

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**CONCENTRAÇÕES E FONTES DE SILÍCIO FOLIAR NA
PRODUÇÃO E NA QUALIDADE DO AGRIÃO E DO
ALMEIRÃO**

Júlio Garcia Neto

Licenciado em Ciências Agrárias

2018

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**CONCENTRAÇÕES E FONTES DE SILÍCIO FOLIAR NA
PRODUÇÃO E NA QUALIDADE DO AGRIÃO E DO
ALMEIRÃO**

Júlio Garcia Neto

Orientador: Prof. Dr. Renato de Mello Prado

Coorientadora: Profa. Dra. Sylvia Letícia Oliveira Silva

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Produção Vegetal).

2018

Garcia Neto, Júlio
G216c Concentrações e fontes de silício foliar na produção e na qualidade do agrião e do almeirão / Júlio Garcia Neto. -- Jaboticabal, 2018
xvi, 34 p. : il. ; 29 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2018
Orientador: Renato de Mello Prado
Coorientadora: Sylvia Letícia Oliveira Silva
Banca examinadora: Fábio Olivieri de Nobile, Fábio Luiz Checchio

Mingotte

Bibliografia

1. Adubação foliar. 2. *Barbarea verna*. 3. *Cichorium intybus*. 4. Elemento benéfico. 5. Estresse abiótico. 6. Hortaliças folhosas. 7. Silicato. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.811

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação –
Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO


TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: **CONCENTRAÇÕES E FONTES DE SILÍCIO FOLIAR NA PRODUÇÃO E NA QUALIDADE DO AGRIÃO E DO ALMEIRÃO**

AUTOR: JULIO GARCIA NETO

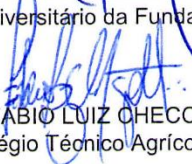
ORIENTADOR: RENATO DE MELLO PRADO

COORIENTADORA: SYLVIA LETICIA OLIVEIRA SILVA

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. RENATO DE MELLO PRADO
Departamento de Solos e Adubos / FCAV / UNESP - Jaboticabal


Prof. Dr. FÁBIO OLIVIERI DE NOBILE
Centro Universitário da Fundação Educacional / UNIFEB / Barretos/SP


Prof. Dr. FÁBIO LUIZ CHECCHIO MINGOTTE
CTA - Colégio Técnico Agrícola / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Jaboticabal, 16 de março de 2018

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

JÚLIO GARCIA NETO – filho de Getúlio Sousa Garcia e de Terezinha de Jesus da Silva Garcia, nascido no dia 12 de fevereiro de 1977, natural de São Luís do Maranhão, Brasil. Estudou na Escola Agrotécnica Federal de São Luís-MA (EAFSLZ-MA), o curso Técnico em Agropecuária. Por circunstâncias da vida, trabalhou como segurança de boate e porteiro de faculdade particular, mas com muito esforço e dedicação, realizou concurso público em 2004 para o cargo Técnico em Agropecuária da Escola Agrotécnica Federal de Codó-MA (EAFCODÓ-MA), onde foi chefe do setor de Suinocultura, chefe do setor de Bovinocultura e Avicultura e chefe do setor de Zootecnia. No ano de 2007, foi redistribuído para Escola Agrotécnica Federal de São Luís-MA (EAFSLZ-MA), onde assumiu o cargo de chefe do setor de Bovinocultura da EAFSLZ-MA. Em 2012, assumiu o setor de Patrimônio do campus, atualmente está lotado no Departamento de Produção e Apoio Didático-DPAD do Campus Maracanã. Iniciou o curso de Licenciatura em Ciências Agrárias em 2010, no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão (IFMA), Câmpus Maracanã, na cidade de São Luís, Maranhão, Brasil. Atua como professor nos Programas Institucionais do Câmpus Maracanã como: V.E.P, PROFIC, PRONATEC e EAD. Coordenador e Professor Faixa-Preta de Jiu-Jitsu, do Projeto Jovens Guerreiros (IFMA - Maracanã). No mês de agosto do ano de 2016, ingressou no Programa MINTER IFMA/UNESP/FCAV de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal), em nível de Mestrado, da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Câmpus Jaboticabal-SP, sob orientação do Prof. Dr. Renato de Mello Prado (FCAV/UNESP) e coorientação da Profa. Dra. Sylvia Letícia Oliveira Silva (IFMA).

“O que lavrar a sua terra virá a fartar-se de pão, mas o que segue a ociosos se fartará de pobreza”.

Provérbios 28:19

A DEUS, por ter-me guiado nos caminhos corretos e ter-me amparado nos momentos difíceis.

Aos meus pais, Getúlio Sousa Garcia e Terezinha de Jesus da Silva Garcia e a Gustavo Luís Sousa (*in memoriam*).

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Finalizado um passo importante em minha vida profissional, venho expressar o mais profundo agradecimento a todas as pessoas que me apoiaram nesta árdua caminhada e que contribuíram para a realização deste trabalho.

Gostaria de agradecer, primeiramente, ao IFMA, Câmpus Maracanã, na pessoa da Profa. Dra. Lucimeire Amorim Castro, que possibilitou a realização do MINTER, em convênio com programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal), à FCAV/UNESP, Câmpus de Jaboticabal-SP, pois tive a oportunidade de concorrer ao seletivo e ser aprovado.

A meu orientador, Prof. Dr. Renato de Mello Prado, pela paciência, incentivo e disponibilidade demonstrada em todas as etapas da dissertação, fica aqui o meu respeito, admiração pelo senhor e meu muito obrigado.

À Profa. Dra. Sylvia Letícia Oliveira Silva, pela coorientação, que foi uma peça fundamental para a condução e o desenvolvimento dos experimentos.

Ao Dr. Thiago Palhares que, apesar de oficialmente não poder ser meu coorientador, foi outra pessoa fenomenal que contribuiu para a realização do trabalho em todas as etapas.

A José Zenóbio, pela amizade e pela paciência durante este período em que estudamos juntos, foram várias batalhas até chegar a esta vitória.

À Profa. Dra. Sandra Maria Cruz Nascimento, pelo excelente trabalho desenvolvido à frente da coordenação local do MINTER.

À Profa. Dra. Jandira Pereira Souza, por ser uma pessoa maravilhosa e incentivadora a quem tenho respeito e admiração.

Ao Prof. Arthur Bernardes Cecílio Filho, coordenador da Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal), e aos docentes pelo conhecimento e pelas experiências repassadas nas disciplinas ao longo do curso.

A meus familiares, que estão em vida e aos que não estão entre nós.

A minha irmã Andrea Garcia, aos meus tios, tias, primos, primas, sobrinhos e sobrinhas.

Aos meus netos e netas: Lorrana Maria, Lorena Beatriz, Pedro Lucas e Vítor Kayke, amo a todos vocês.

Aos colegas e amigos do Mestrado: Arilson, Aycon, Francisco, Helen, Isabela, Jânio, José Pimenta “Totó”, Livia, Marcondes e Roberta.

À equipe do Departamento de Produção do Câmpus Maracanã pelo apoio logístico e pelo auxílio: Ednilson - “nós fumos”, José Arias - “Chefe Arias”, “Irmão Fernando” da Maxtec, “Seu Nascimento”, “Irmão Joel”.

Aos colegas do GENPLANT, pelo companheirismo, amizade e incentivo durante o curso, dentre estes: Jonas Júnior, Rafael, Guilherme, Gelza, Marcilene.

Aos colegas e amigos do IFMA, Câmpus Maracanã: Deusur, Leidiana, Michelle Pinto, Allison Cadete, Plinio Lima, Antônio Anísio, Edvan Marques, Coração de Maria, Rosa, Têca e a todos e todas prestadores de serviço no Câmpus.

Enfim, a todos aqueles que contribuíram para a realização deste sonho, expresso meus sinceros agradecimentos.

SUMÁRIO

| | Página |
|--|-------------|
| RESUMO | xii |
| ABSTRACT | xiii |
| LISTA DE TABELAS | xiv |
| LISTA DE FIGURAS | xv |
| 1 INTRODUÇÃO | 1 |
| 2 REVISÃO DE LITERATURA | 3 |
| 2.1 Importância do agrião e do almeirão | 3 |
| 2.2 Silício | 4 |
| 2.3 Silício na saúde humana e na biofortificação | 5 |
| 2.4 Nutrição foliar de silício no crescimento e na qualidade das hortaliças | 8 |
| 3 MATERIAL E MÉTODOS | 11 |
| 3.1 Localização do estudo | 11 |
| 3.2 Descrição dos experimentos | 11 |
| 3.3 Tratamento da água | 12 |
| 3.4 Preparo do substrato | 12 |
| 3.5 Preparo e utilização da solução nutritiva | 13 |
| 3.6 Condução do estudo | 13 |
| 3.7 Aplicação das fontes e concentrações de Si | 14 |
| 3.8 Variáveis a serem analisadas | 15 |
| 3.9 Preparo do material para análises | 16 |
| 3.10 Análises de silício na planta (método amarelo) | 16 |
| 3.10.1 Preparo das soluções | 16 |
| 3.10.2 Procedimento extração/digestão | 17 |
| 3.10.3 Preparo das soluções padrão (0; 2; 4; 6 e 8 mg L ⁻¹ de Si) | 18 |
| 3.11 Fórmula para a determinação do teor de silício | 18 |
| 3.12 Determinação do acúmulo de silício | 19 |
| 3.13 Perda de massa | 19 |
| 3.14 Teor de Vitamina C (ascorbato) | 19 |
| 3.15 Análise de variância | 20 |

| | |
|---------------------------------------|-----------|
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 22 |
| 5 CONCLUSÃO | 29 |
| REFERÊNCIAS | 30 |

CONCENTRAÇÕES E FONTES DE SILÍCIO FOLIAR NA PRODUÇÃO E NA QUALIDADE DO AGRIÃO E DO ALMEIRÃO

RESUMO – A pulverização foliar de silício (Si) pode beneficiar a produção e a qualidade das hortaliças folhosas, sendo desconhecidos esses efeitos no agrião-da-terra (*Barbarea verna*) e no almeirão (*Cichorium intybus* cv. Spadona). Objetivou-se verificar o efeito da pulverização foliar de silício em diferentes fontes e concentrações no teor foliar de Si, nas variáveis de crescimento, no teor foliar de ascorbato e na perda de água durante o armazenamento das hortaliças agrião e almeirão. Foram realizados dois experimentos, com as duas hortaliças cultivadas em vasos (4 dm³) preenchidos com areia, recebendo solução nutritiva. Durante o cultivo, a média da temperatura máxima atingiu 43,1 °C ± 10,6 °C. Utilizou-se delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 4, sendo duas fontes de silício: silicato de potássio e silicato de sódio e potássio estabilizado, e quatro concentrações de Si foliar: 0 (controle); 0,84; 1,68; 2,52 g L⁻¹ de Si, com quatro repetições. As mudas foram transplantadas após 10 dias da emergência para vasos. Foram realizadas três aplicações foliares de Si, a cada dez dias, sendo a primeira realizada aos 28 dias após o transplantio (DAT). A pulverização foliar de silício é viável, para incrementar o acúmulo deste elemento na planta, o crescimento e a biofortificação, e diminuir a perda de água da folha pós-colheita do agrião da terra e do almeirão, destacando-se a concentração de 2,52 g L⁻¹ de Si na forma de silicato de potássio.

