**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Relação K:Ca e aplicação de silício na solução nutritiva
para o cultivo hidropônico de coentro**

Mateus Augusto Donegá

**Dissertação apresentada para obtenção do título Mestre em
Ciências. Área de concentração: Fitotecnia**

**Piracicaba
2009**

Mateus Augusto Donegá
Engenheiro Agrônomo

**Relação K:Ca e aplicação de silício na solução nutritiva
para o cultivo hidropônico de coentro**

Orientadora:
Profa. Dra. **SIMONE DA COSTA MELLO**

**Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração: Fitotecnia**

**Piracicaba
2009**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP**

Donegá, Mateus Augusto

Relação K:Ca e aplicação de silício na solução nutritiva para o cultivo hidropônico de coentro / Mateus Augusto Donegá. - - Piracicaba, 2009.
62 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2009.
Bibliografia.

1. Coentro 2. Hidroponia 3. Hortaliças - Qualidade 4. Produção vegetal I. Título

CDD 633.84
D681r

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

À minha mãe, Deize Lucidi Cordeiro Soares e ao meu pai Antonio Aparecido Donegá (*in memoriam*), pelas palavras de conforto, incentivo, ensinamentos, confiança, valores e principalmente por terem dado suas vidas para que eu pudesse realizar os meus sonhos.

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por tudo que sou e que conquistei.

À Professora Simone da Costa Mello, pela experiência e conhecimento que me foram passados, pela paciência e pela amizade.

À Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia pela oportunidade de realização do curso e à secretária Luciane Lopes Toledo pelo apoio.

À FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo), pela concessão da bolsa de estudo.

Aos professores do Departamento de Produção Vegetal, Departamento de Ciências Biológicas, Departamento de Ciências Exatas pelos conhecimentos transmitidos.

Ao professor Marcílio de Almeida e toda a equipe do laboratório de morfogênese e biologia reprodutiva de plantas, em especial a técnica de laboratório Cassia Regina Fernandes Figueiredo e aluna de Doutorado Katherine Derlene Batagin.

Aos funcionários da área experimental do Departamento de Produção Vegetal, José Nivaldo dos Santos, Gerson Alexandre de Almeida, Aparecido Donizete Serrano e Gaudêncio Stênico, pela colaboração em todas as etapas dos experimentos.

À Universidade de São Paulo (USP), pelos recursos físicos e humanos disponibilizados.

Aos professores do Departamento de Agronomia da Universidade Estadual de Maringá (UEM), Campus de Umuarama pelo incentivo para eu seguir a carreira acadêmica, em especial aos professores Cláudia Regina Dias Arieira, Cristina Giatti de Souza e Leandro Bochi da Silva Volk.

Aos meus amigos de graduação Edenilson Golçaves Miguel, Júlio César da Silva Urbano, Kleber de Prince e Lucas Ferreira da Rocha pelo encorajamento na realização desse projeto.

À equipe da Divisão de Biblioteca e Documentação, pelo apoio e gentileza no ajuste das normas da dissertação.

À empresa UNAPROSIL pela doação do silicato de potássio.

Aos meus amigos e colegas moradores e ex-moradores da Vila da Pós-Graduação e da minha atual casa: Alexandre Barbosa (*in memoriam*), Diógenes F. Filho, Tiago F. de Santana, Luciane de S. Mendes, Fabiane de S. Costa, Andréa Roberto, Fabiane Silva, Marcelino A. R. de Pascoa, Deise N. Furlan, Ronaldo Lucas, Shirley Famelli,, Julieth Parra, Tiago A. de Oliveira, Vanderson R. de Paula, Alexsandro C. dos S. Almeida, Francisco de A. de Oliveira, Carlos J. G. de S. Lima, Ricardo Olinda, Marina Maestre e Rafael Pivotto Bortolotto pelos momentos de parceria e alegria.

Aos meus amigos e colegas de pós-graduação: Josina Nimi Kassoma, Giovani Rossi, Camila Abrahão, Mariele Piovesan, Rafael Campagnol, Roberto Melo, Cleucione de Oliveira Pessoa, Luigi Trancredi d'Orlo, Ester Holckman, Diovany Doffinger Ramos e Thiago de Oliveira Canevali pela amizade, apoio e colaboração.

À equipe da Hidroponia Bianca Ayumi Nakata (Faço-Nada), Grazielle Ferezini (Salsiña), Guilherme Guilger Despontin (3-Pontin) sem a qual não teria conseguido realizar os experimentos.

