Na busca por alternativas para controle de pragas, a fim de reduzir o risco de toxicidade, contaminação ambiental e desenvolver um modelo de agricultura sustentável, têm sido estudada e incentivada a utilização de outras formas de controle, como o uso de cultivares tolerantes, feromônios, métodos culturais, controle biológico e uso plantas resistentes (Vieira et al., 2006; Rodrigues et al., 2018; Silveira et al., 2018).

Embora não seja considerado um elemento nutricional limitante à planta, o silício pode induzir resistência às plantas por constituir uma barreira mecânica à incidência de pragas e doenças, decorrentes da deposição e polimerização do ácido silícico abaixo da cutícula, que, por sua vez, forma uma dupla camada sílica-celulose, que confere resistência à penetração de hifas e desgastes a mandíbulas dos insetos mastigadores, impedindo ou dificultando a mastigação e ingestão dos tecidos das plantas. O silício pode também ativar mecanismos naturais de defesa da planta como a produção de compostos fenólicos que são convertidos em vários derivados, como: fitoalexinas (ação antimicrobiana), cumarinas (anticoagulantes orais), flavonoides, lignina e taninos condensados (deterrentes de alimentação), atuando, desta forma, em controles profiláticos contra os ataques de patógenos como insetos, nematoides e fungos (Malavolta, 1997; Zsoldos et al., 2003; Ma e Yamaji, 2006; Marafon e Endres, 2011; Freitas, 2015).

Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar a aplicação de fontes de silício na ocorrência e distribuição vertical do ácaro branco *P. latus* em plantas de mamão.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação no Campus da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, em Campos dos Goytacazes, no Norte do Estado do Rio de Janeiro (21°19'23" S, e 41°10'40" W; altitude: 14 m). A casa de vegetação foi equipada com um datalogger para obtenção diária da temperatura e da umidade (Figura 1). Os dados de radiação foram obtidos por meio de um Quantômetro, em fluxo de fótons fotossintéticos (Figura 2).

O delineamento experimental foi de blocos casualizados com oito tratamentos: 1-testemunha; 2-Agrosilício Plus® (9,52 g dm<sup>-3</sup>); 3-ácido silícico puro (2,14 g dm<sup>-3</sup>); 4-ácido silícico puro (2,14 g dm<sup>-3</sup>) + óxido de cálcio (3,34 g dm<sup>-3</sup>); 5-ácido silícico puro (2,14 g dm<sup>-3</sup>) + óxido de magnésio (0,96 g dm<sup>-3</sup>); 6-ácido silícico puro (2,14 g dm<sup>-3</sup>) + óxido de cálcio (3,34 g dm<sup>-3</sup>) + óxido de magnésio (0,96 g dm<sup>-3</sup>); 7-óxido de cálcio (3,34 g dm<sup>-3</sup>); 8-óxido de magnésio (0,96 g dm<sup>-3</sup>), com quatro repetições. Unidade experimental foi composta por dois vasos contendo duas plantas cada. Estes seis últimos tratamentos foram elaborados de acordo com a composição nutricional do fertilizante silicatado (Agrosilício Plus®).

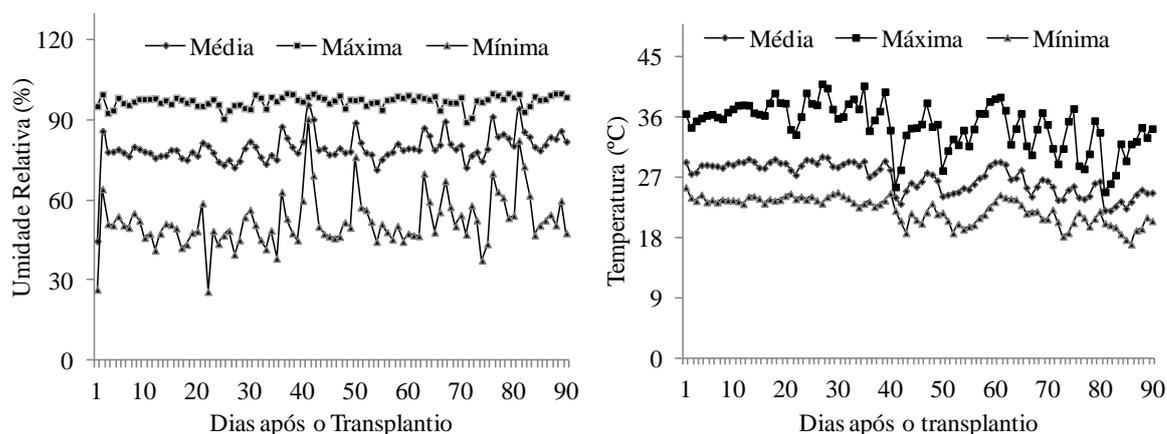


Figura 1. Umidade relativa, em %, e temperatura máxima, média e mínima, em °C, durante o cultivo das plantas de mamão em casa de vegetação

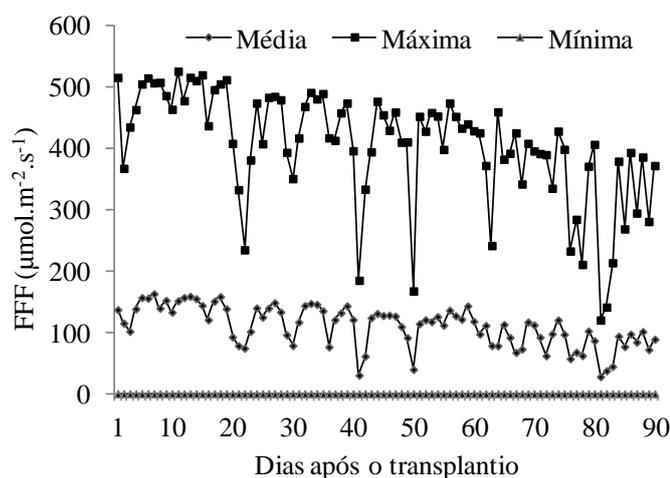


Figura 2. Fluxo de fótons fotossintéticos (FFF), em  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , durante o cultivo das plantas de mamão em casa de vegetação

As mudas utilizadas nesta pesquisa foram obtidas de sementes selecionadas da empresa FELTRIN<sup>®</sup>, de mamoeiro do grupo Solo, variedade Sunrise Solo, com 91% de germinação e 99,8% de pureza, conforme dados disponibilizados nas embalagens pelo fabricante. Para germinar, as sementes foram colocadas em jardineiras de polietileno preto com capacidade de 15 L, previamente preenchidas com areia lavada. Durante a fase de produção de mudas, as plântulas foram irrigadas diariamente e três dias antes do transplântio aplicou-se solução nutritiva completa de 1/4 força e o pH ajustado para 5,4; com a composição química Tabela 1.

Tabela 1. Composição da solução nutritiva completa de Hoagland modificada utilizada no experimento do mamoeiro. Campos dos Goytacazes, RJ. 2017

Solução estoque	Tratamento
	Completo mL L <sup>-1</sup>
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> · 4H <sub>2</sub> O (2 mol L <sup>-1</sup> )	1,5
KNO <sub>3</sub> (2 mol L <sup>-1</sup> )	2,0
MAP (1 mol L <sup>-1</sup> )	0,5
MgSO <sub>4</sub> (1 mol L <sup>-1</sup> )	2,0
FeEDTA (25 g L <sup>-1</sup> )	1,0
MICRO*	1,0
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> (25mM)	1,0
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (1 mol L <sup>-1</sup> )	0,5

\* Micro: ZnSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O - 578 mg L<sup>-1</sup>, CuSO<sub>4</sub> · 5H<sub>2</sub>O - 0,125 mg L<sup>-1</sup>, MnSO<sub>4</sub> · H<sub>2</sub>O - 845 mg L<sup>-1</sup>, KCl - 3728 mg L<sup>-1</sup>, (NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub>Mo<sub>7</sub>O<sub>24</sub> · 4H<sub>2</sub>O - 88 mg L<sup>-1</sup>. Fonte: Freitas (2006)

Para o preparo do substrato, coletou-se solo na profundidade 0-20 cm de um Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico com textura média, em seguida, o material foi seco ao ar por cinco dias, para posterior peneiramento em malha de 5 mm para a obtenção da terra fina seca ao ar e enchimento dos vasos com capacidade volumétrica de 5,5 dm<sup>-3</sup>. A composição química e física do substrato para recomendação da correção da acidez e da adubação estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Atributos químicos e análise granulométrica do solo coletado da camada de 0-20 cm de profundidade no município de Marataízes, Espírito Santo

Camada (cm)	pH (H <sub>2</sub> O)	S-SO <sub>4</sub> mg dm <sup>-3</sup>	P mg dm <sup>-3</sup>	Si mg dm <sup>-3</sup>	K	Ca	Mg	Na	Al	H+Al
0-20	3,4	40,00	6,00	3,80	2,10	3,60	0,60	0,40	11,60	39,40
Granulometria										
-----g dm <sup>-3</sup> -----										
Areia			Silte			Argila				
580			60			360				

Obs.: Análises realizadas pela Fundação Norte Fluminense de Desenvolvimento Regional (FUNDENOR) Departamento de Produção Vegetal, Campos dos Goytacazes.