Palavras-chave: adubação foliar, *Barbarea verna*, *Cichorium intybus*, elemento benéfico, estresse abiótico, hortaliças folhosas, silicato

CONCENTRATIONS AND SOURCES OF SILICON FOLIAR IN THE PRODUCTION AND QUALITY OF CRESS AND CHICORY

ABSTRACT – Silicon (Si) leaf spraying can benefit the production and quality of leafy vegetables. Such knowing is unclear to land cress (*Barbarea verna*) and root chicory (*Cichorium intybus* cv. Spadona). This study aimed was verify the effect of silicon leaf spraying under different sources and concentrations in Si leaf content, on growth variables, ascorbate leaf content, and water loss during storage of land cress and root chicory. We carried out two experiments with two vegetables grown in (4 dm³) pots filled with sand, receiving nutrient solution. During growing, the maximum temperature average was 43.1 °C ± 10.6 °C. A completely randomized design was used in a 2 x 4 factorial scheme, with two sources of silicon: potassium silicate and stabilized sodium and potassium silicate, and four concentrations of leaf spraying Si: 0 (control), 0.84, 1.68, and 2.52 g L⁻¹ of Si, with four replications. The seedlings were transplanted after 10 days of vessel emergence. Three Si leaf sprayings were done every ten days where the first spraying was at 28 days after transplanting (DAT). Silicon leaf spraying is feasible to increase the Si accumulation, plant growth and biofortification and decrease the post-harvest water loss of land cress and root chicory leaves. The Si concentration of 2.52 g L⁻¹ as potassium silicate was highlighted.

Keywords: leaf fertilization, *Barbarea verna*, *Cichorium intybus*, beneficial element, abiotic stress, leafy vegetables, silicone

LISTA DE TABELAS

| | Página |
|--|---------------|
| Tabela 1. Descrição dos tratamentos, considerando as concentrações das fontes para compor 1 L de solução a serem utilizadas nas pulverizações das plantas. | 12 |
| Tabela 2. Quadro da solução estoque. | 13 |
| Tabela 3. Irrigação com solução nutritiva. | 14 |
| Tabela 4. Aplicações das fontes e concentrações de Si foliar por planta. | 15 |

LISTA DE FIGURAS

| | Página |
|---|---------------|
| Figura 1. Aves com quatro semanas de idade em dieta com suplemento com alto e baixo teor em silício (CARLISLE, 1972). | 6 |
| Figura 2. Temperaturas mínima, máxima e umidade relativa do ar durante o período experimental no interior da casa de vegetação. Temperatura ótima para o desenvolvimento do agrião-da-terra, de 15 a 25 °C (VIEIRA, 2010), e do almeirão, de 14 a 24 °C (PEREIRA et al., 2012). | 11 |
| Figura 3. Pulverização foliar de silício realizada no experimento e a utilização de uma proteção lateral com papelão, para evitar contaminação. | 15 |
| Figura 4. Acúmulo de Si nas folhas do agrião (a) e do almeirão (b), em função das concentrações de silício (C) via foliar, nas fontes (F) de silicato de potássio (SiK) e silicato de potássio e sódio (SiNaK). ** e ^{ns} - Significativo a 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente, pelo teste F. Letras iguais indicam que as fontes são semelhantes pelo teste t-Student, a 5% de probabilidade. | 22 |
| Figura 5. Número de folhas no agrião (a) e no almeirão (b), em função das concentrações de silício (C) via foliar, nas fontes (F) de silicato de potássio (SiK) e silicato de potássio e sódio (SiNaK). ** e ^{ns} - Significativo a 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente, pelo teste F. Letras iguais são semelhantes pelo teste t-Student, a 5% de probabilidade. | 23 |
| Figura 6. Massa da matéria fresca do agrião (a) e do almeirão (b), em função das concentrações de silício (C) via foliar, nas fontes (F) de silicato de potássio (SiK) e silicato de potássio e sódio (SiNaK). **: Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F. Letras iguais são semelhantes pelo teste t-Student, a 5% de probabilidade. | 24 |
| Figura 7. Massa da matéria seca do agrião(a) e do almeirão (b), em função das concentrações de silício (C) via foliar, nas fontes (F) de silicato de potássio (SiK) e silicato de potássio e sódio (SiNaK). ** e ^{ns} - Significativo a 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente, pelo teste F. Letras iguais são semelhantes pelo teste t-Student, a 5% de probabilidade. | 25 |

Figura 8. Teor foliar de silício do agrião (a) e do almeirão (b), em função das concentrações de silício (C) via foliar, nas fontes (F) de silicato de potássio (SiK) e silicato de potássio e sódio (SiNaK). ** e ^{ns}- Significativo a 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente, pelo teste F. Letras iguais são semelhantes pelo teste t-Student, a 5% de probabilidade. 26

Figura 9. Teor de ascorbato no agrião (a) e no almeirão (b), em função das concentrações de silício (C) via foliar, nas fontes (F) de silicato de potássio (SiK) e silicato de potássio e sódio (SiNaK). ** e ^{ns}- Significativo a 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente, pelo teste F. Letras iguais são semelhantes pelo teste t-Student, a 5% de probabilidade. 27

Figura 10. Perda de água das folhas do agrião (a) e do almeirão (b), em função dos tratamentos (T): aplicação de Si foliar na concentração de 2,52 g L⁻¹ de Si no tempo de armazenamento, em dia (D) das fontes de silicato de potássio (SiK) e silicato de potássio e sódio (SiNaK) e controle (sem aplicação de Si). **: 5% de probabilidade, pelo teste F. Letras iguais são semelhantes pelo teste t-Student, a 5% de probabilidade. 28

1 INTRODUÇÃO

O silício (Si) é o segundo elemento mais abundante do planeta, estando presente em 27% da crosta terrestre, mas não é considerado elemento essencial para as plantas (EPSTEIN, 1999), e, sim, um elemento benéfico que incrementa o crescimento da planta em condições de estresse sob alta temperatura, pois segundo Marschner (1995) a deposição de Si na parede celular das folhas forma uma camada protetora, evitando perdas de água por evapotranspiração da planta.

Um estresse que tem ocorrido nos últimos anos com as mudanças climáticas com projeções para o aumento das temperaturas da superfície terrestre, em torno de 1,6 a 5,8 °C, em consequência do crescimento populacional e do aumento das emissões de gases de efeito estufa (PRASAD; THOMAS; NARAYANAN, 2017), e essas mudanças na temperatura, juntamente com o aumento da concentração de dióxido de carbono (CO₂) terão influência nas plantas cultivadas.

Esse fato é preocupante em culturas que apresentam temperaturas ótimas de crescimento moderadas a exemplo do agrião-da-terra, de 15 a 25 °C (VIEIRA, 2010), e do almeirão, de 14 a 24 °C (PEREIRA et al., 2012). O estresse nas plantas induz produção de espécies reativas ao oxigênio (ROS), que provoca danos oxidativos dos componentes celulares das folhas (EPSTEIN, 1994). Nestas condições, o silício pode induzir produção de compostos fenólicos com ação antioxidante e mitigar o estresse por alta temperatura (LIANG; SUN; ZHU, 2007; ASHRAF et al., 2010), podendo beneficiar o crescimento das plantas, embora não sejam conhecidos esses efeitos nas hortaliças folhosas estudadas.

Outra importância do Si é para a vida humana, pois desempenha um papel essencial na saúde, regulando o metabolismo de vários tecidos, principalmente dos ossos, músculos e cartilagens (CARLISLE, 1972). O silício aumenta a proliferação dos osteoblastos, a síntese da matriz extracelular, a atividade da fosfatase alcalina e a síntese de osteocalcina e de colágeno tipo I (SANTOS, 2012). Diante do baixo consumo de fibras e com o beneficiamento dos cereais, como arroz e trigo, diminuem o conteúdo do elemento benéfico no alimento e sua ingestão pela população, podendo não atender a exigência de silício para o ser humano, estimada em 25 mg por dia de SiO₂ (NIELSEN, 2014).

Uma forma de colaborar com o aumento da ingestão de Si pelo ser humano é consumir alimentos biofortificados (SALTZMAN et al., 2016). O agrião e o almeirão são espécies não acumuladoras de Si por possuir baixo teor de silício foliar, inferior a 0,5% (MARSCHNER, 1995), sendo uma opção a biofortificação via foliar nessas hortaliças folhosas, o que poderia beneficiar todas as camadas sociais da população.

Outro aspecto de qualidade que o Si pode melhorar nas hortaliças folhosas seria a diminuição da perda de água durante o armazenamento, podendo aumentar a vida de prateleira da planta, mas isso precisa ser avaliado.

Para a aplicação foliar de Si, têm-se as opções do silicato de potássio e do silicato de sódio e potássio estabilizado, sendo a primeira fonte mais utilizada na agricultura. A diferença entre as fontes seria que, no silicato de potássio e sódio, teriam espaço o Na e um estabilizante para diminuir reações de polimerização na calda, ao passo que, no silicato de potássio, não teria esses elementos adicionais, mas são desconhecidos os efeitos destas fontes de Si nas hortaliças agrião e almeirão.

Para viabilizar a aplicação foliar de Si nas hortaliças agrião e almeirão, é pertinente que seja atendida a seguinte hipótese: a aplicação foliar com Si é viável, dependendo da fonte, pois pode proporcionar incremento do acúmulo desse elemento na planta, melhorando sua produção e a qualidade das hortaliças folhosas cultivadas sob altas temperaturas.

Diante do exposto, objetivou-se verificar qual a fonte e a concentração de Si que resulta em maior produção biofortificada e na qualidade das hortaliças agrião e almeirão.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Importância do agrião e do almeirão

O agrião-da-terra (*Barbarea verna*) é uma Brassicácea semiperene, de ciclo curto, semeado diretamente no campo, tendo temperatura ótima para o desenvolvimento variando de 15 °C a 25 °C (VIEIRA, 2010), sendo uma hortaliça com grande valor nutricional e medicinal, de origem europeia. Esta hortaliça é consumida em todo o Brasil na forma *in natura* ou seus derivados, como medicamentos para desintoxicações e expectorante. Para tanto, fazem-se necessários mais estudos para conhecer sua adaptabilidade e a tolerância desta espécie aos fatores abióticos, visando a auxiliar na definição de práticas agronômicas que permitam o adequado desenvolvimento das plantas.

O almeirão (*Cichorium intybus* cv Spadona) é uma herbácea da família Asteraceae, muito semelhante à chicória, da qual se diferencia por possuir folhas mais alongadas. É uma hortaliça originária da região sul da Europa e da Ásia Central, possui ciclo anual, mais estreita, recoberta por pelos e com sabor amargo mais pronunciado, destacando-se como as hortaliças folhosas mais populares e mais utilizadas em saladas. As temperaturas ótimas de crescimento do almeirão (*Cichorium intybus* cv Spadona) são moderadas, próximas de 14 a 24 °C (PEREIRA et al., 2012). Do ponto de vista nutricional, o almeirão é calórico e rico em proteínas, amido, fibras, cálcio, ferro e vitamina A.

O agrião e o almeirão, como a maioria das hortaliças de folha, deterioram-se rapidamente, murchando depois de colhido. Por isto, após a compra, é necessário o consumo imediato. No entanto, o agrião e o almeirão, sob refrigeração de, no máximo, a 0 °C, podem ser mantidos frescos por até três dias para o consumo (VIEIRA, 2010).

Diante das mudanças climáticas, tem ocorrido aumento da temperatura do ar ao longo dos últimos anos e com tendência de manter essa condição nos próximos anos (SILVA; PAULA, 2009). No entanto, essa condição pode prejudicar o crescimento das hortaliças folhosas agrião e almeirão, por exigirem temperaturas amenas.

Nota-se que os maiores desafios destas hortaliças folhosas seriam ter ótimo crescimento nas condições ambientais de cultivo de temperatura mais elevada,

associado com produção de alta qualidade.

Diante deste cenário, o emprego da nutrição foliar de silício poderia beneficiar essas hortaliças.

2.2 Silício

Em solos tropicais e subtropicais, os teores de Si disponíveis são considerados baixos devido à lixiviação, ao intemperismo e ao cultivo intensivo, que removem o elemento do solo, estimando-se essa perda anual no mundo de 210 a 224 milhões de toneladas do Si (MEENA et al., 2014).

O Si pode apresentar efeitos benéficos às plantas, principalmente em relação à amenização de estresses ocasionados por fatores abióticos (seca, geadas e alta temperatura) (EPSTEIN, 1999).