Ao GEPOL – (Grupo de Estudos e Práticas em Olericultura), Isadora (GT), Flávio (G-ní), Flávia (Du-Porto), Brenno (Zero), Gabriel (Jã), Raquel (1000-Goals), Ivan (Viaduto), Ana (Koróti), Bruna (KY), Sara (Milq), Ricardo (Cimidão), Taisa (Corkovado) e Nayara (Tatami) pela amizade, incentivo e colaboração

Ao meu irmão Ronaldo Aparecido Cordeiro, à sua esposa Alcinete e aos meus sobrinhos Jennifer, Bruna, Vitória, e Vitor por alguns feriados em família.

Ao meu irmão Marcio Cordeiro pelo incentivo.

Aos meus tios Maria Emília Pereira e Francisco Pereira pelo apoio nos momentos de maior dificuldade e pelo contínuo incentivo para realização dos meus projetos.

À minha companheira Mariana Caroline Pelissari por toda a atenção, compreensão, carinho e seu amor por mim.

E a todas as pessoas que contribuíram de forma direta ou indireta para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

RESUMO	9
ABSTRACT	11
LISTA DE FIGURAS	13
LISTA DE TABELAS	15
1 INTRODUÇÃO	17
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1 Relação entre potássio e cálcio na solução nutritiva	19
2.2 Silício na planta	21
2.3 Sistema hidropônico NFT.....	23
2.4 Coentro	24
3 MATERIAL E MÉTODOS	27
3.1 Localização e características da área experimental	27
3.2 Sistema hidropônico	28
3.3 Qualidade da água	29
3.4 Delineamento experimental.....	30
3.5 Solução nutritiva.....	30
3.6 Manejo da solução	31
3.7 Produção e transplante das mudas	31
3.8 Avaliações	31
3.9 Análise estatística	33
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
4.1 Aspecto geral das plantas ao longo do seu desenvolvimento.....	35
4.2 Dados biométricos	36

4.3 Análises Anatômicas	41
4.4 Marcha de absorção de nutrientes	44
4.5 Pós-colheita	52
5 CONCLUSÕES	55
REFERÊNCIAS	57

RESUMO

Relação K:Ca e aplicação de silício na solução nutritiva para o cultivo hidropônico de coentro

O manejo da solução nutritiva leva em consideração as concentrações e as relações entre os nutrientes para a obtenção de elevada produtividade e qualidade das hortaliças cultivadas em sistemas hidropônicos. A relação adequada entre K e Ca é fundamental para tornar máxima a absorção desses elementos, uma vez que o excesso de K pode reduzir a absorção de Ca e vice-versa. Além dos elementos considerados essenciais, os benéficos como o silício pode estimular a absorção de outros nutrientes, dentre eles o cálcio, aumentar a produtividade e a durabilidade pós-colheita dos produtos. Esse trabalho teve por objetivo avaliar a influência das relações K:Ca 0,75:1,0; 1,25:1,0 e 1,5:1,0 e da aplicação de silício (0 e 56 mg L⁻¹) via solução nutritiva, no crescimento, na produtividade, na marcha de absorção de nutrientes aos 7, 14, 21 e 28 dias após o transplante das mudas (DAT), e na da qualidade pós-colheita do coentro Português 'Pacífico', cultivado em sistema hidropônico NFT. O experimento foi conduzido em blocos ao acaso, em um fatorial 3x2 (três relações K:Ca: 0,75:1,0; 1,25:1,0 e 1,50:1,0 e dois níveis de Si: 0 e 56 mg L⁻¹), em esquema de parcelas subdivididas no tempo, avaliadas em quatro épocas (7, 14, 21 e 28 dias após transplante das mudas– DAT). As relações K:Ca de 1,25:1,0 e 1,50:1,0 originaram plantas mais vigorosas quanto à altura, massa fresca e seca da parte aérea e das raízes, área foliar e número de folhas. O Si aumentou a massa fresca da parte aérea e das raízes e o número de folhas aos 28 DAT. A relação K:Ca 0,75:1,0 na presença de Si proporcionou maior número de estômatos na face abaxial da folha. A maior espessura do parênquima lacunoso foi obtida na K:Ca 1,5:1,0. Na presença de Si, a relação K:Ca 1,5:1,0 foi a que gerou maior espessura do parênquima paliçádico e do mesófilo. A ordem de extração tanto na parte aérea como nas raízes foi: K > N > Ca > P > Mg > S. O acúmulo de N, P, K, Ca, Mg, S e Si pela parte aérea representou 85%, 79,9%, 89,2%, 86,4%, 77,8%, 82,3% e 58,1%, respectivamente, em relação ao total. Nos três dias de armazenamento do coentro ocorreu menor perda de massa nos tratamentos que receberam silício em solução nutritiva.