Após preenchimento dos vasos, utilizou-se 1,46 g dm<sup>-3</sup> de calcário dolomítico (CaO - 33,5%, MgO - 10,1% e PRNT - 80%) como corretivo de acidez, e aos 15 e 16 dias após a calagem, foram aplicados 0,51 g dm<sup>-3</sup> de superfosfato simples (18% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 20% de CaO) e 0,28 g dm<sup>-3</sup> de cloreto de potássio (60% de K<sub>2</sub>O), respectivamente.

Os tratamentos contendo as aplicações do Agrosilício, óxido de cálcio e óxido de magnésio foram realizadas 20 dias antes do transplântio, enquanto a aplicação do ácido silícico foi realizada aos 30 dias após o transplântio e em intervalos de 30 dias.

As mudas foram transplântadas para os vasos, aos 30 dias, quando atingiram em média 4,5 cm de altura. Aos 30 e 60 dias após o transplântio, aplicou-se 1,5 g de ureia por vaso (45% de N).

A infestação das plantas por ácaro branco ocorreu de forma natural, iniciando aos 110 dias após a semeadura e, 10 dias após o aparecimento da infestação, procedeu-se a avaliação das plantas. Coletaram-se três folhas de plantas de cada tratamento, sendo uma no terço apical (segunda folha), terço mediano (quinta folha) e terço basal (décima folha). As folhas foram acondicionadas separadamente em sacolas plásticas e transportadas para análise no laboratório de entomologia da UENF. Em cada folha, foram determinados seis pontos de amostragem, com dimensão de 1 cm<sup>2</sup> (Figura 3), para observação e contagem do número de ovos e ninfas e adultos de *P. latus* foram utilizando microscópio estereoscópio. O número de ácaros total da folha foi o somatório dos seis pontos amostrados.

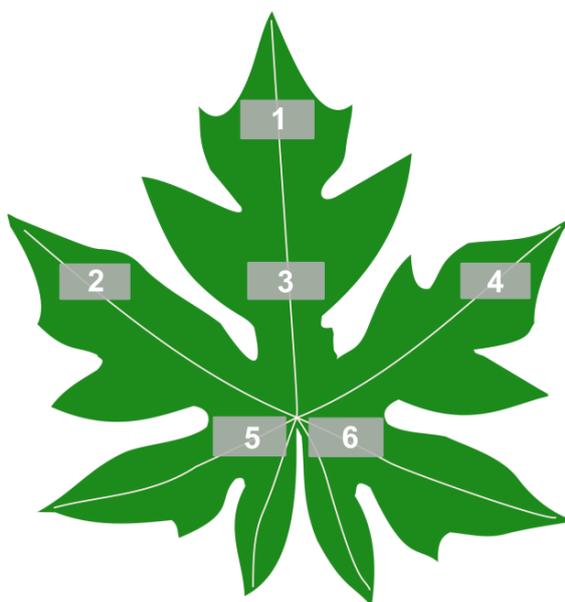


Figura 3. Pontos de amostragem de ovos, ninfas de adultos de *P. latus* nas folhas de mamão

Os dados referentes a números de ácaros brancos, previamente transformados em  $(x + 0,5)^{1/2}$ , foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo Teste de Tukey (5% de probabilidade), utilizando-se o programa SANEST.

## RESULTADO E DISCUSSÃO

Os diferentes tratamentos utilizados influenciaram no número de ácaros brancos (ninfas e adultos) e no total (ovos, ninfas e adultos). Os fatores tratamentos e partes da planta proporcionaram interação significativa para as mesmas variáveis mencionadas anteriormente (Tabela 3).

Tabela 3. Análise de variância para o número de ácaros brancos (ninfas e adultos), ovos e o total (ovos, ninfas e adultos do ácaro branco) em três partes de plantas de mamoeiro (apical, mediana e basal) sob diferentes tratamentos aos 120 dias após a semeadura

F.V.	GL	Quadrados Médios		
		Número		
		Ácaro Branco (AB)	Ovos (OV)	Total (AB+ OV)
Bloco	3	0,3116 <sup>ns</sup>	0,2115 <sup>ns</sup>	0,5475 <sup>ns</sup>
Parte da planta	2	0,9922 <sup>ns</sup>	0,1846 <sup>ns</sup>	0,8791 <sup>ns</sup>
Tratamento	7	2,5394*	0,9750 <sup>ns</sup>	3,9243*
Parte x Trat.	14	1,9394*	0,9031 <sup>ns</sup>	2,8654*
Resíduo	69	0,7997	0,6160	1,2348
Total	95			
Média		1,39	1,40	1,87
CV (%)		64,13	56,13	59,38

<sup>ns</sup> não significativo; \*significativo em 5% de probabilidade pelo teste F

Aos 10 dias após a infestação natural, as maiores médias para número de adultos e ninfas *P. latus* foram registradas nos tratamentos testemunha e com Agrosilício Plus, as médias variaram de 10,9 a 11,9, respectivamente, na porção apical. Pode-se inferir em relação ao controle, que este não recebeu suplementação de silício e de outros elementos já mencionados na literatura como indutores de resistência em plantas ao ataque de pragas e doenças. Em relação ao Agrosilício, este é dotado em sua formulação de inúmeros nutrientes, sendo destacado pelo fabricante apenas os de maiores concentrações (cálcio, silício e magnésio), que totalizam 41,5% do produto. Logo, a presença de outros nutrientes

pode estar interferindo na disponibilidade ou absorção do Si pelas plantas ou pode estar ocorrendo à precipitação dos elementos listados (Tabela 4).

Com relação ao número total de ovos de *P. latus*, diferenças significativas não foram observadas entre os tratamentos, embora bem expressivo o número nos tratamentos testemunha e da fonte comercial de silício (Tabela 4).

Tabela 4. Ácaro Branco (AB) e Ovos (OV) localizados na porção apical (AP.), mediana (MED.) e basal (BS.) em plantas de mamoeiro sob diferentes tratamentos avaliados aos 120 dias após a semeadura

Trat.	Ácaro Branco (AB)			Ovos (OV)				
	AP.	MED.	BS.	Média	AP.	MED.	BS.	Média
T1	10,868 Aa	0,771 Ba	3,228 Ba	4,094	4,010	1,422	3,532	2,883 a
T2	11,875 Aa	0,980 Ba	0,771 Ba	3,318	9,150	1,422	0,433	2,811 a
T3	0,120 Ab	0,120 Aa	1,212 Aa	0,465	0,433	0,613	0,903	0,642 a
T4	0,980 Ab	1,122 Aa	3,012 Aa	1,616	0,903	1,312	0,903	1,033 a
T5	0,613 Ab	1,312 Aa	2,489 Aa	1,395	1,312	1,422	1,965	1,557 a
T6	0,200 Ab	0,916 Aa	0,357 Aa	0,468	0,613	0,903	1,421	0,961 a
T7	0,433 Ab	2,093 Aa	1,947 Aa	1,405	0,809	1,772	1,161	1,225 a
T8	0,000 Ab	0,700 Aa	0,200 Aa	0,274	0,357	1,484	1,628	1,098 a
Médi	1,94	0,97	1,48		1,70A	1,28A	1,41	
a							A	
CV %		64,13				56,13		

Letras maiúsculas distintas na linha indicam diferenças estatísticas entre os terços da planta (Apical, Mediano e Basal) e letras minúsculas distintas na coluna indicam diferenças estatísticas dentro da mesma parte da planta pelo teste de Tukey ( $\alpha = 0,05$ ). Obs: T1 = testemunha, T2 = Agrosilício Plus, T3 = Ácido silícico puro (ASP), T4 = ASP + óxido de cálcio (CaO), T5 = ASP + óxido de magnésio (MgO), T6 = ASP + CaO + MgO, T7 = CaO e T8 = MgO

Conforme dados apresentados na Tabela 4, verifica-se maior preferência dos ácaros pela folha localizada no ápice, quando as plantas foram tratadas com o fertilizante silicatado comercial e no tratamento controle. Esse comportamento ocorre em razão da facilidade de penetração do aparelho bucal do ácaro em tecidos mais tenros (Moraes, 2014). Todavia, nos demais tratamentos, apesar de não diferirem estatisticamente, ocorre uma inversão na concentração da praga de acordo com a parte da planta, que migraram para a porção mais baixa. Possivelmente, isso se deve ao fato da indução de resistência promovida pelo silício e a perda parcial ou total dessa resistência com a senescência da planta.

A adição de silício, cálcio, magnésio e a associação desses elementos ao solo reduziu o ataque no controle de ácaro branco no mamoeiro havaí (Tabela 4).

O elemento silício confere às plantas uma proteção mecânica decorrente da deposição e polimerização do ácido silícico nas células epidérmicas, abaixo da

cutícula, que, por sua vez, forma uma dupla camada sílica-celulose, dificultando a penetração de estiletes e a mastigação e ingestão dos tecidos das plantas, em função do enrijecimento da parede celular do vegetal. Além de influenciar respostas bioquímicas da planta, aumentando a atividade de enzimas relacionadas à defesa, fitoalexinas, cumarinas, flavonoides, lignina e taninos condensados, interferindo na distribuição de toxinas do patógeno para o vegetal e de nutrientes da planta para o patógeno (Malavolta, 1997; Zsoldos et al., 2003; Ma e Yamaji, 2006; Marafon e Endres, 2011; Freitas, 2015).