Em cultivos sem solo, hidropônico, normalmente não é adicionado o Si, havendo baixos teores desse elemento nos tecidos das culturas, não influenciando em seu crescimento, mas estudos mostram que plantas com deficiência em silício estão mais suscetíveis ao acamamento (tombamento) e ao ataque de infecções fúngicas.

O Si pode apresentar efeitos benéficos às plantas, principalmente em relação à amenização de estresses ocasionados por fatores abióticos (seca, geadas e alta temperatura) (EPSTEIN, 1999). O silício é absorvido pela via radicular ou foliar na forma de ácido monossilícico (H_4SiO_4), e a absorção foliar dá-se depois de estabelecido o contato do elemento com a epiderme superior, inferior ou em ambas, atravessando a cutícula cerosa e as paredes das células epidérmicas por difusão, chegando à superfície externa do plasmalema, e o movimento através da membrana citoplasmática com a entrada no citoplasma, eventualmente no vacúolo, depois de atravessar o tonoplasto (TAIZ et al., 2017).

Para atender às necessidades de Si pelas plantas, existem várias fontes do elemento, como o silicato de potássio, silicato de sódio, ácido monossilícico, silicato de cálcio e silicato de magnésio (CURRIE; PERRY, 2007). No entanto, a fonte solúvel de Si mais utilizada na nutrição foliar seria o silicato de potássio (K_2SiO_3). A produção deste silicato é derivada da fusão da sílica de quartzo (finamente moído), com

hidróxido de potássio e/ou com carbonato de potássio sob alta temperatura e pressão, ocasionando uma fusão desses elementos.

Outra fonte solúvel seria o silicato de sódio, um composto que tem a fórmula geral $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, disponível tanto em solução aquosa como na forma sólida (LIMA FILHO, 2009). A partir de processo convencional, a fabricação do silicato de sódio consiste na mistura da sílica (SiO_2) com o carbonato de sódio (Na_2CO_3) ou, menos frequentemente, com sulfato de sódio (Na_2SO_4), que são fundidos em forno com alta temperatura e pressão, cerca de 1.200 °C a 1.500 °C. Um segundo processo envolve a dissolução de mineral silicatado (areia, calcedônia, opala, diatomito, etc.) em solução de hidróxido de sódio (NaOH), também com alta temperatura e pressão, este último mais comum no Brasil.

Em plantas que apresentam baixa absorção de Si ditas não acumuladoras do elemento, a exemplo das hortaliças folhosas agrião e almeirão, a aplicação foliar do elemento pode favorecer maior acúmulo do mesmo nos tecidos foliares. O emprego do Si nas hortaliças folhosas pode alterar sua composição química a partir da biofortificação, pois elas apresentam baixo teor de Si foliar (MARSCHNER, 1995). Além disso, o Si no tecido vegetal pode prolongar a vida de prateleira ao diminuir a perda de água durante o armazenamento.

2.3 Silício na saúde humana e na biofortificação

O silício desempenha um papel essencial na saúde humana e animal. Esse importante oligoelemento regula o metabolismo de vários tecidos, principalmente dos ossos, músculos e cartilagens. Os oligoelementos são um conjunto de elementos químicos inorgânicos necessários aos seres humanos em pequenas quantidades, que desempenham diversas funções metabólicas no organismo, principalmente na formação de enzimas vitais aos mais diversos processos bioquímicos realizados pelas células (SANTOS, 2012), sendo adquiridos por meio de dietas balanceadas e diversificadas.

Estudos demonstram que a privação de silício não demonstrou interromper o ciclo de vida, ou ter uma função bioquímica definida. No entanto, durante mais de 40 anos, têm surgido relatos sobre o silício e seus benefícios, especialmente no tecido

conjuntivo e na formação óssea, em animais superiores e humanos. Em estudo clássico realizado na década de 1970, usaram-se aves com dietas suplementares de silício, demonstrando que, alimentadas com a mesma dieta e com um suplemento de silício, elas apresentaram crescimento 50% maior e desenvolvimento normal (CARLISLE,1972). Os autores observaram desenvolvimento corporal irregular, não ocorrendo a formação óssea e de cartilagens (crista da ave), com dieta com baixa quantidade de Si, comparado à ave com quantidade adequada de Si (Figura 1).

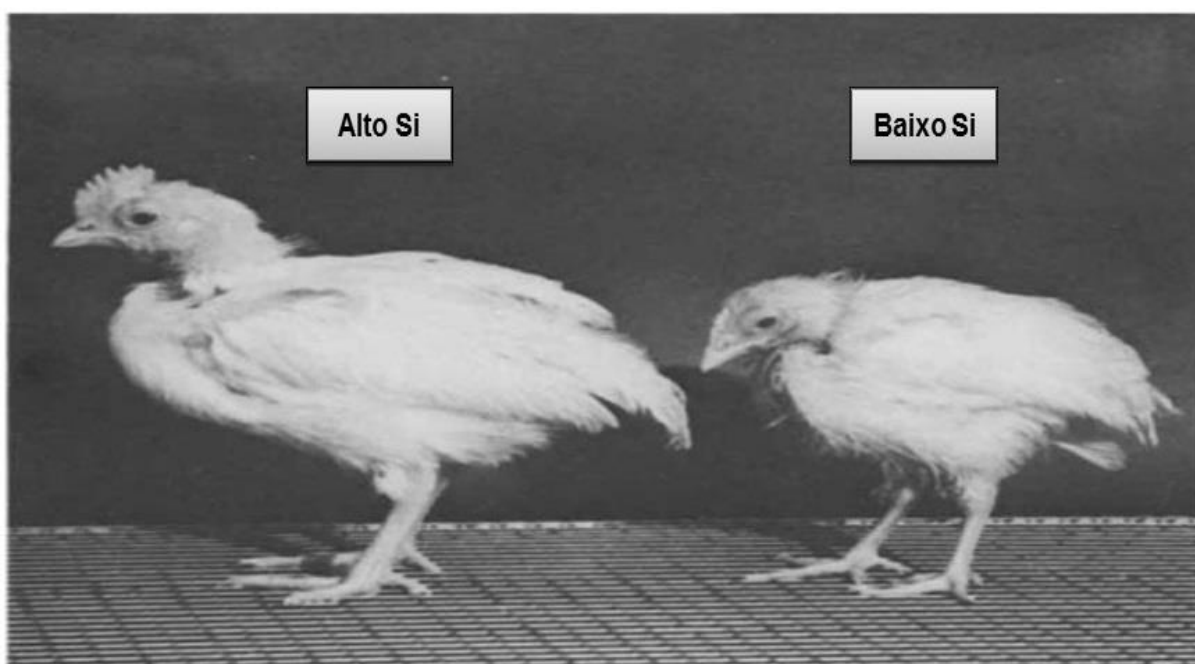


Figura 1. Aves com quatro semanas de idade em dieta com suplemento com alto e baixo teor em silício (CARLISLE, 1972).

Ainda não foram estabelecidos os valores nutricionais adequados para a ingestão deste elemento, segundo Nielsen (2014), mas estima-se que, na dieta humana, deva conter 25 mg de SiO_2 por dia. Alguns fatores podem contribuir para que a ingestão de silício seja subótima, induzindo carências marginais em humanos, que podem levar a uma debilitação de tecidos que o requerem em maior quantidade, como tendões, ossos, pele, pelos e unhas, e diante do envelhecimento da população mundial, tem-se aumentado o número de doenças. O Si tem um papel benéfico na formação e na saúde ósseas, como a osteoporose, e a dieta de Si poderia amenizá-la (SANTOS, 2012). Foram verificados vários estudos em células e tecidos com o intuito de determinar o mecanismo de ação do Si no osso. Conclui-se que o silício

aumenta a proliferação dos osteoblastos, a síntese da matriz extracelular, a atividade da fosfatase alcalina e a síntese de osteocalcina e de colágeno tipo I (JUGDAOHSINGH, 2007). O efeito do Si na reabsorção óssea e na atividade dos osteoclastos ainda não foi bem documentado.

Para aumentar a ingestão de Si, é importante enriquecer os alimentos a partir da biofortificação. A biofortificação agrônômica é uma técnica que consiste no enriquecimento nutricional dos alimentos no campo, durante seu processo produtivo, utilizando plantas comestíveis como ferramenta para aumentar os níveis de nutrientes através da absorção e da distribuição adequada em tecidos comestíveis para níveis seguros, e a redução de nutrientes em alimentos básicos para promover a biodisponibilidade de nutrientes (GONÇALVES et al., 2015), tornando-se assim uma estratégia sustentável e de longo prazo para enfrentar os impactos negativos das deficiências de vitaminas e de nutrientes.

As hortaliças folhosas fazem parte do consumo na maioria da população mundial e são consumidas por terem baixo custo, beneficiando a população de baixo poder aquisitivo a alto. Estima-se que mais de 1,02 bilhão de pessoas não consomem alimentos em quantidades suficientes para suprir suas necessidades diárias básicas de energia (GONÇALVES et al., 2015), e a biofortificação está sendo nova alternativa para suprir essas necessidades nutricionais. Existem poucos estudos sobre biofortificação em plantas de consumo humano, mas pesquisas preliminares já demonstram que é viável o uso de estratégias a fim de aumentar o conteúdo de micronutrientes em plantas consumidas pela população mundial.

Enquanto a fortificação convencional requer aditivos artificiais, a biofortificação envolve a síntese ou a acumulação de nutrientes pelas plantas através de fontes, sendo um meio mais econômico e viável de fornecer micronutrientes a populações que possuem acesso limitado a diversos alimentos, para o correto desenvolvimento corporal (SALTZMAN et al., 2016). O agrião e o almeirão são espécies não acumuladoras de Si (MARSCHNER, 1995), sendo uma opção para a biofortificação, fornecida via foliar, devido ao grande consumo de hortaliças folhosas pela população, devido ao baixo custo, podendo beneficiar a população de baixo a alto poder aquisitivo.

2.4 Nutrição foliar de silício no crescimento e na qualidade das hortaliças

Uma das principais razões para a diminuição do crescimento das plantas e sua produtividade é o estresse térmico, especialmente em regiões de clima quente, afetando negativamente o crescimento das plantas e a biomassa em quase todas as principais culturas de campo. O Si tem sido relatado como um elemento muito utilizado para aliviar os efeitos de estresse abiótico, como o das altas temperaturas em plantas. Segundo Epstein e Bloom (2005), o Si deve ser considerado um elemento essencial para o crescimento das plantas.

O uso de silício de alta solubilidade em baixas doses, na forma foliar, poderá melhorar o estado nutricional da planta e diminuir problemas fitossanitários, aumentando a eficiência da adubação e a produtividade. O Si também pode estar envolvido em atividades metabólicas ou fisiológicas das plantas sob estresse salino e/ou hídrico (GUNES et al., 2008), melhorando a arquitetura das folhas e deixando-as mais eretas, o que promove melhor interceptação de luz, refletindo na fotossíntese, na produção de carboidratos e na produtividade, sendo seus efeitos mais visíveis sob condições de estresses bióticos e abióticos.

As plantas estão sempre expostas a várias condições de estresses durante o crescimento, e o acréscimo de Si certamente desempenha um papel importante em aliviar tensões, resultando em aumento da produtividade (TAKAHASHI; KURATA, 2007).

O uso do silício na agricultura possui enorme potencial para diminuir a utilização de agroquímicos e para aumentar a produtividade a partir de uma nutrição mais equilibrada e fisiologicamente mais eficiente, o que significa plantas mais produtivas, com menos doenças e mais vigorosas.