Palavras-chave: *Coriandrum sativum* L.; Hidroponia; Produção; Qualidade

ABSTRACT

Ratio K: Ca and application of silicon in the nutrient solution for the hydroponic cultivation of coriander

The management of nutrient solution takes into account nutrient concentrations and relationships between nutrients to achieve high productivity and quality of vegetables grown in hydroponic systems. The appropriate ratio between K and Ca is essential for maximum absorption of these elements, once an excessive amount of K may reduce Ca absorption, and vice versa. Besides the elements considered essential, benefic elements such as silicon may not only stimulate absorption of other nutrients, including Ca, but also increase productivity and longevity of postharvest products. This work aimed to study the influence of relations K: Ca 0,75:1,0; 1,25:1,0 and 1.5:1.0 and application of silicon (0 to 56 mg L⁻¹) nutrient solutions on growth, productivity, nutrient uptake at 7, 14, 21 and 28 days after transplanting (DAT), and postharvest quality coriander Português 'Pacific', grown in hydroponic system NFT. The experiment was in randomized blocks in factorial scheme 3x2, that is, three ratios K: Ca and two doses of Si, in split plot in time, valued at four times (7, 14, 21 and 28 days after transplanting, DAT) with four replications. The K: Ca 1,50:1,0 and 1,25:1,0 ratio originated more vigorous plants for plant height, fresh and dry weight of shoots and roots, leaf area and leaf number. Si increased in fresh weight of shoots and roots and number of leaves at 28 DAT. The K: Ca 0,75:1,0 ratio in Si the presence of a greater number of stomata under the leaf. The thick spongy parenchyma was obtained with K: Ca 1.5:1.0. In the presence of Si, the ratio K: Ca 1.5:1.0 was the one that created a greater thickness of the palisade and mesophyll. The order of uptake, both in shoots and roots was: K> N> Ca> P> Mg> S. The accumulation of N, P, K, Ca, Mg, S and Si in shooting accounted for 85%, 79.9%, 89.2%, 86.4%, 77.8%, 82.3% and 58.1%, respectively, compared to the total. In three days of coriander storage less weight loss occurred in treatments with silicon in the nutrient solution.

Keywords: *Coriandrum sativum* L., hydroponics, Production, Quality

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Temperaturas máxima (Tmax), mínima (Tmin) e média (Tmed) registradas durante a condução do experimento	27
Figura 2 - Umidade relativa máxima (URmax), mínima (URmin) e média (URmed) registradas durante a condução do experimento	28
Figura 3 - Vista frontal da casa-de-vegetação (a); interior da casa-de-vegetação (b); sistema de bombeamento e registro de drenagem (c) e calha de retorno e reservatório (d)	29
Figura 4 - Aspecto geral das plantas de coentro aos 7 (a), 14 (b), 21 (c) e 28 (d) dias após o transplante das mudas	35
Figura 5 - Lâmina do folíolo direito de uma folha madura de coentro	41
Figura 6 - Quantidade acumulada de nitrogênio na parte aérea de coentro, na presença e na ausência de silício, em função dos dias após o transplante das mudas (DAT)	46
Figura 7 - Quantidade acumulada de cálcio na parte aérea de coentro, na presença e na ausência de silício, em função dos dias após o transplante das mudas (DAT)	46
Figura 8 - Quantidade acumulada de fósforo nas raízes de coentro, na presença e na ausência de silício, em função dos dias após o transplante das mudas (DAT)	47
Figura 9 - Quantidade acumulada de potássio nas raízes de coentro, na presença e na ausência de silício, em função dos dias após o transplante das mudas (DAT)	47
Figura 10 - Quantidade acumulada de magnésio nas raízes de coentro, na presença e na ausência de silício, em função dos dias após o transplante das mudas (DAT)	48
Figura 11 - Quantidade acumulada de nitrogênio na parte aérea de coentro, para cada relação K:Ca, em função dos dias após o transplante das mudas (DAT)	48
Figura 12 - Quantidade acumulada de fósforo na parte aérea de coentro, para cada relação K:Ca, em função dos dias após o transplante das mudas (DAT)	49
Figura 13 - Quantidade acumulada de potássio na parte aérea de coentro, para cada relação K:Ca, em função dos dias após o transplante das mudas (DAT)	49
Figura 14 - Quantidade acumulada de magnésio na parte aérea de coentro, para cada relação K:Ca, em função dos dias após o transplante das mudas (DAT)	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características físico-químicas e químicas da água	30
Tabela 2 - Quantidades de nutrientes (mg L^{-1}) empregadas em cada solução nutritiva	31
Tabela 3 - Efeitos das relações K:Ca e da aplicação de Si na altura das plantas (cm) em função dos dias após o transplante das mudas (DAT)	38
Tabela 4 - Efeitos das relações K:Ca e da aplicação de Si na massa fresca da parte aérea (g) em função dos dias após o transplante das mudas (DAT)	38
Tabela 5 - Efeitos das relações K:Ca e da aplicação de Si na massa fresca das raízes (g) em função dos dias após o transplante das mudas (DAT)	39
Tabela 6 - Efeitos das relações K:Ca na área foliar (cm^2) em função dos dias após o transplante das mudas (DAT)	39
Tabela 7 - Efeitos das relações K:Ca e da aplicação de Si na massa seca da parte aérea (g) em função dos dias após o transplante das mudas (DAT)	40
Tabela 8 - Efeitos das relações K:Ca na massa seca das raízes (g) em função dos dias após o transplante das mudas (DAT)	40
Tabela 9 - Efeitos das relações K:Ca e da aplicação de Si no número de folhas em função dos dias após o transplante das mudas (DAT)	41
Tabela 10 - Efeitos da interação entre as relações K:Ca e a aplicação de Si no número de estômatos na face abaxial da folha	43
Tabela 11 - Efeitos da interação entre as relações K:Ca e a aplicação de Si na espessura do parênquima paliçádico da folha (μm)	43
Tabela 12 - Efeitos das relações K:Ca na espessura do parênquima lacunoso da folha (μm)	44
Tabela 13 - Efeitos da interação entre as relações K:Ca e a aplicação de Si na espessura do mesofilo da folha (μm)	44
Tabela 14 - Quantidades de nutrientes acumulados na parte aérea, nas raízes e total em plantas de coentro	51
Tabela 15 - Teores médios de nutrientes na parte aérea e nas raízes de plantas de coentro	52
Tabela 16 - Perda de massa (%) após a colheita, durante três dias de armazenamento a 20°C e umidade relativa do ar de 85%	53