Os efeitos do silício no controle de pragas listados são: redução da fertilidade de fêmeas e exúvias de ácaro-rajado em mamoeiro, após 30 dias de infestação, possivelmente, devido às alterações nas características químicas, afetando o comportamento alimentar e a biologia das pragas (Catalani, 2015), a redução na produção de ovos também foi obtida no experimento de Silveira et al., (2018); diminuição de injúrias de dois importantes desfolhadores, *Diabrotica speciosa* e *Liriomyza* spp., em batateira (Gomes et al., 2009); diminuição da área foliar atacada por lagartas, em soja (Zelin et al., 2011); redução da preferência alimentar e aumento do período de desenvolvimento das lagartas *Spodoptera frugiperda* (Rodrigues et al., 2018); aumento da ocorrência do predador *Dorus* spp., ocasionando redução no número de lagartas, em milho (Antunes et al., 2010).

Assim como observado neste estudo, Silva et al. (2009), avaliando a influência da aplicação de cálcio em solução nutritiva sobre o ataque de broca em mudas de mogno causada por *Hypsipyla grandella*, encontraram variações na resistência da planta em função das doses de cálcio, sendo que o maior número de plantas lesionadas foi verificado nos tratamentos sem adição e com 80 mg de Ca por L. Contudo, na literatura são listados benefícios atribuídos ao elemento cálcio quanto à resistência das plantas a doenças. Os autores Gomes et al. (2005) e Nascimento et al. (2017) relacionam a redução dos danos ocasionados às plantas, a inibição da atividade da poligalacturonase, enzima pectolítica produzida pelos patógenos. O cálcio age modificando essa pectina hidrossolúvel em polipectado insolúvel, sendo este mais resistente à ação das enzimas. Por fim, o cálcio pode tornar o tecido vegetal menos digerível aos predadores.

O magnésio é essencial para os vegetais, constituindo o átomo central da clorofila, com papel específico na ativação de enzimas envolvidas na fotossíntese. Além disto, o nutriente magnésio influencia na formação de proteínas, açúcares e

vitaminas vegetais. Este elemento age positivamente no engrossamento das paredes e permeabilidade das membranas celulares, o que pode estar relacionado ao aumento da resistência dos vegetais a fatores abióticos e bióticos, como seca e doenças, respectivamente (Gubert e Delai, 2011; Taiz e Zeiger, 2017).

Foram encontradas diferenças significativas entre tratamentos e controle para a soma envolvendo os números de adultos e ovos de *P. latus* (Tabela 5). O resultado foi similar ao encontrado para o número de ácaro branco. A maior expressividade ocorreu nos tratamentos com Agrosilício e controle.

Notadamente verifica-se a redução da ocorrência de ácaros brancos nos tratamentos compostos por silício, óxido de magnésio, óxido de cálcio e associações do silício com estes elementos (Tabela 5).

Tabela 5. Número total de ácaro Branco (AB) e Ovos (OV) (AB + OV) localizados na porção apical (AP.), mediana (MED.) e basal (BS.) em plantas de mamoeiro sob diferentes tratamentos avaliados aos 120 dias após a semeadura

Trat.	Total (AB+ OV)			Média
	AP.	INT.	BS.	
T1	15,777 Aa	2,413 Ba	7,596 ABa	7,692
T2	20,683 Aa	2,640 Ba	1,136 Ba	6,009
T3	0,613 Ab	0,903 Aa	1,996 Aa	1,121
T4	1,965 Ab	2,734 Aa	4,119 Aa	2,883
T5	1,862 Ab	2,763 Aa	4,563 Aa	2,976
T6	0,809 Ab	1,797 Aa	1,896 Aa	1,467
T7	1,312 Ab	4,190 Aa	3,289 Aa	2,810
T8	0,357 Ab	2,144 Aa	1,814 Aa	1,343
Média	3,608	2,379	3,071	
CV (%)		59,38		

Letras maiúsculas distintas na linha indicam diferenças estatísticas entre os terços da planta (Apical, Mediano e Basal) e letras minúsculas distintas na coluna indicam diferenças estatísticas dentro da mesma parte da planta pelo teste de Tukey ( $\alpha = 0,05$ ). Obs: T1 = testemunha, T2 = Agrosilício Plus, T3 = Ácido silícico puro (ASP), T4 = ASP + óxido de cálcio (CaO), T5 = ASP + óxido de magnésio (MgO), T6 = ASP + CaO + MgO, T7 = CaO e T8 = MgO

## CONCLUSÕES

- Os tratamentos compostos com silício, cálcio, magnésio e a associação destes proporciona proteção às plantas de mamão, reduzindo o número de ácaros e o somatório envolvendo as ninfas, adultos e ovos;

- A preferência do *P. latus* nos tratamentos mais fortemente atacados (Controle e Agrosilício) foi pela porção apical da folha do mamoeiro, porém, nos demais tratamentos, não há diferença quanto à porção da planta avaliada.

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- Antunes, C.S.; Moraes, J.C.; Antônio, A.; Silva, V.F. (2010) Influência da aplicação de silício na ocorrência de lagartas (Lepidoptera) e de seus inimigos naturais-chaves em milho (*Zea mays* L.) e em girassol (*Helianthus annuus* L.). *Biosci. J.*, 26 (4):619-625.
- Aubert, B., P. Lossois, J. Marchal, J. (1981) Mise en évidence des dégâts causés par *Polyphagotarsonemus latus* (Banks) sur papayer à l'île de la Réunion. *Fruits*, 36:9-24.
- Catalani, G.C. (2015) *Efeito do silicato de potássio em plantas de mamoeiro sobre a infestação do ácaro-rajado, Tetranychus urticae* Koch. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) – Ilha Solteira – SP, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia – UNESP, 74p.
- Celanti, H.F. (2015) *Tamanho de parcela em experimentos com mudas de mamoeiro em tubetes*. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) – São Mateus – ES, Universidade Federal do Espírito Santo, 69p.
- Dantas, J.L.L.; Dantas, A.C.V.L.; Lima, J.F. Mamoeiro. In: Bruckner, C.H. (2002) (Ed.) *Melhoramento de fruteiras tropicais*. Viçosa: Editora UFV, p.309-349.
- FAO (2019). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC> em 10/01/19.
- Freitas, L.B. (2015) *Interação silício e alumínio em plantas de arroz de Terras Altas e mamona*. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura) – Botucatu – SP, Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP, 151p.
- Gomes, F.B.; Moraes, J.C.; Neri, D.K.P. (2009) Adubação com silício como fator de resistência a insetos-praga e promotor de produtividade em cultura de batata inglesa em sistema orgânico. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, 33 (1):18-23.
- Gomes, A.M.A.; Silveira, E.B.; Mariano, R.L.R. (2005) Tratamento pós-colheita com cálcio e microrganismos para controle da podridão-mole em tomate. *Horticultura Brasileira*, Brasília, 23 (1): 108-111.

- Gubert, D.W.; Delai, R.M. (2011) Efeitos provocados pela aplicação de óxido de ferro, óxido de silício e óxido de magnésio em plantas de milho jovens. *Revista Thêma et Scientia*, 1 (2): 164-171.
- IBGE (2019). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Brasília, DF. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br>> em 06/01/19.
- Ma, J.F.; Yamji, N. (2006) Silicon uptake and accumulation in higher plants. *Trends in Plant Science*, 11 (8): 392–397.
- Malavolta, E.; Vitti, G.C.; Oliveira, S.A. (1997) *Avaliação do estado nutricional de plantas: princípio e aplicações*. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 315 p.
- Marafon, A.C.; Endres, L. (2011) *Adução silicatada em cana-de-açúcar*. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, p.46 (Documentos 307).
- Menezes, A.S.; Moreira, F.J.C.; Souza, M.C.M.R.; Silva, M.C.B. (2013) Efeito do substrato no processo de germinação em duas variedades de mamão. *Revista Agrogeoambiental*, Pouso Alegre, 5 (3): 37-44.
- Moraes G.J.; Flechtmann, C.H.W. (2008) *Manual de acarologia – Acarologia básica e ácaros de plantas cultivadas no Brasil*. Ribeirão Preto: Ed. Holos, 308p.
- Moraes, J.G.L.; Silva, J.F.; Cordeiro, I.M.; Bleicher, E. (2014) Ocorrência e distribuição vertical de ácaro-vermelho em algodoeiro herbáceo. *Revista Agro@mbiente on-line-line*, 8 (3):387-391.
- Nascimento, A.D.; Feijó, F.M.; Albuquerque, A.W.; Assunção, I.P.; Lima, G.S.A.; Reis, L.S. (2017) Severidade da antracnose do feijão-fava afetada por doses de cálcio e fontes de silício. *Ciência Agrícola*, Rio Largo, 15 (2): 61-68.
- Ramos, N.F.; Nascimento, A.K.Q.; Gonçalves, M.F.B.; Lima, J.A. (2008) Presença dos vírus da mancha anelar e do amarelo letal em frutos de mamoeiro comercializados. *Tropical Plant Pathology*, 33 (6): 449-452.
- Rodrigues, J.H.V.; Angelini, M.R.; Oliveira, R.S.; Queiroz, A.A. (2018) Efeito de doses de silício na resistência do feijoeiro a *Spodoptera frugiperda*. *Revista de Agricultura Neotropical*, Cassilândia-MS, 5 (4):13-19.
- Silva, C.A. (2013) *Divergência genética entre acessos de mamoeiros e correlações entre suas características no Norte do Espírito Santo*. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) – São Mateus – ES, Universidade Federal do Espírito Santo, 78p.