Estudos realizados com hortaliças folhosas, como a rúcula, demonstram que a aplicação do Si na forma de silicato de sódio promoveu aumento linear no teor foliar de silício (GUERRERO; BORGES; FERNANDES, 2011). Outro estudo com a aplicação foliar de Si em alface, na forma de silicato de potássio, incrementou linearmente o teor foliar do elemento e o rendimento da massa fresca da planta inteira, na concentração de 2,7 L ha⁻¹ (RESENDE; YURI; SOUZA, 2007).

A utilização de Si foliar, em outro experimento com alface e fonte de silicato de

potássio, aumentou a massa da matéria seca em 102%, na dose de 21,8 kg ha⁻¹ (SOUZA et al., 2015).

Avaliando-se fontes e doses de Si na nutrição e na produção de alface, verificou-se que ocorreu aumento no teor e no acúmulo de Si nas folhas, destacando-se a dose de 800 kg ha⁻¹, que esteve associado ao maior teor de Si na parte aérea da alface, de 10,7 mg kg⁻¹ (TANAMATI, 2012). Estes resultados podem ter ocorrido devido ao efeito benéfico do Si em aliviar o estresse, pois houve a ocorrência de altas temperaturas ocorridas durante o ciclo de desenvolvimento, sendo registrada uma temperatura média de 41 °C, muito acima da temperatura ideal para alface que, segundo Vieira (2010), é de 23 °C.

Vários são os fatores que afetam a qualidade final da hortaliça após a colheita, dentre os quais a temperatura, a umidade, a radiação, a precipitação e o vento, e, os aspectos de colheita (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

Quando a planta recebe o Si, começa a formar cadeias mais pesadas de ácido polissilícico, ocorrendo a polimerização, diminuindo a flexibilidade das paredes dos estômatos e ocasionando seu fechamento, ocorrendo a diminuição da transpiração e a perda de água (LUZ; GUIMARÃES; KORNDÖRFER, 2006; TAIZ et al., 2015). Com a transpiração reduzida ocorre o prolongamento na pós-colheita das hortaliças, devido à menor perda de água ser uma das principais causas do menor tempo de prateleira, pois resultam a alteração da aparência, a perda de textura e de valor nutricional (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

Com a ação benéfica do silício foliar, quando é absorvido pelas folhas das plantas, verificaram-se diversos efeitos, como o aumento na eficiência da capacidade fotossintética, a redução da transpiração, o aumento da resistência mecânica das células, ocasionando menor perda de água durante o armazenamento e beneficiando a qualidade pós-colheita das hortaliças. Estudos realizados com a alface demonstraram que o silício foliar melhorou a conservação, ocorreu maior firmeza das folhas de alface conservada a 3 °C e 85 ± 3% de umidade relativa, deixando-as mais túrgidas e com vida útil por 16 dias após a colheita (GALATI et al., 2015).

Em alface, a aplicação de 1,5 mmol L⁻¹ de silício na solução nutritiva resultou em menor incidência de queima dos bordos, ocasionada pela deficiência de Ca, pelo fato de o Si regular a transpiração, e conseqüentemente o fluxo de cálcio para os

tecidos vegetais (LUZ; GUIMARÃES; KORNDÖRFER, 2006).

Em estudo realizado com três variedades de alface, verificou-se que, com a aplicação de silicato de potássio na concentração de 9,8 L ha⁻¹, obteve-se melhor rendimento e qualidade pós-colheita, propiciando melhor conservação quando feita aos 21 e 28 dias (DAT) na alface-americana em cultivo de verão (RESENDE et al., 2005).

Avaliando a adubação foliar em alface-americana no cultivo de verão, foi observada maior massa comercial na dose de 2,1 kg ha⁻¹ de silício aplicada aos 14 dias, assim como o silício promoveu a melhor conservação pós-colheita (RESENDE et al., 2003). A concentração de 84 mg L⁻¹ de Si aumentou a massa fresca da planta e a conservação pós-colheita, promovendo menor perda de água e, conseqüentemente, maior firmeza nas folhas durante o período de armazenamento para a alface, a 8 ± 2 °C, por 16 dias.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização do estudo

Foram desenvolvidos dois experimentos com as hortaliças folhosas agrião-da-terra e almeirão cultivar Spadona no sistema hidropônico, em casa de vegetação, em uma bancada tipo ripado, em São Luís, Maranhão, Brasil, no período de 08-06 a 1^o-08-2017. Durante o período experimental, a umidade relativa do ar e as temperaturas máxima e mínima foram registradas com um termoigrômetro (Figura 2). Os dados meteorológicos evidenciaram variação ampla na temperatura média máxima de 43,1 °C, obtendo-se variação $\pm 10,6$ °C durante o período experimental (Figura 2), acima da temperatura ótima do agrião, de 15 a 25 °C (VIEIRA, 2010), e do almeirão, de 14 a 24 °C (PEREIRA et al., 2012), podendo inferir que houve estresse térmico nas plantas.

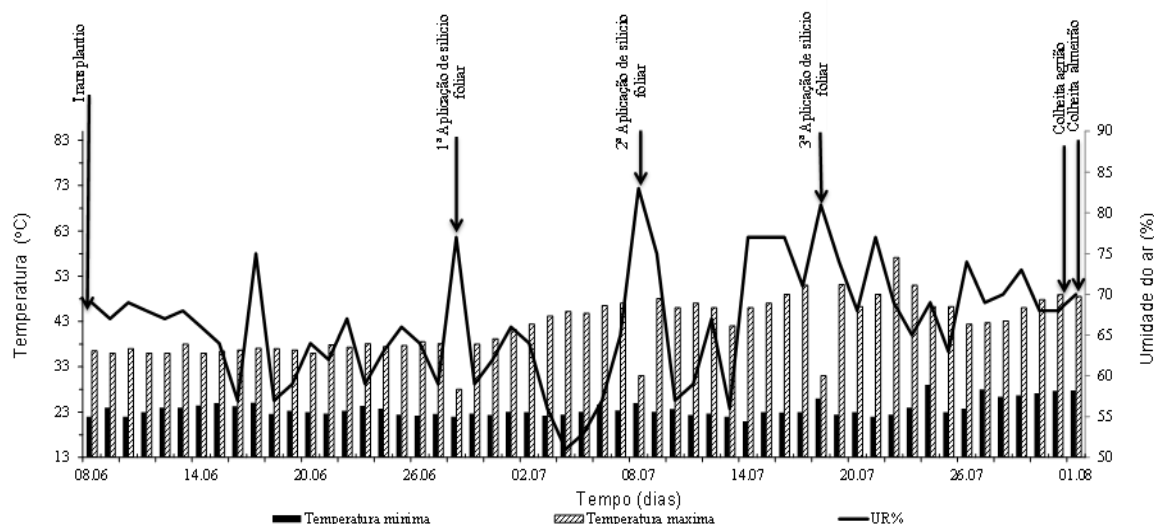


Figura 2. Temperaturas mínima, máxima e umidade relativa do ar durante o período experimental no interior da casa de vegetação. Temperatura ótima para o desenvolvimento do agrião-da-terra, de 15 a 25 °C (VIEIRA, 2010), e do almeirão, de 14 a 24 °C (PEREIRA et al., 2012).

3.2 Descrição dos experimentos

Os experimentos foram desenvolvidos em delineamento inteiramente

casualizado, em esquema fatorial 2×4 , com duas parcelas, sendo duas fontes de Si: silicato de potássio (SiK) ($\text{Si} = 128 \text{ g L}^{-1}$; $\text{K}_2\text{O} = 126,5 \text{ g L}^{-1}$) e silicato de potássio e sódio estabilizado (SiNaK) ($\text{Si} = 115 \text{ g L}^{-1}$; $\text{K}_2\text{O} = 19 \text{ g L}^{-1}$), e quatro concentrações de Si foliar, sendo: controle (0); 0,84; 1,68 e $2,52 \text{ g L}^{-1}$, correspondendo a zero, meia, uma vez e uma vez e meia, da concentração padrão indicada para fonte silicato de potássio ($1,68 \text{ g L}^{-1}$ de Si), com quatro repetições (Tabela 1). A calda das duas fontes de Si teve valor pH ajustado para 6,8 com solução de HCl a $0,1 \text{ mol L}^{-1}$.

Tabela 1. Descrição dos tratamentos, considerando as concentrações das fontes para compor 1 L de solução a serem utilizadas nas pulverizações das plantas.

| Tratamento Concentração g L^{-1} Si | Silicato de potássio SiK | | | | Silicato de potássio e sódio SiNaK | | | |
|--|---------------------------|---------------------------|--|--|------------------------------------|---------------------------|--|--|
| | SiK mL L^{-1} | K_2O g | Equilibrar g L^{-1} K_2O | Equilibrar g L^{-1} KCl | SiK mL L^{-1} | K_2O g | Equilibrar g L^{-1} K_2O | Equilibrar g L^{-1} KCl |
| 0,84 | 6,56 | 0,92 | 2,77 | 4,5 | 7,30 | 0,14 | 3,55 | 5,9 |
| 1,68 | 13,12 | 1,85 | 1,84 | 3,1 | 14,61 | 0,28 | 3,41 | 5,7 |
| 2,52 | 26,24 | 3,69 | 0 | 0 | 29,20 | 0,56 | 3,13 | 5,2 |

3.3 Tratamento da água

A água utilizada em todo o experimento foi a deionizada. Foi montada uma estrutura dentro da casa de vegetação, com um deionizador de coluna, sendo interligado em duas caixas d'água, sendo que antes da utilização da água deionizada, eram realizados testes para verificar se possuía contaminação por silício; e, quando ocorria, se fazia necessário, a realização da troca de resina do filtro do deionizador.

3.4 Preparo do substrato

A areia utilizada foi lavada com água corrente em uma peneira fina; em seguida, mergulhada em solução de HCl a $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ em uma caixa de fibra, com capacidade para 500 L, com o objetivo de eliminar o resíduo de matéria orgânica, durante um período de 24 horas; em seguida, realizar-se-á a lavagem da areia, para retirar do excesso de HCl .

3.5 Preparo e utilização da solução nutritiva

Durante a condução do experimento, foi produzida solução-estoque com macronutrientes e micronutrientes (Tabela 2) (HOAGLAND; ARNON, 1950). Foram produzidos 100 L de solução nutritiva, semanalmente, sendo realizada a medição do ajuste do valor pH para mantê-lo entre 5,5 a 6,5.

Tabela 2. Quadro da solução estoque.

| Sais da solução-estoque | Concentração da solução-estoque | Volume da solução-estoque completa L da solução final |
|--|---------------------------------|---|
| | g por L H ₂ O | mL/L |
| 1-KH ₂ PO ₄ (Mol L ⁻¹) | 136,09 | 1 |
| 2-KNO ₃ (Mol L ⁻¹) | 101,11 | 5 |
| 3- Ca (NO ₃) ₂ 5H ₂ O (Mol L ⁻¹) | 236,16 | 5 |
| 4-MgSO ₄ .7H ₂ O (Mol L ⁻¹) | 247,47 | 2 |
| 5-Solução de micros (*) | | 1 |
| 6- Solução Fe EDTA (**) | | 1 |

(*) – Em 1 L: 2,86 g H₃BO₃; 1,81 g MnCl₂.4H₂O; 0,10 g ZnCl₂; 0,04 g CuCl₂; 0,02 g H₂MoO₄H₂O.

(**) – 24,9 g FeSO₄.7H₂O ou 24,25 g de FeCl₂.6H₂O; 33,2 g EDTA-Na; 89 mL NaOH 1N completar em 800 mL H₂O. Arejar uma noite ao abrigo da luz, completar com 1 L de água.

O volume da solução-estoque foi completado para 1 L com água deionizada. Todas as soluções ficaram envolvidas em papel-alumínio para evitar fotoxidação, principalmente na solução contendo ferro.