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, os consumidores de hortaliças estão cada vez mais seletivos e exigentes em produtos com qualidade. Nesse contexto, a produção de hortaliças diferenciadas vem crescendo, fazendo do cultivo hidropônico uma alternativa promissora para o produtor ter maior lucratividade.

Em sistemas hidropônicos, os produtores têm algumas vantagens, como redução de perdas de matérias-primas por adversidades climáticas pelo maior controle ambiental, economia de água e fertilizantes, obtenção de produtos limpos e redução do ciclo de produção (LUZ; GUIMARÃES; KORNDORFER 2006).

O sistema hidropônico mais adotado para a produção de hortaliças folhosas, no Brasil, é o fluxo laminar de nutrientes (Nutrient Film Technique - NFT), que vem se expandindo rapidamente, principalmente, nas proximidades dos grandes centros urbanos, onde as terras agricultáveis são caras, escassas e há grande demanda por produtos hortícolas (PIETRO MARTINEZ; SILVA FILHO, 2006).

A produção de hortaliças hidropônicas é realizada principalmente para espécies que apresentam maior retorno econômico como a rúcula, o agrião e a hortelã, embora a alface ainda seja muito cultivada nesse sistema. Além dessas espécies, a salsa também é cultivada pelo seu valor comercial como condimento. Outras hortaliças como o aipo e o coentro são produzidos em menor escala, mas com potencial de expansão, pois são espécies muito apreciadas pelos seus aromas e texturas característicos (ALMEIDA, 2006).

Apesar, de o sistema hidropônico NFT estar difundido pelas diversas regiões do país, o manejo da produção de diversas hortaliças, dentre elas o coentro, necessita de pesquisas, incluindo o estudo de soluções nutritivas adequadas ao cultivo em diferentes épocas do ano.

O manejo da solução nutritiva leva em consideração as concentrações e as relações entre os nutrientes para a obtenção de elevada produtividade e qualidade dos produtos. Sabe-se que um nutriente pode afetar a absorção e a distribuição de outros elementos por competição, como ocorre entre os íons potássio (K^+) e cálcio (Ca^{2+}). Os cátions monovalentes são absorvidos mais rapidamente pelas raízes do que os divalentes, dessa forma, o potássio compete fortemente na absorção de cálcio. Assim, a relação adequada entre eles é fundamental para tornar máxima a absorção desses elementos, uma vez que o excesso de Ca também pode reduzir a absorção de K (ASSIS, 1995).

Além dos elementos considerados essenciais, os benéficos como o silício pode estimular a absorção de outros nutrientes, dentre eles o cálcio (LIANG; ROMHELD 1996; SARVAS et al.; 2002), aumentar a concentração de clorofila nas folhas, a massa vegetal e a durabilidade pós-colheita dos produtos (Murillo-Amador et al., 2007).