- Silva, S.A.S.; Santos, M.M.L.S.; Silva, G.R.; Silva Júnior, M.L.; Ohashi, O.S.; Ruivo, M.L.P. (2009) Efeito do cálcio no controle da *Hypsipila grandella* em mudas de mogno cultivadas em hidroponia. *Acta Amazonica*, 39 (2):273-278.
- SECEX (2019). Secretaria de Comércio Exterior. Brasília, DF. Disponível em <http://www.comexbrasil.gov.br/conteudo/ver/chave/secex/menu/211> em 10/01/19.
- Silveira, L.F.V.; Pratissoli, D.; Santos, P.C.; Carvalho, A.J.C.; Freitas, M.S.M.; Massini, L.S. (2018) *Comportamento de Tetranychus urticae Koch em folhas de mamoeiro tratadas com silicato de potássio*. I Congresso Luso-Brasileiro de Horticultura, p.80-85.
- Taiz L.; Zeiger E. (2013) *Fisiologia Vegetal*. Editora: Artmed – 5ª Ed. – Porta Alegre - RS, 918p.
- Vieira, M.R. (2006) Efeito acaricida de extratos vegetais sobre fêmeas de *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae). *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, 8 (4):210-217.
- Zelin, E.; Bussolaro, I.; Simonetti, A.P.M.M. (2011) Aplicação de silício no controle de lagartas e produtividade da cultura da soja. *Cascavel*, 4 (1): 171-180.
- Zsoldos, F.; Vashegyi, A.; Pecsvaradi, A.; Bona, L. (2003) Influence of silicon on aluminium toxicity in common and durum wheats. *Agronomie*, EDP Sciences, Paris, 23 (4): 349–354.

## RESUMO E CONCLUSÕES

Foi conduzido um experimento em casa de vegetação no campus da UENF, com maracujazeiro azedo e mamoeiro do grupo solo variedade Sunrise Solo, objetivando avaliar o padrão do crescimento vegetativo, distribuição do sistema radicular e caracterização fisiológica e realizar o estudo da absorção e translocação de silício de mudas de maracujazeiro azedo submetidas ao fornecimento de fontes de silício além de avaliar a aplicação de fontes de silício na ocorrência e distribuição vertical do ácaro branco *Polyphagotarsonemus latus*, em plantas de mamão.

Os tratamentos utilizados foram: testemunha; Agrosilício Plus® (9,52 g dm<sup>-3</sup>); ácido silícico puro (2,14 g dm<sup>-3</sup>); ácido silícico puro (2,14 g dm<sup>-3</sup>) + óxido de cálcio (3,34 g dm<sup>-3</sup>); ácido silícico puro (2,14 g dm<sup>-3</sup>) + óxido de magnésio (0,96 g dm<sup>-3</sup>); ácido silícico puro (2,14 g dm<sup>-3</sup>) + óxido de cálcio (3,34 g dm<sup>-3</sup>) + óxido de magnésio (0,96 g dm<sup>-3</sup>); óxido de cálcio (3,34 g dm<sup>-3</sup>); óxido de magnésio (0,96 g dm<sup>-3</sup>). Estes seis últimos tratamentos foram elaborados de acordo com a composição nutricional do fertilizante silicatado (Agrosilício Plus®).

O delineamento experimental foi de blocos casualizados, com quatro repetições. A unidade experimental foi composta por dois vasos contendo duas plantas

Os resultados obtidos foram comparados pelo teste de tukey a 5% de probabilidade. As principais conclusões foram:

- A aplicação de diferentes fontes de silício promove modificações na parte aérea do maracujazeiro amarelo;
- Mudanças de *Passiflora edulis* adubadas com ácido silícico puro apresentaram aumento na biomassa radicular;
- A suplementação com ácido silícico puro e magnésio contribuiu para o aumento do volume radicular de *Passiflora edulis*;
- A distribuição radicular de *Passiflora edulis* é alterada pelo emprego de diferentes fontes de silício;
- A adubação com ácido silícico puro não provoca alterações em variáveis fisiológicas de *Passiflora edulis*;
- O maracujazeiro azedo absorve mais silício advindo do ácido silícico puro, sendo que a maior concentração deste silício permanece nas raízes de *Passiflora edulis*;
- Os tratamentos compostos com silício, cálcio, magnésio e a associação destes proporcionam proteção às plantas de mamão reduzindo o número de adultos e o somatório envolvendo os adultos, ninfas e ovos do ácaro branco;
- A preferência do *P. latus* nos tratamentos mais fortemente atacados (Controle e Agrosilício) foi pela porção apical da folha do mamoeiro, porém, nos demais tratamentos, não houve diferença estatística quanto à porção da planta avaliada.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alarcón, A.L.; Justribó, X.; González, L.M. (2006) – Bases prácticas para optimizar a asimilación Del calcio. *Fruticultura Profesional*, 161:49-60.
- Almeida, E.V; Natale, W; Prado, R.M; Barbosa, J.C. (2006) Adubação nitrogenada e potássica no desenvolvimento de mudas de maracujazeiro. *Ciência Rural*, Santa Maria, 36 (4):1138-1142.
- Almeida, U.O.; Andrade Neto, R.C.; Lunz, A.M.P.; Gomes, R.R.; Mesquita, A.P.M.; Gonçalves, L.V.M.; Barbosa, A.A.G. (2014) Características de crescimento de abacaxizeiro em função da adubação fosfatada em sistema irrigado. *Anais da Reunião de ciência do solo da Amazônia Ocidental*, Porto Velho: SBCS, p.162-166.
- Andrade, P.F.S. (2017) *Relatório Fruticultura: análise da conjuntura agropecuária*. Secretaria da Agricultura e do Abastecimento (SEAB/DERAL) - Paraná - PR, 9p. Disponível em:  
[http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/Prognosticos/2017/Fruticultura\\_2016\\_17.pdf](http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/Prognosticos/2017/Fruticultura_2016_17.pdf). em 10/01/18.
- Araujo, A.C.; Araújo, A.C.; Dantas, M.K.L.; Pereira, W.E.; Aloufa, M.A.I. (2013) Utilização de substratos orgânicos na produção de mudas de mamoeiro Formosa. *Revista Brasileira de Agroecologia*, 8 (1): 210-216.
- Araújo, E.O.; Silva, M.A.C. (2012) Interação boro e zinco no crescimento, desenvolvimento e nutrição do algodoeiro. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 7:720-727.

- Aular, J.; Casares, M.; Natale, W. (2014) Nutrição mineral e qualidade do fruto do abacaxizeiro e do maracujazeiro. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal - SP, 36 (4): 1046-1054.
- Badillo, V.M. (1971) *Monografía de la familia Caricaceae*. Maracay -Venezuela: Editorial Nuestra América C.A., 221p.
- Barbosa, T.J.A. (2011) *Efeito da aplicação de silicato de cálcio e magnésio no desenvolvimento biológico de Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) (Lepdoptera: Noctuidae) em milho (*Zea mays*) (Poaceae). Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal e Proteção de Plantas) – Rio Largo, Universidade Federal de Alagoas, 66p.
- Barbosa Filho, M.P.; Snyder, G.H.; Fagerua, N.K.; Datnoff, L.E.; Silva, O.F. (2001) Silicato de cálcio como fonte de silício para o arroz de sequeiro. *Bras. Ci. Solo*, 25:325-330.
- Baumgartner, J.G. (1980) Nutrição e adubação do maracujazeiro. In Ruggiero, C. (ed.) *Cultura do maracujazeiro*. FCAV – Jaboticabal – SP, p. 65-75.
- Bernacci, L.C. (2003) Passifloraceae. In: wanderley, M.G.L.; Shepherd, G.J.; Giulietti, A.M.; Melhem, T.S. (Ed.). *Flora fanerogâmica do Estado de São Paulo*, FAPESP - São Paulo - SP: RiMa, 3:247-248.
- Bernacci, L. C.; Cervi, A. C.; Milward-de-Azevedo, M.A.; Nunes, T. S.; Imig, D. C; Mezzonato, A. C. (2015). Passifloraceae in Lista de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em <http://www.floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB182> em 15/01/18.
- Borges AL; Lima AA (2009) Maracujazeiro In Crisostomo L.A.; Naumov A (ed.) *Fruteiras tropicais do Brasil: adubando para alta produtividade e qualidade*. *Embrapa Agroindústria Tropical*, Fortaleza, p. 166-181.
- Bruckner, C.H.; Picanço, M.C. (2001) *Maracujá: tecnologia de produção, pós-colheita, agroindústria, mercado*. Cinco Continentes – Porto Alegre – RS, 472p.
- Caetano, L.C.S.; Ventura, J.A.; Costa, A. de F.S. da; Guarçoni, R.C. (2013) Efeito da adubação com nitrogênio, fósforo e potássio no desenvolvimento, na produção na qualidade de frutos do abacaxi 'vítória'. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 35 (3):883-890.
- Campostrini, E.; Lima, H.; de Oliveira, J.; Monnerat, P.; Marinho, C. (2005) Teores de Ca e variáveis meteorológicas: relações com a incidência da mancha fisiológica do mamão no norte Fluminense. *Bragantia*, Campinas, 64 (4): 601-613.