3.6 Condução do estudo

As sementes das hortaliças foram semeadas em placas de espuma fenólica, em células de 30 x 46 cm, irrigadas com água deionizada e transplantadas 10 dias após a emergência das plântulas, para os vasos de polipropileno de 4 litros (diâmetro superior: 22 cm, diâmetro inferior: 13 cm e altura: 19 cm), contendo areia média lavada e tratada com solução de HCl a 0,5 mol L⁻¹. Em cada vaso, foi coberta a superfície com placa de isopor para proteger o substrato da luz, para que não ocorresse a produção de algas na areia ou contaminação via radicular, no momento da aplicação

foliar.

O fornecimento da solução nutritiva foi realizado durante o cultivo, aumentando a quantidade e a força iônica (Tabela 3), sendo mantida a solução nutritiva com valor pH entre 5,0 a 6,0, sendo as plantas irrigadas diariamente com 30 mL de água deionizada.

Tabela 3. Irrigação com solução nutritiva.

| Dias após transplântio | Quantidade solução nutritiva mL | Força iônica da solução % |
|------------------------|---------------------------------|---------------------------|
| 10 | 20 | 25 |
| 21 | 30 | 33,33 |
| 31 | 40 | 50 |
| 41 (até a colheita) | 50 | 100 |

3.7 Aplicação das fontes e concentrações de Si

As pulverizações foliares com Si nas hortaliças foram realizadas conforme recomendação do produto de silicato de potássio, que é com aplicações em intervalo de 10 a 15 dias, de uma para a outra pulverização, com pulverizador manual, iniciando-se aos 20 DAT, com intervalos de 10 dias, totalizando três aplicações no final da tarde, pois o ponto de colheitas dessas hortaliças varia entre 60 e 70 DAP. Estimaram-se essas aplicações para que, após a última pulverização aos 40 dias, a colheita pudesse ser realizada 10 dias após a última aplicação. No momento da pulverização, obtiveram-se temperatura e umidade relativa do ar durante a primeira (26 °C e 77%), segunda (25 °C e 83%) e terceira (26 °C e 81%), respectivamente. A pulverização foliar foi realizada na parte aérea das plantas, e a calda com Si nas duas fontes teve o valor pH ajustado entre 6,8 e 7,0. Realizou-se um teste em branco com água deionizada, obtendo-se o volume da calda que abrangesse todas as folhas das plantas, de acordo com o tamanho das plantas, sendo 0,5; 1,0 e 1, 5 mL por planta, para primeira, segunda e terceira pulverizações (Tabela 4), respectivamente. Durante as aplicações foliares nas plantas, os vasos foram cobertos com algodão para evitar a contaminação da solução pulverizada com o substrato, e utilizada uma barreira lateral, evitando-se a contaminação via aérea dos vasos (Figura 3); pois, no momento

da pulverização, as gotículas dissipam-se no ar, podendo ocasionar uma contaminação indesejada por outra fonte, garantindo assim melhor eficiência na realização da aplicação.

Tabela 4. Aplicações das fontes e concentrações de Si foliar por planta.

| Aplicações fontes | Dias após o transplante | Quantidade por planta |
|-------------------|-------------------------|-----------------------|
| 1ª pulverização | 20 | 0,5 mL |
| 2ª pulverização | 30 | 1,0 mL |
| 3ª pulverização | 40 | 1,5 mL |



Figura 3. Pulverização foliar de silício realizada no experimento e a utilização de uma proteção lateral com papelão, para evitar contaminação.

3.8 Variáveis a serem analisadas

Aos 53 e 55 DAT, realizaram-se as colheitas, respectivamente, do agrião e do almeirão, para a realização das seguintes variáveis: massa da matéria fresca; número de folhas; massa da matéria seca; teor foliar de silício; acúmulo de Si; teor de ascorbato, e perda de água das folhas.

3.9 Preparo do material para análises

O material para análises foi colhido manualmente, e após realizado esse procedimento, os materiais vegetais foram pesados em balança analítica, para a verificação do peso da massa da matéria fresca das amostras; em seguida, foram encaminhadas para serem lavadas (solução de detergente a 3 mL L^{-1} , água corrente, solução de HCl a $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ e água deionizada, respectivamente). Em seguida, as folhas foram acondicionadas em sacos de papel de 5 kg, e identificados, em seguida encaminhada para estufa de circulação forçada de ar, a $65 \text{ }^\circ\text{C}$. Após a secagem, todo o material foi pesado para a verificação da massa da matéria seca, e em seguida moído em um Macromoinho de Facas, Tipo Willey, armazenado em saco de papel e identificado (BATAGLIA et al., 1983), para ser encaminhado para a realização de análises laboratoriais e química.

3.10 Análises de silício na planta (método amarelo)

O processo de extração de silício na planta é feito a partir da oxidação da matéria orgânica, isto é, com a eliminação do carbono do tecido vegetal com água oxigenada (digestão). O hidróxido de sódio adicionado à solução digestora tem a finalidade de melhorar a eficiência do oxidante (H_2O_2) e de aumentar o pH da solução, visando a manter o silício do tecido vegetal em solução. O procedimento de análise e determinação de silício no tecido vegetal foi proposto por Korndörfer, Pereira e Nolla (2004), e será descrito a seguir.

3.10.1 Preparo das soluções

- a) Solução-Padrão de Si (50 mg L^{-1}): adicionar 25 mL de solução-padrão a 1.000 ppm de Si, em balão de 500 mL, e completar com água deionizada;
- b) Água oxigenada (H_2O_2) p.a. 300 ou 500 g L^{-1} (Manter no refrigerador);
- c) Hidróxido de Sódio (NaOH) 500 g L^{-1} : dissolver 50 g de NaOH (granulado) em 50 mL de água destilada. Deixar esfriar até temperatura ambiente e acondicionar em frasco plástico;

d) Molibdato de Amônio [(NH₄)₆Mo₇O₂₄.4H₂O]: dissolver 100 g de molibdato de amônio em 500 mL de água deionizada e ajustar o pH para 7,0 a 8,0 usando NaOH 400 g L⁻¹ (4:6). Transferir a solução para balão de 1.000 mL e completar com água deionizada. Acondicionar a solução em frasco plástico (polietileno) e na geladeira;

e) Ácido Clorídrico (HCl) 500 g L⁻¹: misturar volumes iguais de ácido clorídrico concentrado (12 N) e água deionizada. Acondicionar a solução em frasco plástico (polietileno);

f) Ácido Oxálico [(COOH)₂.2H₂O]: dissolver 75 g de ácido oxálico em 200 mL de água destilada. Transferir a solução para balão de 1.000 mL e completar com água destilada;

g) Ácido Acético 200 g L⁻¹: dissolver 20 g de ácido acético em 100 mL de água destilada. Usar este ácido na falta de ácido oxálico.

3.10.2 Procedimento extração/digestão

a) Pesar 0,1000 g do material vegetal moído em tubos de polipropileno de 50 mL;

b) Adicionar 2 mL de H₂O₂ (300 ou 500 g L⁻¹) com posterior agitação (agitador magnético) por alguns segundos. Esse e os demais procedimentos devem ser efetuados dentro da capela com luvas plásticas;

c) Adicionar 3 mL de NaOH (500 g L⁻¹) e agitar, depois colocar duas gotas de álcool-octil e agitar;

d) Colocar os tubos em banho-maria dentro da capela, durante uma hora; quando começar a espumar, agitar para que a espuma diminua, colocando de volta no banho-maria até completar uma hora, sempre observando o material para não derramar fora do tubo;

e) Depois de terminada uma hora do banho-maria, levar as amostras para a autoclave, colocando as tampas, mas sem rosqueá-las pois a pressão pode deformar os tubos ou danificá-los, podendo-se perder as amostras. Programa-se a autoclave para duas horas, a uma temperatura de 123 °C e 1,5 atm (20 psi);

f) Após realizado o processo da digestão na autoclave, adicionar 45 mL de água deionizada e deixar em repouso por 12 horas;

g) Passadas as 12 horas, retirar, com o uso da pipeta, 2 mL do sobrenadante da amostra e transferir para um copo plástico de 50 mL identificado. Acrescentar 18 mL de água deionizada no copo plástico.

3.10.3 Preparo das soluções padrão (0; 2; 4; 6 e 8 mg L⁻¹ de Si)

a) Pipetar: 0; 2; 4; 6 e 8 mg L⁻¹ da solução padrão de 50 ppm de Si e colocar 50 mL em balões de plástico, completando-se em seguida com água deionizada;

b) Pipetar uma alíquota de 20 mL de cada padrão (0; 2; 4; 6 e 8 mg L⁻¹ de Si), em seguida colocar copo plástico de 50 mL (tipo cafezinho);

Adicionar aos copos plásticos dos padrões e das amostras (extratos digeridos) 1 mL de HCL (1:1 ou 500 g L⁻¹), mais 2 mL de molibdato de amônio. Agitar levemente, a cor amarela aparecerá nas amostras que contêm silício, pois quanto mais ficar amarelo maior a concentração de Si. Decorrido 5 a 10 minutos, adicionar 2 mL de ácido oxálico, agitando-se levemente a solução. Após 2 minutos, fazer a leitura em Espectrofotômetro UV-Visível no comprimento de onda de 410 nm. Realizar a leitura em até 15 minutos, pois a cor amarela fica estável.

3.11 Fórmula para a determinação do teor de silício

$$g \text{ kg}^{-1} \text{ de Si} = (A_{\text{smp}} - A_{\text{blk}}) \times C_{\text{fs}} \times V_t / V_a \times 1 / S_{\text{wt}} \times (10^6 \mu\text{g g}^{-1} / 106 \text{ mg kg}^{-1})$$

A_{smp} : leitura de absorvância da amostra.

A_{blk} : absorvância da amostra do branco.

C_{fs} : Si mg mL⁻¹ proveniente de curva-padrão de absorvância por unidade, assumindo-se que não há interceptação.

V_t : Volume final da digestão.

V_a : volume da alíquota tomada para análise colorimétrica.

S_{wt} : peso da amostra digerida em estufa (mg).

3.12 Determinação do acúmulo de silício

Acúmulo (g): massa da matéria seca (g) × teor de silício (g)

3.13 Perda de massa

É determinada em porcentagem, considerando-se a diferença entre a massa inicial da massa da matéria fresca e aquela obtida a cada intervalo de tempo de amostragem (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

$$PM (\%): \frac{P_i - P_j}{P_i} \times 100$$

P_i: massa inicial;

P_j: massa no período subsequente (g)

3.14 Teor de Vitamina C (ascorbato)

A análise para determinar o teor de ascorbato foi realizada pelo método da titulação com iodeto de potássio, proposto pelo Instituto Adolfo Lutz (BRASIL, 2005), a qual será descrita a seguir.

❖ Material:

- Becker de 250 mL;
- Papel-filtro quantitativo;
- Erlenmeyer de 300 mL;
- Pipetas de 1mL e de 10 mL;
- Bureta de 25 mL.

❖ Reagentes:

- Solução de ácido sulfúrico a 20%, v/v;
- Solução de iodeto de potássio a 10%, p/v;
- Solução de amido a 1%, p/v;

- Solução de iodato de potássio a 0,1 N: pese 3,5668 g para 1 litro de água destilada (1 mL de iodato a 0,1 N equivale a 8,806 mg de ácido ascórbico);
- Solução de iodato de potássio a 0,01 N: pipete 10 mL da solução de iodato de potássio a 0,1 N e dilua até 100 mL em balão volumétrico (1 mL de iodato de potássio a 0,01 N equivale a 0,8806 mg de ácido ascórbico).
- Dependendo da quantidade de ascorbato contida na amostra, utiliza-se a solução de iodato de potássio a 0,1 N ou a 0,01 N.

❖ Procedimento:

- Pese em um béquer de 250 mL uma quantidade da amostra, de tal forma que contenha ao redor de 5,0 mg de Vitamina C;
- Filtre a amostra e receba o filtrado em um erlenmeyer de 300 mL, pipete 10 mL do filtrado;
- Adicione 10 mL da solução de ácido sulfúrico a 20%;
- Adicione 1 mL da solução de iodeto de potássio a 10%;
- Adicione 1 mL da solução de amido a 1%;
- Titule com solução de iodato de potássio até coloração azul.