Em sistemas hidropônicos, a adição de Si pode ser feita via solução nutritiva ou via foliar através de fontes solúveis em água como os silicatos de potássio. Entretanto, o uso de Si em solução ainda é pouco difundido pela ausência de resultados de pesquisas que comprovam a sua eficiência no cultivo de folhosas como o coentro.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Relação entre potássio e cálcio na solução nutritiva

O potássio é o cátion mais abundante no citoplasma, sendo absorvido em grande quantidade pelas raízes na forma de K^+ , que é transportado para a parte aérea através do xilema. Sua redistribuição ocorre através do floema, dirigindo-se dos tecidos mais velhos para os mais novos, que normalmente são os tecidos meristemáticos ou os frutos em crescimento. Isso se deve ao fato do potássio se encontrar predominantemente na forma solúvel, ou seja, não está ligado a algum composto orgânico (PRADO, 2008; MEURER, 2006).

Segundo Taiz e Zeiger (2004), o potássio desempenha importante papel na regulação do potencial osmótico das células, governando, assim, a abertura e o fechamento dos estômatos. Além disso, é responsável pela ativação de enzimas envolvidas na respiração e na fotossíntese, mas não faz parte de alguma estrutura ou molécula orgânica na planta, porém, é indispensável na translocação e armazenamento de fotoassimilados (MEURER, 2006).

Esse elemento participa também da absorção de nitrogênio e da formação de moléculas de ATP, fornecedoras de energia para a síntese de proteínas e para os processos fotossintéticos. O potássio é descrito, muitas vezes na literatura, como sendo um elemento importante para a qualidade dos frutos ou folhas, que é maior quando ele é fornecido em quantidade adequada para as plantas (RODRIGUES, 2002).

Segundo Malavolta (2006), a maior parte do cálcio é absorvida de forma passiva, seguindo o fluxo de massa. A absorção ativa ocorre se a concentração de cálcio em solução nutritiva for menor que a do interior da planta, obrigando-a a absorver o nutriente contra um gradiente eletroquímico.

Após a sua absorção, o Ca é transportado até atingir o xilema, seguindo para a parte aérea pela corrente transpiratória. A redistribuição desse nutriente na planta praticamente não ocorre porque ele é pouco móvel no floema (PRADO, 2008).

De acordo com Prado (2008), a maior parte do Ca está contida na forma de pectatos de cálcio, constituindo a lamela média das paredes celulares. Além disso, esse elemento também se encontra na forma de sais cálcicos de baixa solubilidade, tais como carbonato, sulfato, fosfato, silicato, citrato, malato e oxalato. Portanto, a concentração de cálcio no floema é baixa e sua mobilidade na planta é restrita (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

O cálcio é um macronutriente essencial para o desenvolvimento da planta, pois participa de vários processos fisiológicos e de biossíntese (ALBINO-GARDUÑO et al., 2008). Em função de sua baixa mobilidade no floema, fatores que favorecem o crescimento mais rápido da planta, como elevadas temperaturas, aumentam a probabilidade de ocorrência de sintomas de deficiência de Ca ou redução na sua absorção. A sua falta afeta as regiões meristemáticas e as folhas jovens, mudando a forma da folha e provocando queimaduras nas suas bordas. Nas raízes, a deficiência desse elemento provoca paralisação e escurecimento nas extremidades, com posterior morte dos tecidos (VITTI; LIMA; CICARONE, 2006).

Ele também é utilizado no fuso mitótico durante a divisão celular, sendo requerido para o funcionamento normal das membranas vegetais e tem papel de mensageiro secundário em várias respostas de plantas aos sinais ambientais e hormonais (SANDERS; BROWNLEE; HARPER, 1999). Em sua função como mensageiro secundário, o cálcio pode se ligar a calmodulina, uma proteína encontrada no citossol de células vegetais, cujo complexo calmodulina-cálcio regula muitos processos metabólicos (TAIZ; ZEIGER, 2004).

Segundo Mengel e Kirkby (1987), a absorção de cátions é variável dependendo da concentração deles em solução nutritiva, da sua permeabilidade nas membranas e do seu mecanismo de absorção. Dessa forma a elevação de um determinado cátion no meio nutritivo pode diminuir a absorção de outros elementos pela planta.

Forster e Mengel (1969) apud Mengel (1987) observaram que quando o potássio estava em baixa concentração na solução nutritiva possibilitou maior absorção de Ca^{2+} e Mg^{2+} , pelo fato de não competir com esses nutrientes no processo de absorção.

Malavolta (2006) discorre que em altas concentrações de cálcio em solução, há diminuição na absorção de potássio. Por outro lado, altas concentrações de NH_4^+ , K^+ , Mg^{2+} e Mn^{2+} diminuem a quantidade absorvida de cálcio, causando deficiência desse elemento em plantas. Segundo Jones Jr. (2005), o excesso de fertilizantes potássicos em solução nutritiva reduz a absorção de Ca, uma vez que o potássio é preferencialmente absorvido e transportado na planta em relação ao Ca.