- Carvalho, A.J.C. de; Martins, D.P.; Monnerat, P.H.; Bernardo, S. (2000) Adubação nitrogenada e irrigação no maracujazeiro-azedo. I. produtividade e qualidade dos frutos. *Pesquisa agropecuária brasileira* – Brasília – DF, 35 (6):1101-1108).
- Carvalho, E.M.L. (2015) *Novos genótipos de mamoeiro com adaptação ao recôncavo e extremo Sul Baiano*. Dissertação (Mestrado em Recursos Genéticos Vegetais) – Cruz das Almas – BA, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia e Embrapa Mandioca e Fruticultura, 116p.
- Caten, A. (2013) *Efeito de silicato e tensões de água no solo no crescimento do maracujazeiro azedo*. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 119p.
- Cavalcante, R.D. (2013) *Sensibilidade de isolados de Lasiodiplodia theobromae de mamoeiros do Nordeste Brasileiro a tiofanato metílico*. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) – Recife – PE, Universidade Federal Rural de Pernambuco, 53p.
- Celanti, H.F. (2015) *Tamanho de parcela em experimentos com mudas de mamoeiro em tubetes*. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) – São Mateus – ES, Universidade Federal do Espírito Santo, 69p.
- CEPEA (2018). Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. Disponível em <<http://www.cepea.esalq.usp.br>>. em 04/02/18.
- CNA Brasil (2018). Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil. Disponível em: <http://www.cnabrazil.org.br/>. em 06/02/18.
- Coelho, E.F.; Oliveira, F. das C.; Araújo, E.C.E.; Vasconcelos, L.F.L. (2002) Distribuição de raízes de laranja 'Pêra' sob sequeiro e irrigação por microaspersão em solo arenoso. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 37 (5): 603-611.
- Coelho, E.F.; Santos, M.R.; Coelho Filho, M, A. (2005) Distribuição de raízes de mamoeiro sob diferentes sistemas de irrigação localizada em Latossolo de Tabuleiros Costeiros. *Rev. Bras. Frutic.*, Jaboticabal - SP, 27(1):175-178.
- Coelho, E.F.; Santos, M.R.; Coelho Filho, M, A., Cruz, J.L.; Souza, L.F. da S. (2004) Fontes e frequências de aplicação de nitrogênio via água de irrigação no mamoeiro. Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical. Cruz das Almas - BA,4p. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/50972/1/comunicado-111-1.pdf>. em 25/02/18.

- Coelho, E.M.; Azêvedo, L.C.; Umsza-Guez, M. (2016) Fruto do maracujá: importância econômica e industrial, produção, subprodutos e prospecção tecnológica. *Cad. Prospec.* - Salvador - BA, 9 (3): 347-361.
- Coelho Filho, M.A.; Coelho, E.F. (2007) Desenvolvimento e produção do mamoeiro irrigado por diferentes sistemas de microirrigação. *Irriga*, Botucatu, 12 (4): 519-531.
- Coelho Filho, M.A.; Cruz, J.L.; Coelho, E.F.; Martins, T.S.; Marin, F.R. (2009) *Aptidão agroclimática do estado da Bahia para o cultivo do mamoeiro*. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia - Belo Horizonte - MG.
- Costa, A.F.S. (2003) Aspectos gerais do melhoramento do mamoeiro. In: Martins, D. dos S. (Ed.). *Papaya Brasil: Qualidade do mamão para o mercado interno* – Incaper – Vitória – ES, 714 p.
- Costa, A.F.S., Pacova, B.E.V. (2003) Caracterização de cultivares, estratégias e perspectivas do melhoramento genético do mamoeiro. In: Martins, D.S., Costa, A.F.S. (eds.) *A cultura do mamoeiro: tecnologias de produção*. Vitória: Incaper, p. 59-102.
- Costa, A.N.; Costa, A.F.S (2003) Nutrição e adubação. In: D. dos S. Martins, and A. de F.S. da Costa (ed.) *A cultura do mamoeiro: Tecnologias de produção*. Incaper. Vitória – ES, p.201-227.
- Costa, E. L. (2005) *Fertirrigação nitrogenada por gotejamento em cafezal e sua influência em características químicas do solo*. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Viçosa – MG, Universidade Federal de Viçosa, 84p.
- Costa, F.R. (2008) *Estudo das relações genômicas em espécies de Caricaceae com base em marcadores citomoleculares*. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 92p.
- Costa, R.R.; Moraes, J.C.; da Costa, R.R. (2009) Interação silício-imidacloprid no comportamento biológico e alimentar de *Schizaphis graminum* (Rond.) (Hemiptera: Aphididae) em plantas de trigo. *Ciênc. agrotec.*, Lavras, 33 (2):455-460.
- Couto, F. A. D.; Nacif, S. R. (1999) Hibridação em mamão. In: Borém. A. (org) *Hibridação artificial de plantas*. Viçosa - MG: UFV, p.307-329.

- Costa, A.F.S.; Costa, A.N.; Ventura, J.A.; Fanton, C.J.; Lima, I.M.; Caetano, L.C.S.; Sabtana, E.N. (2008) *Recomendações técnicas para o cultivo do maracujazeiro* – Incaper – Vitória - ES, 56 p. (Incaper. Documentos, 162).
- Dantas, J.L.L.; Dantas, A.C.V.L.; Lima, J.F. (2002) Mamoeiro. In: Bruckner, C.H. (Ed.) *Melhoramento de fruteiras tropicais*. Viçosa: Editora UFV, p.309-349.
- Dias, N.L.P.; Oliveira, E.J.; Dantas, J.L.L. (2011) Avaliação de genótipos de mamoeiro com uso de descritores agronômicos e estimação de parâmetros genéticos. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, 46 (11):1471-1479.
- Dos Anjos, D.C.; Hernandez, F.F.F.; Da Costa, J.M.C.; Caballero, S.S.U.; Moreira, V.O.G. (2015) Fertilidade do solo, crescimento e qualidade de frutos do mamoeiro Tainung sob fertirrigação com potássio. *Revista Ciência Agronômica*, 46 (4):774-785.
- Dutra, J.C.V. (2015) *Investigação das alterações da parede celular de mamoeiros (Carica papaya L.) infectados pelo Papaya meleira virus (PMeV)*. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) – Vitória – ES, Universidade Federal do Espírito Santo, 76p.
- El Moussaoui, A.; Nijs, M.; Paul, C.; Wintjens, R.; Vincentelli, J.; Azarkan, M.; Looze, Y. (2001) Revisiting the enzymes stores in the laticifers of *Carica papaya* in the contexto f their possible participation in the plant defense mechanism. *Cell Mol. Life Sci.*, 58:556-570.
- Epstein, E. (1999) *Silicon*. Annual review of plant physiology and plant molecular biology – Palo Alto, 50:641-664.
- Epstein, E.; Bloom, A.J. (2006) *Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas*. Editora: Planta – Londrina – PR, 404p.
- Fachinello, J.C.; Pasa, M.S.; Schmitz, J.D.; Betemps, D.L. (2012) A fruticultura brasileira: história e desafios. In Prado, R.de M. (ed.) *Nutrição de Plantas: diagnose foliar em frutíferas*. UNESP – Jaboticabal – SP, p. 11-33.
- Faleiro, F.G.; Junqueira, N.T.V.; Braga, M.F. (2005) *Maracujá: germoplasma e melhoramento genético*. Embrapa Cerrados – Planaltina – DF, 677p.
- Faleiro, F.G.; Junqueira, N.T.V.; Braga, M.F.; Oliveira, E.J.; Peixoto, J.R.; Costa, A.M. (2011) *Germoplasma e melhoramento genético do maracujazeiro: histórico e perspectivas*. Embrapa Cerrados (Documentos 307) – Planaltina – DF, 36p.