❖ Cálculo:

$$\underline{100 \times V \times F} = \text{mg de ascorbato mg } 100 \text{ g}^{-1}$$

Em que: V = volume de iodato de potássio gasto na titulação.

F = 8,806 se for a 0,1 N, e 0,8806 se for a 0,01 N.

P = n. de gramas da amostra.

3.15 Análise de variância

Os dados obtidos são submetidos à análise de variância, pelo teste F e, quando significativo, para as diferentes fontes, ao teste de comparação t de Student (LSD), a

5% de probabilidade, e para as diferentes concentrações, ao estudo de regressão polinomial, utilizando-se do software estatístico AgroEstat® (BARBOSA; MALDONADO JÚNIOR, 2015).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve interação entre as concentrações e as fontes para o acúmulo de Si na parte aérea de plantas de agrião (Figura 4a) e almeirão (Figura 4b), cultivadas em casa de vegetação. O aumento na concentração de Si aplicado em ambas as hortaliças resultou em incremento linear do acúmulo de Si, independentemente da fonte utilizada (Figuras 4a e 4b). Observou-se, no agrião, que ocorreu maior acúmulo de Si com as aplicações foliares de Si na maior concentração (Figura 4a) e, no almeirão, em todas as concentrações de Si utilizadas (Figura 4b), destacou-se a fonte SiK em relação ao SiNaK. O aumento do acúmulo deu-se devido ao aumento da massa da matéria fresca do agrião e do almeirão (Figuras 6a e 6b), e, respectivamente, ocorreu o aumento da massa da matéria seca.

Nota-se que a pulverização foliar de Si, nas duas fontes, foi efetiva para promover o incremento da absorção foliar do elemento nas duas hortaliças. Portanto, a estratégia da pulverização foliar de Si foi útil para favorecer sua absorção nas folhas, mesmo em plantas consideradas não acumuladoras do elemento benéfico.

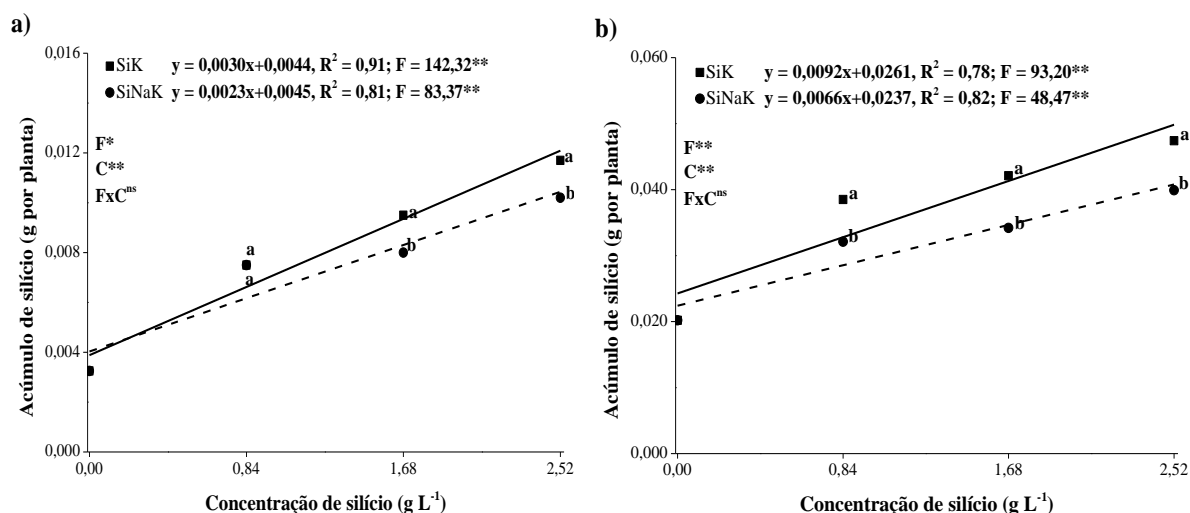


Figura 4. Acúmulo de Si nas folhas do agrião (a) e do almeirão (b), em função das concentrações de silício (C) via foliar, nas fontes (F) de silicato de potássio (SiK) e silicato de potássio e sódio (SiNaK). ** e ^{ns} - Significativo a 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente, pelo teste F. Letras iguais indicam que as fontes são semelhantes pelo teste t-Student, a 5% de probabilidade.

O acúmulo do Si nas folhas com pulverização foliar não indica se houve a biofortificação, pois é apenas verificada com o dado do teor foliar do Si na hortaliça.

Não ocorreu interação entre as fontes e as concentrações de Si para o número de folhas por planta para o agrião e o almeirão (Figuras 5a e 5b). O aumento na concentração de Si aplicado resultou em incremento com ajuste linear do número de folhas por planta das duas hortaliças (Figuras 5a e 5b). No agrião e no almeirão, o maior número de folhas ocorreu com as pulverizações foliares de SiK na maior concentração para ambas as culturas (Figuras 5a e 5b). O aumento do número de folhas está relacionado ao efeito da pulverização foliar do Si em promover incremento do elemento na planta (Figuras 4a e 4b), que pode ter favorecido as variáveis fisiológicas relatadas por diversos autores (EPSTEIN, 1999; TAKAHASHI; KURATA, 2007).

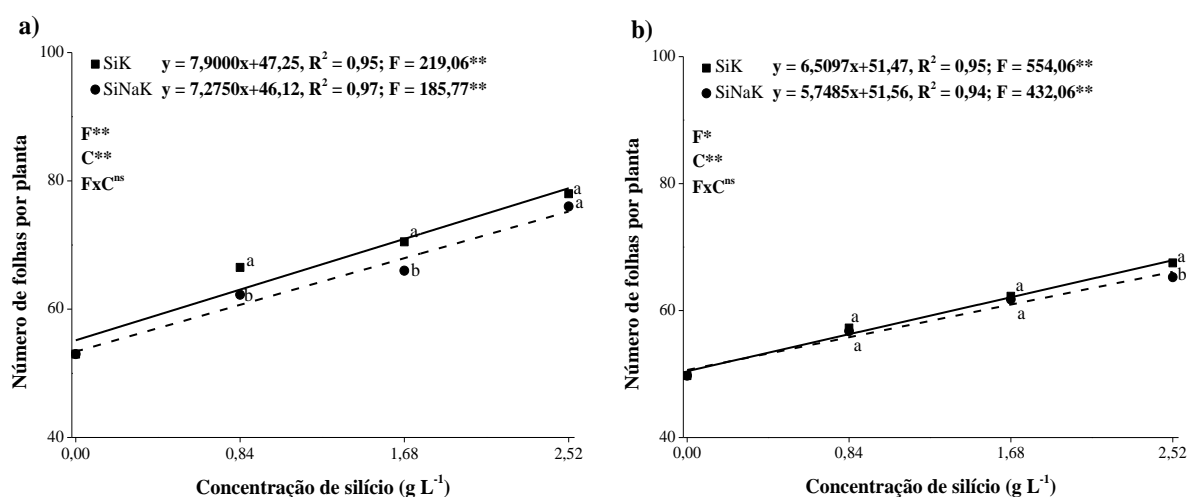


Figura 5. Número de folhas no agrião (a) e no almeirão (b), em função das concentrações de silício (C) via foliar, nas fontes (F) de silicato de potássio (SiK) e silicato de potássio e sódio (SiNaK). ** e ^{ns}- Significativo a 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente, pelo teste F. Letras iguais são semelhantes pelo teste t-Student, a 5% de probabilidade.

Ocorreu interação entre as fontes e as concentrações de Si, indicando que a produção de massa da matéria fresca depende da fonte do elemento empregado (Figuras 6a e 6b). Nas duas hortaliças, a aplicação de Si foliar, nas duas fontes, incrementou linearmente a produção de massa da matéria fresca das plantas (Figuras 6a e 6b). Observou-se que o emprego do Si na forma de silicato de potássio se

destacou, promovendo maior produção de massa da matéria fresca apenas na maior concentração do Si no agrião (Figura 6a) e em todas as concentrações de Si para o almeirão (Figura 6b).

O aumento da massa da matéria fresca deve estar diretamente relacionado ao aumento do número de folhas do agrião e do almeirão, promovido com a pulverização foliar de Si (Figuras 5a e 5b) e com o aumento do teor de ascorbato (Figuras 9a e 9b).

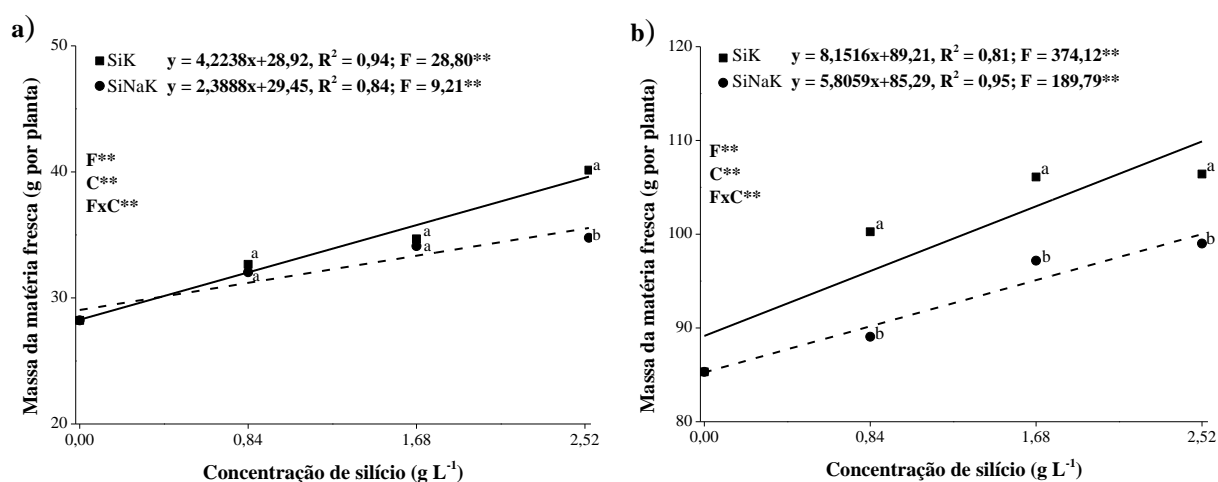


Figura 6. Massa da matéria fresca do agrião (a) e do almeirão (b), em função das concentrações de silício (C) via foliar, nas fontes (F) de silicato de potássio (SiK) e silicato de potássio e sódio (SiNaK). **: Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F. Letras iguais são semelhantes pelo teste t-Student a 5% de probabilidade.

Verificou-se que não ocorreu interação entre as fontes e as concentrações de Si para a massa da matéria seca por plantas de agrião e almeirão (Figuras 7a e 7b).

O emprego do SiK destacou-se, promovendo maior massa de matéria seca somente no almeirão, apenas na maior concentração, aplicado via foliar (Figura 7b). Obteve-se aumento da massa da matéria seca com o uso da pulverização foliar de Si na maior concentração, em relação ao controle, aumentando o acúmulo de Si para ambas as hortaliças ($R = 0,87^{**}$), que atingiu para agrião 31% (SiK) e 24% (SiNaK), e para almeirão, 23% (SiK) e 12% (SiNaK).

O benefício da pulverização foliar de Si no acréscimo da massa da matéria seca deve-se ao efeito do elemento nas variáveis de crescimento, dada alta correlação observada no aumento do número de folhas do agrião ($r = 0,72^{**}$) e do almeirão ($r = 0,66^{**}$), e da massa da matéria fresca do agrião ($r = 0,81^{**}$) e do almeirão ($r = 0,79^{**}$).