Em sistemas hidropônicos, cuja composição da solução nutritiva depende, exclusivamente, da concentração de nutrientes adicionados no meio e das relações entre eles, os sintomas de deficiência de Ca em plantas são comuns. Dessa forma, a relação K:Ca adequada é fundamental para o crescimento e para a qualidade das hortaliças folhosas.

De acordo com Takano (1993), o crescimento da planta e a produção de óleo essencial em manjerição, contendo metilchavicol e eugenol, foram maiores com relação K:Ca de 0,33:1,0. Garlet et al. (2007) relataram que o maior acúmulo de massa em menta foi obtido na relação K:Ca de 1,9:1,0, sendo que a relação de 4,8:1,0 foi a que apresentou o maior teor de óleo essencial. Costa et al. (2004) verificaram em meloeiro que a relação K:Ca mais adequada para os a qualidade dos frutos foi a de 0,44:1,0. Araújo et al. (2005), trabalhando com adubação potássica em maracujazeiro-amarelo, obtiveram maior peso e produção de frutos, respectivamente, nas relações de K:Ca de 1,2:1,0 e 1,25:1,0.

Dessa forma, é possível constatar que a relação ótima de K:Ca é variável com a espécie e órgão de interesse da planta, dentre outros fatores.

2.2 Silício na planta

O silício é absorvido pelo sistema radicular através do fluxo de massa, na forma de ácido monossilícico (H_4SiO_4). Segundo Korndorfer (2006) e Mitami e Ma (2005), a absorção pode ocorrer de forma rápida ou lenta. No caso das gramíneas, a absorção de silício é mais rápida que a da água, resultando na redução da concentração de silício na solução. Já nas dicotiledôneas, a absorção se dá de forma lenta, sendo que a taxa de absorção de silício pelas raízes é similar à da água.

Os mecanismos de absorção e transporte de Si em plantas superiores são muito complexos, dependendo não somente da espécie, mas também das condições externas como, por exemplo, da fonte de Si (LIANG; ROMHELD, 2005). Para gramíneas, os mecanismos de absorção e transporte desse elemento são conhecidos (TAMAI; MA, 2003), mas pouco estudados nas dicotiledôneas.

O transporte de silício é realizado pelo xilema e sua redistribuição está relacionada com a taxa transpiratória da planta (MALAVOLTA, 1980; KORNDONFER et al, 1999; MENGEL; KIRKBY, 2001; KORNDORFER; PEREIRA; CAMARGO, 2003).

As concentrações desse elemento são equivalentes a alguns macronutrientes como o potássio, o cálcio, o magnésio, o fósforo e o enxofre. O nível de Si acumulado nos tecidos vegetais varia de 0,1% a 10% em peso seco (EPSTEIN, 1994; 1999). De acordo com Ma; Miyakey e Takahashi (2001), as plantas acumuladoras de silício são aquelas que possuem um teor foliar acima de 1% e as não acumuladoras apresentam teor inferior a 0,5%.

O silício precipita nas plantas no lúmen celular, nas paredes celulares e nos espaços intercelulares ou camadas externas como sílica amorfa ($\text{Si}_2\text{-nH}_2\text{O}$) (MA; YAMAJI, 2006). Na epiderme foliar, ele se une com a celulose (JONES; HANDRECK, 1967; CHEONG; HEITZ; DEVILLE, 1973), podendo estar presente nas células-guarda dos estômatos, nos tricomas, nas células papilosas, nas células buliformes e nos elementos dos vasos (CAMPOS; LABOURIAU, 1969; SILVA; LAUBOURIAU, 1970).

Esse elemento auxilia a planta superar múltiplos estresses, incluindo estresses abióticos e bióticos. (MITANI; MA, 2005). Dentre os abióticos inclui-se o estresse químico (salinidade, toxicidade por metais, desbalanço entre nutrientes) e estresse físico (estresse hídrico, excesso de radiação solar, elevadas e baixas temperaturas) (MA, 2004; MA; YAMAJI, 2006). Com relação aos fatores bióticos, o silício tem importante papel no aumento de resistência das plantas contra o ataque de pragas e doenças.

A deposição de silício na parede celular aumenta a sua resistência mantendo, dessa forma, as plantas eretas e as folhas bem posicionadas para interceptar a luz solar (EPSTEIN, 1994), contribuindo para a eficiência fotossintética das plantas.

Estudos mostram que a adição de Si na solução nutritiva pode promover o crescimento de plantas de tomate e pepino em sistemas hidropônicos (EPSTEIN, 1994; MARSCHENER, 1990). Em plantas de morango, a viabilidade dos grãos de pólen e o peso dos frutos aumentaram com a adição de silício na solução nutritiva (MIYAKE; TAKAHASHI, 1986).