- Fante Jr, L.; Reichardt, K. (1994) Distribuição do sistema radicular do milho em Terra Roxa estruturada Latossólica: I. Comparação de metodologias. *Sci. Agric.*, Piracicaba, 51 (3):513-518.
- FAO (2018). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>. em 30/01/18.
- Faqui, V. (2005) *Nutrição Mineral de Plantas*. Especialização (Curso de Pós-Graduação “Lato Sensu” a Distância em Solos e Meio Ambiente). Lavras – MG, Universidade Federal de Lavras – UFLA, 186p.
- Ferraz, R.L.S.; Beltrão, N.E.M.; Melo, A.S.; Magalhães, I.D.; Fernandes, P.D.; Rocha, M.S. (2014) Trocas gasosas e eficiência Fotoquímica de cultivares de algodoeiro herbáceo sob aplicação de silício Foliar. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, 35 (2):735-748.
- Ferreira, H.A. (2009) *Silício no controle da mancha-aquosa em meloeiro (Cucumis melo L.)*. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) – Recife – PE, Universidade Federal Rural de Pernambuco, 82p.
- Ferreira, J.P. (2014) *Precisão experimental para a cultura do mamoeiro à campo*. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical), - São Mateus – ES, Universidade Federal do Espírito Santo, 50p.
- Fortaleza, J.; Peixoto, J.; Junqueira, N.; Oliveira, A.; Rangel, L. (2005) Características físicas e químicas em nove genótipos de maracujá- azedo cultivado sob três níveis de adubação potássica. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, 27 (1):124-127.
- Freitas, M.S.M. (2006) *Flavonóides e nutrientes minerais em folhas de maracujazeiro azedo e deficiência de macronutrientes e boro em maracujazeiro doce*. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 119p.
- Gazel Filho, A. B.; Nascimento, T. B. do. (1998) *Recomendações técnicas para o cultivo do maracujazeiro mamoeiro (Carica papaya) no Amapá*. EMBRAPA-CPAF – Macapá (Recomendações técnicas,1), (2):1-4.
- Giongo, V.; Bohnen, H. (2011) Relação entre alumínio e silício em genótipos de milho resistente e sensível a toxidez de alumínio. *Biosci. J.*, Uberlândia, 27 (3):348-356.
- Grant, C.A.; Flaten, D.N.; Tomasiwicz, D.J.; Sheppard, S.C. (2001) *A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta*. POTAFOS: Informações agrônômicas, (95):1-5.

- Greco, S.M.L. (2014) *Caracterização físico-química e molecular de genótipos de maracujazeiro azedo cultivados no Distrito Federal*. Tese (Doutorado em Agronomia/Produção Sustentável) – Brasília – DF, Universidade de Brasília/Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 163p.
- Guimarães, T.G.; Madeira, N.R. (2017) *Sistema Filho: fruticultura integrada com lavouras e hortaliças*. Embrapa Cerrados (Circular Téc. 34) – Planaltina -DF, 12p. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/160302/1/Cirtec-34.pdf>. em 25/02/18.
- Hansch, R.; Mendel, R.R. (2009) Physiological functions of mineral micronutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, Cl). *Current Opinion in Plant Biology*, 12 (3):259-266.
- Hernandes, A.; Natale, W.; Cazetta, J.O.; Rozane, D.E.; Souza, H.A.; Romualdo, L.M. (2010) Influência do manganês no crescimento e na composição mineral de mudas de caramboleira. *Rev. Bras. Frutic.*, 32 (4):1220-1230.
- Hodson, M.J.; White, P.J.; Mead, A.; Broadley, M.R. (2005) Phylogenetic variation in the silicon composition of plants. *Annals of botany*, London, 96:1027-1046.
- Huaman, C.A.M.Y.; Oliveira, E.A.D.; Approbato, A.U. (2012) Impacto do estresse abiótico na fisiologia, na nutrição mineral e no crescimento de plantas no contexto das mudanças climáticas. In Prado, R.de M. (ed.) *Nutrição de Plantas: diagnose foliar em frutíferas*. UNESP – Jaboticabal – SP, p. 75-94.
- IBGE (2018). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística: Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br>. em 06/02/18.
- Inforzato, R.; Carvalho, A.M. (1967) Estudo do sistema radicular do mamoeiro (*Carica papaya* L.) em solo podzolizado variação Marília. *Bragantia*, 26 (11): 155-159.
- Kist, B.B.; Santos, C.E.; Carvalho, C.; Treichet, M.; Filter, C.F. (2017) *Anuário Brasileiro de Fruticultura*. Editora Gazeta Santa Cruz LTDA - Santa Cruz do Sul – RS, 88p. Disponível em: <http://www.editoragazeta.com.br/>. Acesso em: 10/03/2018.
- Korndörfer, G. H.; Coelho, N. M.; Snyder, G. H.; Mizutani, C. T. (1999) Avaliação de métodos de extração de silício para solos cultivados com arroz de sequeiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, 23 (1):101-106.

- Lana, R.M.Q.; Korndorfer, G.H.; Zanão Júnior, L.A.; da Silva, A.F.; Lana, A.M.Q. (2003) Efeito do silicato de cálcio sobre a produtividade e acumulação de silício no tomateiro. *Biosci. J.*, Uberlândia, 19 (2):15-20.
- Leal-Costa, M.V., Munhoz, M.; Meissner Filho, P.E.; Reinert, F.; Tavares, E.S. (2010) Anatomia foliar de plantas transgênicas e não transgênicas de *Carica papaya* L. (Caricaceae). *Acta Bot. Bras.*, 24 (2):595-597.
- Leite, R.S.S.F.; Bliska, F.M.M., Garcia, A.E.B. (1994) Aspectos econômicos da produção e mercado. In: Teixeira, C.G. et al. *Maracujá: cultura, matéria-prima, processamento e aspectos econômicos*. ITAL – Campinas – SP, p. 197-267.
- Libardi, P.L.; Van Lier, Q.J. (1999) Atuação dos fatores físicos do solo no desenvolvimento do sistema radicular. *Anais do Workshop sobre desenvolvimento do sistema radicular: metodologias e estudo de casos*, Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, p.268-273.
- Lima, A.A.; Cunha, M.A.P. (2004) *Maracujá: produção e qualidade na passicultura*. Embrapa Mandioca e Fruticultura: Cruz das Almas – BA, 396p.
- Lima, R.V. (2010) *Crescimento de mudas, qualidade de frutos, de sementes e de cascas de passifloras em função de adubação mineral e orgânica*. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 134p.
- Lima, R.S.N. (2014) *Irrigação parcial do sistema radicular e déficit de irrigação regulado em mamoeiro (Carica papaya L.): capacidade fotossintética, crescimento e eficiência no uso da água*. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 145p.
- Lima Filho, O.F.; Lima, M.T.G.; Tsai, S.M. (1999) O silício na agricultura. *Informações Agrônomicas*, Piracicaba, (87):1-7.
- Lima Neto, A.J.; Natale, W. (2014) Teor, acúmulo e eficiências nutricionais de nutrientes em porta-enxertos de caramboleira em substrato adubado com zinco. *Agrária - Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 9 (2):236-243.
- Lucena, C.C. (2016) Polos de produção de mamão no Brasil. Embrapa Mandioca e Fruticultura – Cruz das Almas, BA, 47p.
- Luz, J.M.Q.; Guimarães, S.T.M.R.; Korndörfer, G.H. (2006) Produção hidropônica de alface em solução nutritiva com e sem silício. *Hortic. bras.*, 24 (3):295-300.

- Ma, J.F.; Mitani, N.; Nagao, S.; Konishi, S.; Tamai, K.; Iwashita, T.; Yano, M. (2004) Characterization of the silicon uptake system and molecular mapping of the silicon transporter gene in rice. *Plant Physiology*, Rockville, 136 (9):3284-3289.
- Macedo, C.M.P. (2012) *Avaliação de híbridos elites de mamão (Carica papaya L.) e seus cruzamentos recíprocos, quanto a qualidade fisiológica de sementes e o potencial agrônomo*. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 110p.
- Machado, T.G.M. (2013) *Contribuição das diatomáceas e substratos artificiais no desempenho dos camarões Litopenaeus vannamei cultivados em sistemas com bioflocos*. Tese (Doutorado em Aquicultura) – Rio Grande – RS, Universidade Federal do Rio Grande, 189p.
- Magalhães, A.C. (1988) Considerações sobre a fisiologia do sistema radicular: o caso das plantas cítricas. *Laranja*, Cordeirópolis, 2 (9):401-404.
- Malavolta, E. (1980) *Elementos de nutrição mineral de plantas*. Editora Agronômica CERES Ltda. São Paulo – SP, 251p.
- Malavolta, E. (1986) *Micronutrientes na adubação*. Paulínia: Nutriplant, 70p.
- Malavolta, E. (1989) *ABC da adubação*. Editora Agronômica CERES Ltda – 5ª ed. São Paulo – SP, 292p.
- Malavolta, E. (1994) *Nutrición y fertilización del maracuya*. INPOFOS – Quito- ECU, 53p.
- Malavolta, E. (2006) *Manual de nutrição mineral de plantas*. Agronômica Ceres - São Paulo- SP, 638p.
- Malavolta, E.; Pimentel-Gomes, F.; Alcarde, J.C. (2002) *Adubos e adubações*. Editora: Nobel, São Paulo – SP, 200p.
- Malavolta, E.; Vitti, G.C.; Oliveira, S.A. de. (1989) *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. Piracicaba: POTAFOS, 201p.
- Manica, I. (1981) *Fruticultura tropical: Maracujá*. Editora Agronômica Ceres – São Paulo – SP, 160p.
- Manica, I. (1982) *Fruticultura tropical: Mamão*. Editora Agronômica Ceres – São Paulo – SP, 276p.