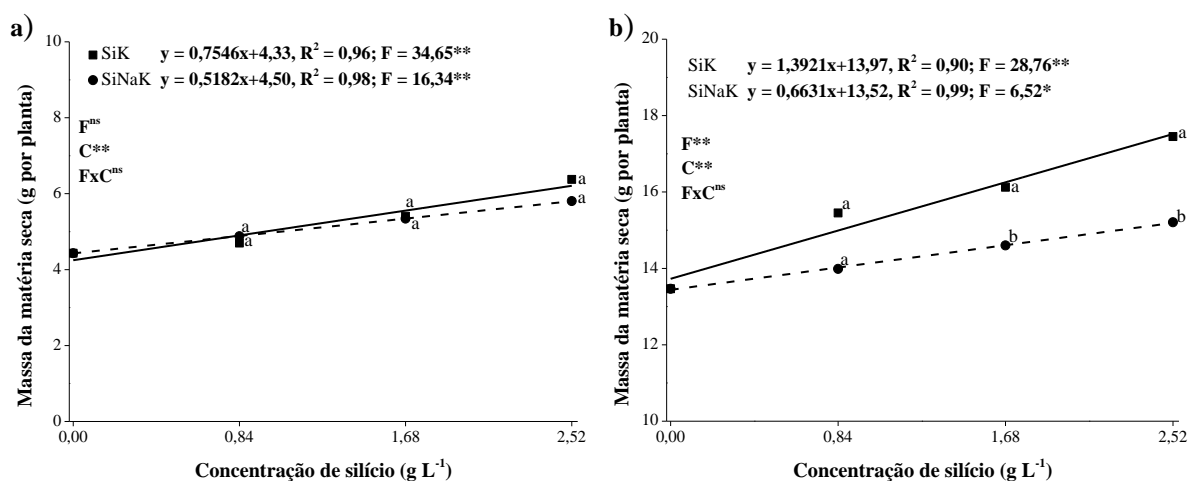


Figura 7. Massa da matéria seca do agrião(a) e do almeirão (b), em função das concentrações de silício (C) via foliar, nas fontes (F) de silicato de potássio (SiK) e silicato de potássio e sódio (SiNaK). ** e ^{ns}- Significativo a 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente, pelo teste F. Letras iguais são semelhantes pelo teste t-Student, a 5% de probabilidade.

Para o teor de Si foliar, não houve interação entre as fontes e as concentrações de Si no agrião (Figura 8a) e no almeirão (Figura 8b), em casa de vegetação. O aumento na concentração de Si pulverizado nas folhas com as duas fontes do elemento resultou em incremento, com ajuste linear no teor de Si foliar nas duas hortaliças (Figuras 8a e 8b).

Obteve-se aumento do teor de Si foliar expressivo, quando se compara o tratamento-controle com o tratamento com maior concentração de Si pulverizado, atingindo para o agrião de 62% (SiK) e 61% (SiNaK), e para o almeirão de 45% (SiK) e 43% (SiNaK) (Figuras 8a e 8b). Este fato fortalece a hipótese de que a aplicação foliar de Si é efetiva para promover a biofortificação do elemento nas duas hortaliças.

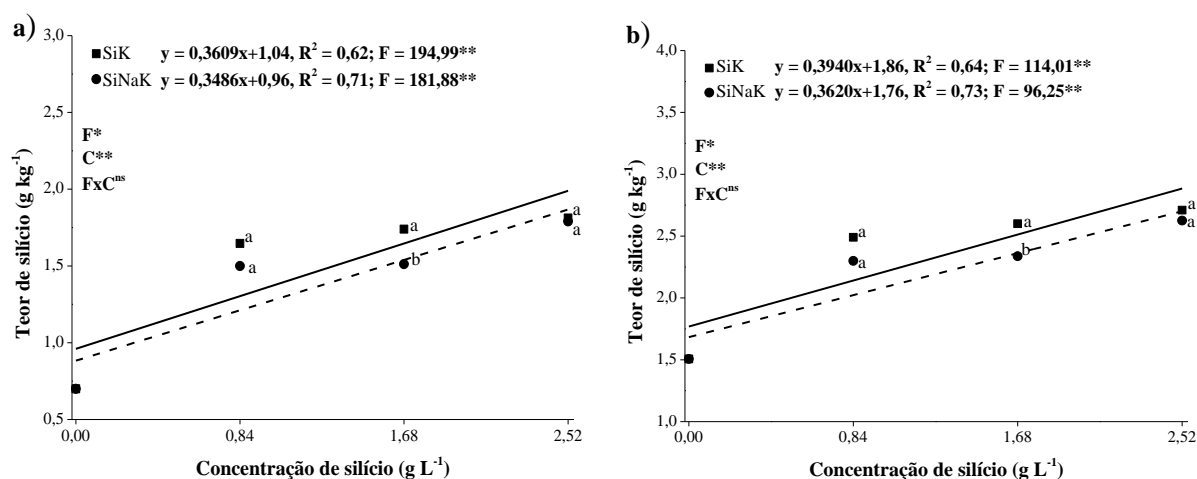


Figura 8. Teor foliar de silício do agrião (a) e do almeirão (b), em função das concentrações de silício (C) via foliar, nas fontes (F) de silicato de potássio (SiK) e silicato de potássio e sódio (SiNaK). ** e ^{ns}- Significativo a 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente, pelo teste F. Letras iguais são semelhantes pelo teste t-Student, a 5% de probabilidade.

A aplicação de Si foliar para as duas hortaliças promoveu incremento com ajuste linear no teor de ascorbato, independentemente da fonte do elemento benéfico (Figuras 9a e 9b).

O emprego do Si foliar na forma de silicato de potássio destacou-se, promovendo maior teor de ascorbato nas folhas do agrião e do almeirão, na maior concentração de Si aplicada (Figuras 9a e 9b). Observou-se que o aumento do teor de ascorbato apresentou alta correlação com teor foliar de Si para o agrião ($r = 0,70^{**}$) e o almeirão ($r = 0,53^{**}$), e o acúmulo de Si para o agrião ($r = 0,84^{**}$) e o almeirão ($r = 0,62^{**}$). Este fato indica que o aumento da absorção de Si foi responsável por aumentar o teor de ascorbato no tecido vegetal das duas hortaliças.

O efeito do Si no incremento do teor de ascorbato nas folhas é uma constatação inédita em hortaliças folhosas, havendo apenas um relato em plantas de trigo (MA et al., 2016). Este fato é importante, especialmente em hortaliças folhosas, pois reflete na qualidade do vegetal devido ao ascorbato ser essencial ao ser humano.

Este aumento do teor de ascorbato nas duas hortaliças com uso das fontes de Si foliar poderia estar contribuindo com o incremento da massa seca (Figuras 7a e 7b) pois as plantas foram cultivadas sob estresse térmico (Figura 2), que induz a produção de espécies reativas ao oxigênio (ROS), que provoca danos oxidativos dos

componentes celulares das folhas (EPSTEIN, 1994). Diante disso, os dados deste trabalho reforçam a indicação de que a absorção de Si pode aliviar estresse térmico nas plantas (EPSTEIN, 1999; TAKAHASHI; KURATA 2007).

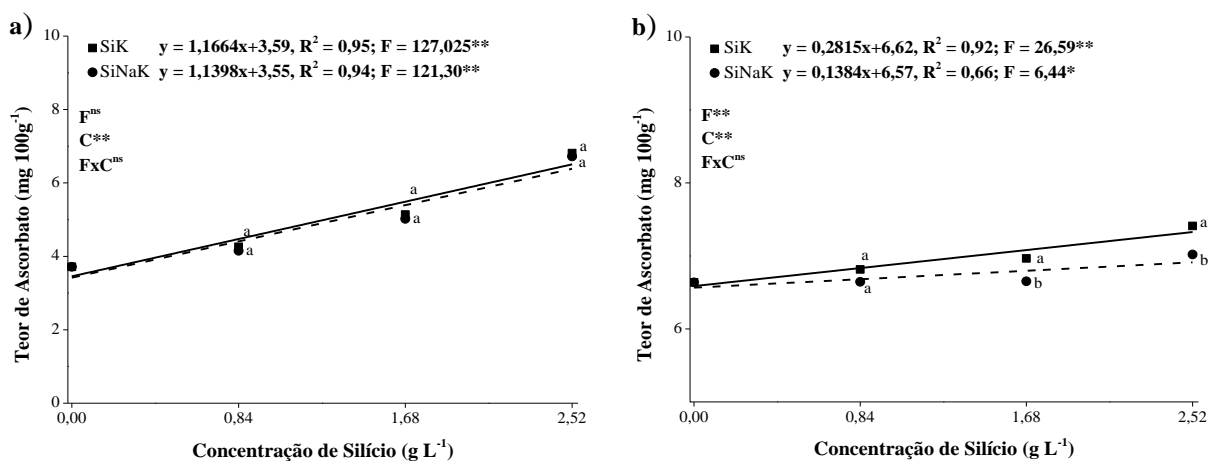


Figura 9. Teor de ascorbato no agrião (a) e no almeirão (b), em função das concentrações de silício (C) via foliar, nas fontes (F) de silicato de potássio (SiK) e silicato de potássio e sódio (SiNaK). ** e ^{ns}- Significativo a 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente, pelo teste F. Letras iguais são semelhantes pelo teste t-Student, a 5% de probabilidade.

A perda de água das duas hortaliças incrementou com ajuste linear ao longo do período de armazenamento, nas amostras de folhas que receberam Si foliar, na maior concentração de 2,52 g L⁻¹ de Si na forma de silicato de potássio (SiK) e silicato de potássio e sódio (SiNaK), e sem aplicação de Si (Figuras 10a e 10b). Este aumento da perda de água com o tempo de armazenamento das hortaliças folhosas é um fato natural e conhecido.

O Si é absorvido pela folha nas plantas, na forma de ácido monossilícico (H₄SiO₄) (TAIZ et al., 2015), havendo depósito de silício, na forma de sílica amorfa (SiO₂.nH₂O), na parede celular, podendo diminuir a transpiração (DATNOFF et al., 2001), e refletir em menor perda de água durante o armazenamento, beneficiando a qualidade pós-colheita das hortaliças.

Estudos realizados com hortaliças folhosas (RESENDE; YURI; SOUZA, 2007) mostrou que a ação benéfica do silício tem sido associada a diversos efeitos indiretos, como o aumento na eficiência da capacidade fotossintética, a redução da transpiração e o aumento da resistência mecânica das células.

No entanto, observou-se, nas folhas do agrião, que as amostras que receberam Si foliar apenas na forma de SiK apresentaram menor perda de água em relação às amostras do controle (sem Si), em todos os dias de armazenamento (Figura 10a). No entanto, no almeirão, as duas fontes de Si diminuíram a perda de água em relação ao controle (sem Si), mas o SiK destacou-se do SiNaK em todos os dias de armazenamento (Figura 10b).