O Si pode aumentar a concentração de clorofila nas folhas, o que foi constatado em feijão caupi (MURILO-AMADOR et al., 2007). Plantas de pepino cultivadas em solução nutritiva contendo $46,6 \text{ mg L}^{-1}$ de Si apresentaram maior teor de clorofila, maior massa fresca e seca de raiz, maior massa fresca por unidade de área, atraso na senescência e aumento da rigidez das folhas maduras, as quais se mantiveram mais horizontais (ADATIA; BESFORD, 1986).

O Si também apresenta importante papel nas relações hídricas, regulando a transpiração. Estudos revelam que ele reduz a transpiração em plantas de arroz em condições não salinas, em virtude da camada fina de sílica gel associada com a celulose na parede celular da epiderme, o que permite que a água seja perdida em uma taxa menor (MA; TAKAHASHI, 1993).

Em alface, a aplicação de $1,5 \text{ mmol L}^{-1}$ de silício na solução nutritiva resultou em menor incidência de queima dos bordos, ocasionada pela deficiência de Ca, pelo fato do Si regular a transpiração, consequentemente o fluxo de cálcio para os tecidos vegetais (LUZ; GUIMARÃES;

KORNDORFER, 2006). Em plantas de milho esse elemento aumentou a absorção de Ca e K (KAYA; TUNA; HIGGS, 2006).

Em sistemas hidropônicos, a adição de Si pode ser feita via solução nutritiva ou via foliar, através de fontes solúveis em água, como a sílica gel, muito empregada em países como o Japão (LUZ; GUIMARÃES; KORNDORFER 2006) ou através de silicatos de potássio.

Entretanto, pouco se sabe sobre os efeitos da aplicação de Si via solução nutritiva na produção hidropônica de hortaliças.

2.3 Sistema hidropônico NFT

Antigamente utilizado somente em trabalhos de pesquisa sobre nutrição mineral de plantas, o cultivo hidropônico tornou-se mais uma alternativa no cultivo comercial de hortaliças. Isso se deve, principalmente, a exigência do consumidor, que busca produtos de qualidade e diferenciados fazendo desse sistema uma alternativa promissora para o agricultor gerar produtos de alta qualidade e com maior valor agregado.

Dentre os sistemas hidropônicos, a técnica do fluxo de nutrientes (NFT) consiste no cultivo de plantas com circulação da solução nutritiva nas raízes com espessura laminar. A solução é bombeada para os canais de cultivo atravessando e retornando para o reservatório situado logo abaixo (sistema fechado). Por meio dessa técnica, o manejo da solução nutritiva é feito através do monitoramento do pH, da condutividade elétrica e em alguns casos da sua composição química por meio de análises laboratoriais.

Embora outros materiais possam ser usados para o cultivo das plantas, atualmente os canais de polipropileno são os mais empregados, com empresas especializadas na sua produção, com dimensões definidas em função da espécie a ser produzida. Para plantas de pequeno porte, há canais de 75 mm de largura, 45 mm de profundidade, com orifícios de espaçamentos variáveis, sendo o de 150 mm para hortaliças comercializadas na forma de maços (salsa, coentro, manjericão e cebolinha) e o de 200 mm para aquelas comercializadas individualmente (alface e outras folhosas).

Dentre as vantagens do sistema destacam-se o uso mais eficiente de água e fertilizantes, ausência de plantas daninhas e produção de hortaliças com menor contaminação microbiana e de melhor qualidade. As desvantagens do sistema são: elevado custo de implantação, dependência

de energia elétrica, fácil disseminação de patógenos, possibilidade de aquecimento da solução e déficit de oxigênio (FAQUIM; FURLANI, 1999; PIETRO MARTINEZ; SILVA FILHO, 2006).

No estado de São Paulo, a alface não é mais a principal hortaliça cultivada em sistema hidropônico para muitos produtores em função do maior valor agregado de outras hortaliças como a rúcula, o agrião e a hortelã. Além dessas espécies, a salsa também vem sendo cultivada pelo seu valor comercial como condimento. Outras hortaliças como o coentro e o aipo são produzidos em menor escala, mas com potencial de expansão, pois são espécies muito apreciadas pelos seus aromas e texturas característicos (ALMEIDA, 2006).

2.4 Coentro

O coentro (*Coriandrum sativum* L) é provavelmente uma das primeiras espécies utilizadas pela humanidade, sendo conhecido desde 5000 anos antes de Cristo. Sua provável origem é a região ocidental do mediterrâneo. Os Romanos o difundiram na Europa, sendo um dos primeiros condimentos a chegarem na América (LUAYZA; PALOMO, 1996; RAMADAN; MORSEL, 2002; OKUT; YIDIRIM, 2005).