- Manica, I. e Oliveira Jr., M.E. (2005) Maracujá no Brasil. In: Manica, I., Brancher, A., Sanzonowics, C., Icuma, I.M., Aguiar, J.L.P., Azevedo, J.A., Vasconcellos, M.A.S., Junqueira, N.T.V. *Maracujá-doce: tecnologia de produção, pós-colheita, mercado*. Cinco Continentes: Porto Alegre, p.11-26.
- Marafon, A.C.; Endres, L. (2011) *Adubação silicatada em cana-de-açúcar*. Embrapa Tabuleiros Costeiros (Documentos 307) – Aracaju - SE, 46p.
- Marin, S.L.D (2004) *Mamão Papaya: produção, pós-colheita e mercado*. Instituto Frutal – Fortaleza – CE, 82p.
- Marin, S.L.D.; Gomes, J.A.; Salgado, J.S.; Martins, D.S.; Fullin, E.A. (1995) *Recomendações para a cultura do mamoeiro dos grupos Solo e Formosa no Estado do Espírito Santo*. 4.ed. EMCAPA – Vitória - ES. 57p.
- Marinho, A. B.; Bernardo, S.; Sousa, E.F.; Daher, R.F.; Carvalho, C.M.; Meireles, R.C. (2010) Produtividade e qualidade do fruto do mamoeiro híbrido UENF/Caliman01 sob diferentes lâminas de irrigação e doses de potássio. *Agropecuária Técnica*, 31 (2):22–28.
- Martins, C.M. (2009) *Crescimento, nutrientes e teor de vitexina em passifloráceas em função de fontes de adubação nitrogenada*. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 100p.
- Mauad, M. (2001) *Produção de plantas de arroz de sob a ação de silício e nitrogênio*. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura) – Botucatu – SP, Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP, 87p.
- Medina, J.C. (1980) Cultura. In: Medina, J.C. et al. *Maracujá: da cultura ao processamento e comercialização*. ITAL – Campinas – SP, p. 5-105.
- Meletti, L.M.M. e Maia, M.L. (1999) *Maracujá: produção e comercialização*. Instituto Agrônomo (IAC) – Campinas – SP, 64p. (Boletim técnico, 181).
- Mendes, L.S.; Souza, C.H.E.; Machado, V.J. (2011) *Adubação com silício: influência sobre o solo, planta, pragas e patógenos*. *Cerrado Agrociências* – UNIPAM - Patos de Minas - MG, (2):51-63. Disponível em: [http://revistaagrociencias.unipam.edu.br/documents/57126/58774/adubacao\\_com\\_silicio\\_artigo.pdf](http://revistaagrociencias.unipam.edu.br/documents/57126/58774/adubacao_com_silicio_artigo.pdf).
- Mendonça, V.; Pedrosa, C.; Feldberg, N. P.; Abreu, N. A. A.; Brito, A. P. F.; Ramos, J. D. (2006) Doses de nitrogênio e superfosfato simples no crescimento de mudas de mamoeiro Formosa. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, 30 (6): 1065-1070.

- Menegale, M.L.C.; Castro, G.S.A.; Mancuso, M.A (2015) Silício: interação com o sistema solo-planta. *Journal of Agronomic Sciences*, Umuarama, 4:435-454.
- Menegazzo, M.L.; de Oliveira, A.C.; da Silva, E.A. (2011) Adubação nitrogenada na produção de mudas de mamoeiro. *Revista Agrarian*. Dourados, 4 (13):189-196.
- Mengarda, L.H.G.; Lopes, J.C.; Buffon, R.B. (2014) Emergência e vigor de mudas de genótipos de mamoeiro em função da irradiância. *Pesq. Agropec. Trop.*, Goiânia, 44 (3):325-333.
- Mesquita, E.F.; Cavalcante, L.F.; Gondim, S.C.; Campos, V.B.; Cavalcante, I.H.L.; Gondim, P.C. (2010) Teores foliares e exportação de nutrientes do mamoeiro Baixinho de Santa Amália tratado com biofertilizantes. *Pesq. Agropec. Trop.*, Goiânia, 40 (1): 66-76.
- Miyake, R.T.; Creste, J.E.; Narita, N.; Guerra, W.E.X. (2017) Substrato e adubação nitrogenada na produção de mudas de maracujazeiro azedo em condições protegidas. *Colloquium Agrariae*, 13 (1):57-65.
- Montes, R.M.; Montes, S.M.N.M.; Raga, A. (2015) *O uso do silício no manejo de pragas*. Instituto Biológico—APTA (Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios Instituto Biológico) – São Paulo, p.1-13. (Documento Téc. 017).
- Moura, R.P.de M. (2013) *Fontes e doses de fósforo na formação de mudas de mamoeiro (Carica papaya L.) em solos de Manaus*. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Manaus – AM, Universidade Federal do Amazonas, 62p.
- Nascimento, A. D. Feijó, F. M., Albuquerque, A. W., Assunção, I. P., de Andrade Lima, G. S., Reis, L. S. (2017) Severidade da antracnose do feijão-fava afetada por doses de cálcio e fontes de silício. *Revista Ciência Agrícola*, Rio Largo 2 (15):61-68.
- Nunes, T. S. (2002) *A família Passifloraceae no estado da Bahia*, Brasil. Dissertação (Mestrado em Botânica). Feira de Santana – BA - Universidade Estadual de Feira de Santana, 169p.
- Ocampo, A.M.L; Lozano, S.E.; Estrada, M.E.V.; Campbell, R.J. (1994) *Root distribution of Passiflora edulis var. flavicarpa* Proceedings of the Interamerican Society for Tropical Horticulture, Miami, 38:139-141.
- Oliveira, A.M.G. de; Coelho, E.F. (2009) Calagem e adubação para mamoeiro. In: Borges, A.L.; Souza, L. da S. (Ed.). *Recomendações de calagem e adubação para abacaxi, acerola, banana, laranja, tangerina, lima ácida, mamão,*

*mandioca, manga e maracujá*. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, p.108-125.

- Oliveira, A.M.G.; Souza, L.F.S.; Coelho, E.F. (2009) Mamoeiro In Crisostomo L.A.; Naumov, A. (ed.) *Fruteiras tropicais do Brasil: adubando para alta produtividade e qualidade*. Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, p. 146-165.
- Oliveira, L.F.C.; Vieira, D.B.; Souza, I.S. (1998) Estudo do sistema radicular da tangerina “Cleópatra” com copa de laranja “Pêra”. *Laranja*, Cordeirópolis, 19 (1):117-131.
- Oliveira, R.H.; Rosolem, C.A.; Trigueiro, R.M. (2004) Importância do fluxo de massa e difusão no suprimento de potássio ao algodoeiro como variável de água e potássio no solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 28:439-445.
- Oliveira, S.; Lemes, E.S.; Meneghello, G.E.; Tavares, L.C.; Barros, A.C.S.A. (2015) Aplicação de silício via solo no rendimento e na qualidade fisiológica de sementes de soja. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, 36 (5): 3029-3042.
- Peçanha, A.L. (2010) *Metabolismo fotossintético, crescimento e estado nutricional do mamoeiro (Carica papaya L.) em resposta à condutividade elétrica da solução de cultivo*. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 131p.
- Pires, M.M.; São José, A.R.; Conceição, A.O. (2011) *Maracujá: avanços tecnológicos e sustentabilidade*. Editora da UESC: Editus – Ilhéus – BA, 237p.
- Piza Júnior, C.T. (1993) *Cultura do maracujá*. Campinas: Secretaria da Agricultura e Abastecimento, 71p.
- Prado, R.M.; Fernandes, F.M.; Natale, W. (2001) *Uso agrícola da escória de siderurgia no Brasil: estudos na cultura da cana-de-açúcar*. Jaboticabal: FUNEP, 67p.
- Prado, R.M.; Natale, W. (2004) *Efeitos da aplicação da escória de siderurgia ferro-cromo no solo, no estado nutricional e na produção de matéria seca de mudas de maracujazeiro*. Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia em Resíduos e Desenvolvimento Sustentável. Costão do Santinho – SC, p.2158-2167.
- Pulz, A.L. (2007) *Estresse hídrico e adubação silicatada em batata (Solanum tuberosum L.) cv. Bintje*. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura) – Campus de Botucatu – SP, Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP, 68p.