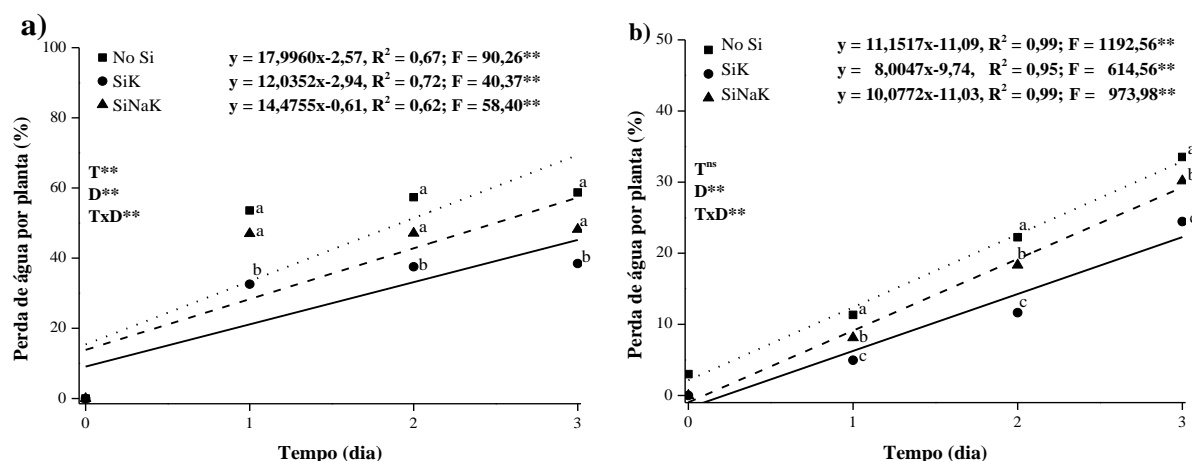


Figura 10. Perda de água das folhas do agrião (a) e do almeirão (b), em função dos tratamentos (T): aplicação de Si foliar na concentração de $2,52 \text{ g L}^{-1}$ de Si no tempo de armazenamento, em dia (D) das fontes de silicato de potássio (SiK) e silicato de potássio e sódio (SiNaK) e controle (sem aplicação de Si). **: 5% de probabilidade, pelo teste F. Letras iguais são semelhantes pelo teste t-Student, a 5% de probabilidade.

Em alface, também foi obtido efeito benéfico na conservação pós-colheita da hortaliça, em função da pulverização foliar de silício (RESENDE; YURI; SOUZA, 2007). Este efeito benéfico do Si em diminuir a perda de água dos tecidos vegetais deve-se, possivelmente, ao depósito de silício abaixo da cutícula da folha, devido ao processo de polimerização de Si, que converte (H_4SiO_4) em ácido silícico coloidal e, finalmente, para gel de sílica $(\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O})$ (MA; TAKAHASHI, 2002), diminuindo a transpiração (DATNOFF et al., 2001) e aumentando a resistência mecânica devido ao seu papel na síntese de hemicelulose e lignina (KIM et al., 2002).

Portanto, é possível diminuir a perda de água das folhas com apenas a pulverização foliar de Si, sendo aceita esta hipótese, fato inédito para as hortaliças estudadas. Esta informação é valiosa para as hortaliças folhosas que apresentam vida de prateleira baixa.

5 CONCLUSÃO

A pulverização foliar de silício é viável agronomicamente para incrementar o acúmulo deste elemento na planta, para o crescimento e a biofortificação, e diminuir a perda de água da folha na pós-colheita do agrião-da-terra e do almeirão, destacando-se a concentração de $2,52 \text{ g L}^{-1}$ de Si na forma de silicato de potássio.

REFERÊNCIAS

ASHRAF, M.; AFZAL, M.; AHMAD, R.; MAQSOOD, M. A.; SHAHZAD, S. M.; AZIZ, A.; AKHTAR, N. Silicon management for mitigating abiotic stress effects in plants. **Plant Stress**, Punjab, v. 4, n. 2, p. 104–114, 2010.

BARBOSA, J. C.; MALDONADO JÚNIOR, W. **Software AgroEstat** – Sistema de análises estatísticas de ensaios agronômicos. Jaboticabal: UNESP, 2015.

BATAGLIA, O. C.; FURLANI, A. M. C.; TEIXEIRA, J. P. F.; FURLANI, P. R.; GALLO, J. R. **Métodos de análise química de plantas**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 1983. 48 p. (Boletim Técnico, 78).

BRASIL. Ministério da Saúde. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. Brasília, 2005. Disponível em: <<http://www.ial.sp.gov.br/ial/publicacoes/livros/metodo-s-fisico-quimicos-para-analise-de-alimentos>>. Acesso em: 6 jul. 2017.

CARLISLE, E. M. Silicon: an essential element for the chick. **Science**, Washington-DC, v. 178, n. 4061, p. 619–621, 1972.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2005. 783 p.

CURRIE, H. A.; PERRY, C. C. Silica in plants: biological, biochemical and chemical studies. **Annals of Botany**, Oxford, v. 100, n. 7, p. 1383–1389, 2007. Disponível em: <<https://doi.org/10.1093/aob/mcm247>>

DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDÖRFER, G. H. **Silicon on agriculture**. Amsterdam: Elsevier Science, 2001. p. 424.

EPSTEIN, E. The anomaly of silicon in plant biology. **Proceedings of National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington-DC, v. 91, n. 1, p. 11–17. 1994. Disponível em: <<https://doi.org/10.1073/pnas.91.1.11>>.

EPSTEIN, E. Silicon. **Annual Review of Plant Physiology and Molecular Biology**, Palo Alto, v. 50, p. 641–664. 1999. Disponível em: <<https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.50.1.641>>

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Mineral nutrition of plants: principles and perspectives**. 2. ed. Sunderland: Sinauer, 2005. 380 p.

GALATI, V. C.; GUIMARÃES, J. E. R.; MARQUES, K. M.; FERNANDES, J. D. R.; CECÍLIO-FILHO, A. B.; MATTIUZ, B. H. Aplicação de silício, em hidroponia, na conservação pós-colheita de alface americana 'Lucy Brown' minimamente processada. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 11, p. 1932–1938, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20140334>>

GONÇALVES, A. S. F.; GONÇALVES, W. M.; SILVA, J. M. K.; OLIVEIRA, M.R. Uso da biofortificação vegetal: uma revisão. **Cerrado Agrociências**, Patos de Minas, n. 6, p. 75–87, 2015.

GUERRERO, A. C.; BORGES, L. S.; FERNANDES, D. M. Efeito da aplicação foliar de silício em rúcula cultivada em dois tipos de solos. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 27, n. 4, p. 591–596, 2011.

GUNES, A.; PILBEAM, D. J.; INAL, A.; COBAN, S. Influence of silicon on sunflower cultivars under drought stress, in growth, antioxidant mechanisms, and lipid peroxidation. **Journal Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 39, n. 13–14, p. 1532–2416, 2008. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/00103620802134651>>

HOAGLAND, D. R.; ARNON, D. I. **The water culture method for growing plants without soils**. Berkeley: California Agricultural Experimental Station, 1950. p. 347

JUGDAOHSINGH, R. Silicon and bone health. **Journal of Nutrition Health Aging**, Rockville, v. 11, n. 2, p. 99–110, 2007.

KIM, S. G.; KIM, K. W.; PARK, E. W.; CHOI, D. Silicon-induced cell wall fortification of rice leaves: A possible cellular mechanism of enhanced host resistance to blast. **Phytopathology**, St. Paul, v. 92, n. 10, p. 1095–1103, 2002. Disponível em: <<https://doi.org/10.1094/PHYTO.2002.92.10.1095>>

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; NOLLA, A. **Análise de silício: solo, planta e fertilizante**. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia / Instituto de Ciências Agrárias, 2004. 37 p. (Boletim Técnico, 02)

LIANG, Y.; SUN, W.; ZHU, Y. G.; CHRISTIE, P. Mechanisms of silicon-mediated alleviation of abiotic stresses in higher plants: a review. **Environmental Pollution**, Barking, v. 147, n. 2, p. 422–428, 2007. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2006.06.008>>

LIMA FILHO, O. F. **História e uso do silicato de sódio na agricultura**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2009. 112 p.

LUZ, J. M. Q.; GUIMARAES S. T. M. R.; KORNDÖRFER, G. H. Produção de alface em solução nutritiva com e sem silício. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 4, n. 3, p. 295–300, 2006. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0102-05362006000300005>>

MA, D.; SUN, D.; CHENYANG, W.; QIN, H.; DING, H.; LI, Y.; GUO, T. Silicon application alleviates drought stress in wheat through transcriptional regulation of multiple antioxidant defense pathways. **Journal of Plant Growth Regulation**, New York, v. 35, n. 1, p. 1–10, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s00344-015-9500-2>>

MA, J. F.; TAKAHASHI, E. **Soil, fertilizer, and silicon research in Japan**. Elsevier: Amsterdam, 2002. 294 p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. London: Academic Press, 1995. 889 p.

MEENA, V. D.; DOTANIYA, M. L.; COUMAR, V.; RAJENDIRAN, S.; KUNDU, S.; RAO, A. S. A case for silicon fertilization to improve crop yields in tropical soils. **Proceedings of the National Academy of Sciences of India – Section B – Biological Sciences**, Allahabad, v. 84, n. 3, p. 505–518, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s40011-013-0270-y>>

NIELSEN, F. H. Update on the possible nutritional importance of silicon. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, Stuttgart, v. 28, n. 4, p. 379–382. 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2014.06.024>>

PEREIRA, D. C.; GRUTZMACHER, P.; BERNARDI, F. H.; MALLMANN, L. S.; COSTA, L. A. M.; COSTA, M. S. S. M. Produção de mudas de almeirão e cultivo no campo, em sistema agroecológico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 10, p. 1100–1106, 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1415-43662012001000010>>

PRASAD, P. V. V.; THOMAS, J. M. G.; NARAYANAN, S. Global warming effects. **Reference Module in Life Sciences – Encyclopedia of Applied Plant Sciences**, Amsterdam, v. 3, p. 289–299, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394807-6.00013-7>>

RESENDE, G. M.; YURI, J. E.; MOTA, J. H.; FREITAS, S. A. C.; RODRIGUES JÚNIOR, J. C.; SOUZA, R. J.; CARVALHO, J. G. Adubação foliar com silício em alface americana (*Lactuca sativa* L.) em cultivo de verão. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 2, p. 374, 2003.

RESENDE, G. M.; YURI, J. E.; MOTA, J. H.; RODRIGUES JÚNIOR, J. C.; SOUZA, R. J.; CARVALHO, J. G. Produção de alface americana em função de doses e épocas de aplicação de Supa Potássio®. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 2, p. 174–178, 2005. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0102-05362005000200002>>

RESENDE, G. M.; YURI, J. E.; SOUZA, R. J. Épocas de plantio e doses de silício no rendimento de alface tipo americana. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 25, n. 3, p. 455–459, 2007. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0102-05362007000300026>>

SALTZMAN, A.; ANDERSSON, M. S.; ASARE-MARFO, D.; LIVIDINI, K.; MOURA, F. F.; MOURSI, M.; OPARINDE, A.; TALEON, V. Biofortification techniques to improve food security. **Reference Module in Food Science**, Amsterdam, p. 1–9, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.03078-X>>

SANTOS, C. J. **Oligoelementos e osteoporose**. 2012. Dissertação (Mestrado Integrado em Medicina; Artigo de Revisão Bibliográfica) – Instituto de Ciências Biomédicas Abel Salazar, Universidade do Porto, Portugal, 2012. Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/66087/2/30567.pdf>>. Acesso em: 10 fev. 2017.

SILVA, R. W. C.; PAULA, B. L. Causa do aquecimento global: antropogênica versus natural. **Terra e Didática**, Campinas, v. 5, n. 1, p. 42–49, 2009.

SOUZA, S. R.; REZENDE, R.; FREITAS, S. L. P.; GONÇALVES, C. A. A.; REZENDE, S. G. Produção de matéria seca e composição de folhas de macronutrientes em alface sob fertirrigação com nitrogênio, potássio e silício. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 12, p. 1166–1171, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n12p1166-1171>>

TAIZ, L.; ZEIG, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Plant physiology and development**. Oxford: Sinauer Associates, 2015. 761 p.

TAIZ, I.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. (Orgs.). **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888 p.

TANAMATI, Y. F. **Fontes e doses de corretivos de acidez do solo na nutrição e produção de alface**. 2012. 60 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Horticultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2012.

TAKAHASHI, N.; KURATA, K. Relationship between transpiration and silica content of the rice panicle under elevated atmospheric carbon dioxide concentration. **Journal of Agricultural Meteorology**, Kochi, v. 63, n. 2, p. 89–94, 2007. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.2480/agrmet.63.89>>

VIEIRA, F. A. **Catálogo brasileiro de hortaliças**. Brasília: Embrapa Hortaliças / Sebrae, 2010. 60 p.