- Ramos, N.F.; Nascimento, A.K.Q.; Gonçalves, M.F.B.; Lima, J.A. (2008) Presença dos vírus da mancha anelar e do azedo letal em frutos de mamoeiro comercializados. *Tropical Plant Pathology*. 33 (6):449-452.
- Raven, J.A. (2001) Silicon transport at the cell and tissue level. In: Datnoff, L.E. et al. (Ed.). *Silicon in agriculture*. The Netherlands: Elsevier Science, 403p.
- Reis, L.S.; Santos, L.A.; Furtado, M.B.; Sousa, V.M.; Mendes, B.C.; Carvalho, L.; Farias, M.F. (2014) *Adubação silicatada no desenvolvimento do sistema radicular da cultura da soja sob diferentes regimes hídricos*. VI Congresso sobre uso e manejo do solo. Recife – PE, p.17-20.
- Resh, H. M. (2004). *Hydroponic food production: a definitive guidebook for the advanced home gardener and the commercial hydroponic grower*. 6.ed. New Jersey, Mahwah, EUA: Newconcept press. 557p.
- Ribeiro, R.V.; da Silva, L.; Ramos, R.A.; de Andrade, C.A.; Zambrosi, F.C.B.; Pereira, S.P. (2011) O alto teor de silício no solo inibe o crescimento radicular de cafeeiros sem afetar as trocas gasosas foliares. *R. Bras. Ci. Solo*, 35:939-948.
- Rizzi, L.C.; Rabello, L.R.; Filho, W.M.; Savazaki, E.T.; Kavati, R. (1998) *Cultura do Maracujá Azedo*. CATI – Campinas – SP, 54p.
- Rodolfo Júnior, F.; Torres, L.B.V.; Campos, V.B.; Lima, A.R.; Oliveira, A.D.; Mendonça, J.K. (2007) Caracterização físico-química de frutos de mamoeiro comercializados na empresa de Campina Grande-PB. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, Campina Grande, 9 (1): 53-58.
- Rodrigues, A.C.; Cavalcante, L.F.; Oliveira, A.P.; Sousa, J.T.; Mesquita, F.O. (2009) Produção e nutrição mineral do maracujazeiro-azedo em solo com biofertilizante supermagro e potássio. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* – Campina Grande – PB, 13 (2):117-124.
- Rodrigues, H. C. de A.; Cazetta, J. O.; Origuela, J. R.; Souza, H. A. de (2011) Fontes e doses de adubo nitrogenado na avaliação do estado nutricional em mamão. *Anais do Congresso Brasileiro de Ciência do Solo*, 33 - Solos nos biomas brasileiros: sustentabilidade e mudanças climáticas, Uberlândia - MG, 3p.
- Rossi, F.S. (2015) *Caracterização de genótipos de mamoeiro (Carica papaya L.) tratados com solução de colchicina visando a identificação de autotetraploides*. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Campos dos Goytacazes – RJ - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 57p.

- Ruggiero, C. (1980) *Cultura do Maracujazeiro*. FCAV – Jaboticabal –SP, 147p.
- Ruggiero, C. (1988) *Mamão*. FCAV/UNESP – Jaboticabal –SP, 428p.
- Ruiz, H.A.; Miranda, J.; Conceição, J.C.S. (1999) Contribuição dos mecanismos de fluxo de massa e de difusão para o suprimento de K, Ca e Mg a plantas de arroz. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:1015-1018.
- Salvador, J.O.; Moreira, A.; Malavolta, E.; Cabral, C.P. (2003) Influência do boro e do manganês no crescimento e na composição mineral de mudas de goiabeira. *Ciênc. agrotec.*, Lavras. 27 (2):325-331.
- Santos, G.P.; Lima Neto, A.J.; Cavalcante, L.F.; Cavalcante, I.H.L.; Souto, A.G.L. (2014) Crescimento e produção do maracujazeiro azedo, sob diferentes fontes e doses de fósforo em cobertura. *Biosci. J.*, Uberlândia, 30 (2):525-533.
- São José, A.R. (1994) *Maracujá: produção e mercado*. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – UESB –Vitória da Conquista – BA, 255p.
- Saraiva, K.R.; Nascimento, R.S.; Sales, F. A. L.; Araújo, H.F.; Fernandes, C.N.V.; Lima, A.D. (2011) Produção de mudas de mamoeiro sob doses de adubação fosfatada utilizando como fonte superfosfato simples. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, 5 (4):376 – 383.
- Secex (2018). Secretaria de Comércio Exterior. Disponível em: <http://www.comexbrasil.gov.br/conteudo/ver/chave/secex/menu/211>. em 20/01/18.
- Silva, A.P.P. (2006) *Desenvolvimento de mudas de maracujazeiro azedo em tubetes*. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) – Uberlândia – MG, Universidade Federal de Uberlândia, 92p.
- Silva, A.J.N.; Carvalho, F.G. (2007) Coesão e resistência ao cisalhamento relacionadas a atributos físicos e químicos de um Latossolo Azedo de tabuleiro costeiro. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, 31 (5):853-862.
- Silva, C.A. (2013) *Divergência genética entre acessos de mamoeiros e correlações entre suas características no Norte do Espírito Santo*. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) – São Mateus – ES, Universidade Federal do Espírito Santo, 78p.
- Silva, D. J.; Araújo, C. A. de S. (2005) Agricultura irrigada: A importância da adubação. Anais do Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 30, Recife: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.

- Silva, FN; Maia, SSS. (2010) Resposta do meloeiro, cultivado em Neossolo Quartzarênico, a fontes e doses de fósforo. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, Recife, 5 (3):308-314.
- Silva, L.G.F.; Barros, B.; Santos, J.V.G.; Manzoli, V.Q.; Salle, R.A.; Oliveira, F.A.; Berilli, S.S. (2017) Efeito da adubação foliar com diferentes fontes de magnésio no desenvolvimento de mudas do mamão. *Anais da semana acadêmica do curso de agronomia do CCAE/UFES*, Espírito Santo: SEAGRO.
- Silva, S. R.; Barros, N. F. de; Vilas Boas, J. E. B. (2006) Crescimento e nutrição de eucalipto em resposta à compactação de Latossolos com diferentes umidades. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, 30 (5):759-768.
- Silva, T.V. (2008) *Fisiologia do desenvolvimento dos frutos do maracujazeiro azedo e maracujazeiro doce*. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 167p.
- Sousa, J.S.I.; Meletti, L.M.M. (1997) *Maracujá: espécies, variedades e cultivo*. FEALQ: Piracicaba – SP, 179p.
- Sousa, V. F. de; Coelho, E. F.; Pinto, J. M.; Nogueira, L. C.; Coelho Filho, M. A.; Araújo, A. R. de (2011) Manejo da fertirrigação em fruteiras e hortaliças. In: Sousa, V. F. de; Marouelli, W. A.; Coelho, E. F.; Pinto, J. M.; Coelho Filho, M. A. (Ed.). *Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças*. Embrapa Informação Tecnológica - Brasília - DF, p. 319-337.
- Sousa, V. F. de; Borges, A.L. (2011) Irrigação e fertirrigação na cultura do maracujá. In: Sousa, V. F. de; Marouelli, W. A.; Coelho, E. F.; Pinto, J. M.; Coelho Filho, M. A. (Ed.). *Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças*. Embrapa Informação Tecnológica - Brasília - DF, p. 501-522.
- Souza, B.N. (2015) *Silício no desenvolvimento morfofisiológico de mudas de maracujazeiro azedo*. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Lavras – MG, Universidade Federal de Lavras, 79p.
- Souza, H.A.; Natale, W.; Prado, R.M.; Rozane, D.E.; Romualdo, L.M.; Hernandez, A. (2009) Efeito da Calagem sobre o crescimento de goiabeiras. *Revista Ceres*, 56 (3):336-341.
- Sturião, W.P. (2012) *Distribuição espacial de atributos de solo de plantas na cultura do mamoeiro no Norte Capixaba*. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Alegre – ES, Universidade Federal do Espírito Santo, 107p.

- Taiz L., Zeiger E. (2013) *Fisiologia Vegetal*. Editora: Artmed – 5ª Ed. – Porta Alegre - RS, 918p.
- Tiritan, C.S.; Foloni, J.S.S.; Sato, A.M.; Mengarda, C.A.; Santos, D.H. (2007) Influência do molibdênio associado ao cobalto na cultura da soja, aplicados em diferentes estágios fenológicos. *Colloquium Agrariae*, 3 (1):1-07.
- Van Droogenbroeck, B.; Breyne, P.; Gotghebeur, P.; Romeijnpeeters, E.; Kyndt, T.; Gheysen, G. (2002) AFLP analysis of genetic relationships among papaya and its wild relatives (Caricaceae) from Ecuador. *Theoretical and Applied Genetics*, 105:289-297.
- Venâncio, J.B.; Rodrigues, E.T.; Silveira, M.V.; Araújo, W.F.; Chagas, E.A.; Castro, A.M. (2013) Produção, qualidade dos frutos e teores de nitrogênio foliar em maracujazeiro-azedo sob adubação nitrogenada. *Científica*, Jaboticabal - SP, 41 (1):11–20.
- Vitti, G.C.; Malavolta, E.; Sobr., M.O.C. do B.; Marin, S.L.D. (1988) *Nutrição e adubação do mamoeiro*. In: Ruggiero, C. (Ed.) Mamão. UNESP – Jaboticabal – SP, p. 121-154.
- Weber, D. (2013) *Densidade de plantio e produção do maracujazeiro-azedo no Sul do Brasil*. Dissertação (Mestrado em Ciências/Fruticultura de Clima Temperado) – Pelotas – RS, Universidade Federal de Pelotas, 110p.
- Zaidan, H.A. (2002) *Micropropagação e uso de marcadores moleculares na determinação do sexo do mamoeiro*. Tese (Doutorado em Agronomia/Genética e Melhoramento de Plantas) – Jaboticabal – SP, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 154p.
- Zanetti, L.V. (2013) *Efeitos da pulverização foliar com silício na tolerância de Theobroma cacao L. (Malvaceae) ao déficit hídrico*. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) – Vitória – ES, Universidade Federal do Espírito Santo, 61p.