O coentro é uma planta herbácea anual, cujo sistema radicular é pivotante e muito ramificado. A planta produz folhas dispostas em rosetas e as folhas inferiores são normalmente ovaladas, embora, possam ser lobadas ou recortadas. As folhas dos nós superiores são recortadas e de cor verde-pálido. Durante a fase vegetativa a planta apresenta de 30 a 50 cm de altura (ALMEIDA, 2006).

O crescimento é favorecido por temperaturas moderadas e elevada intensidade luminosa, vegetando bem entre 7 e 27° C, com crescimento máximo a 20° C.

Atualmente o coentro é cultivado em todo o mundo e utilizado como planta aromática e medicinal. As folhas são utilizadas nas cozinhas de diversos países tais como, China, Índia, Estados Unidos, América Central e América do Sul. O seu sabor e aroma peculiares são os atrativos para o consumo (POTTER; FAGERSON, 1990; GIL et al., 2002; CARRUBA, 2009). Suas folhas são comercializadas frescas, congeladas ou desidratadas. Os frutos, denominados erroneamente por sementes, são usados para diferentes propósitos, tais como, uso medicinal, uso culinário, cosmético e perfumes (NEFFATI; MARZOUK, 2008).

O coentro é uma olerícola consumida em diversas regiões do Brasil, especialmente no norte, nordeste e em menor proporção no sudeste. Seu cultivo visa não somente a obtenção de

massa verde utilizada na culinária em diversos pratos típicos, mas também para a obtenção de frutos secos bastante utilizados na indústria de condimento para carne defumada e na fabricação de pães, doces e licores finos (PEDROSA; NEGREIROS; NOGUEIRA, 1984).

Essa hortaliça é fonte de diversos minerais tais como K, Ca, Na, Mg e Fe, além de ser rica em vitamina A, C e B2 (ALMEIDA, 2006; PRAKASH, 1990 apud DIEDERICHSEN, 1996).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e características da área experimental

O experimento foi conduzido em casa-de-vegetação, com 7 m de largura por 42 m de comprimento, coberta com plástico de 150 μm de espessura, situada na área experimental do Departamento de Produção Vegetal, pertencente à Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP, no município de Piracicaba-(SP). A área está situada a 22° 42’ 30’’ de latitude sul, 47° 38’ 00’’ de longitude Oeste e altitude de 546 m. Segundo a classificação de Koppen, o clima da região caracteriza-se como Cwa, apresentando clima subtropical úmido, com temperatura média no mês mais quente acima de 22°C e no mês mais frio inferior a 18°C. Há tendência de concentração das chuvas no verão, e de seca no inverno, caracterizada por um déficit hídrico nos meses de junho, julho e agosto.

Os valores de temperatura e umidade relativa do ar foram registrados, a cada 30 minutos, em um datalogger digital (SK SATO modelo SK-L200 THII), instalado no centro da casa-de-vegetação a 1,5 m de altura, durante a condução do experimento. Os dados de temperatura máxima, mínima e média, bem como a umidade relativa, máxima, mínima e média foram 31,2°C, 7,2°C, 17,0°C, 94,0%, 6,0% e 65,0%, conforme estão apresentados nas Figuras 1 e 2.

Figura 1 - Temperaturas máxima (Tmax), mínima (Tmin) e média (Tmed) registradas durante a condução do experimento

Figura 2 - Umidade relativa máxima (URmax), mínima (URmin) e média (URmed) registradas durante a condução do experimento

3.2 Sistema hidropônico

O sistema hidropônico empregado foi o fluxo laminar de nutrientes (NFT), com recirculação da solução nutritiva. A estrutura experimental foi composta por 24 bancadas distribuídas em quatro blocos. Cada parcela foi composta por quatro perfis de polipropileno com 6 metros de comprimento, cada um com 75 mm de largura, 45 mm de profundidade e orifícios espaçados de 150 mm. As bancadas foram alimentadas individualmente por reservatórios de 250 litros. Os detalhes do sistema de cultivo encontram-se na Figura 3.

A circulação da solução nutritiva foi efetuada por um temporizador eletrônico programado para permanecer 15 minutos ligado e 15 minutos desligado, das 05:30 as 18:30 horas e por 15 minutos ligado as 20:30, 00:30 e 04:30 horas.

(a)

(b)

(c)

(d)

Figura 3 - Vista frontal da casa-de-vegetação (a); interior da casa-de-vegetação (b); sistema de bombeamento e registro de drenagem (c) e calha de retorno e reservatório (d)

3.3 Qualidade da água

Para a avaliação da qualidade da água usada no experimento, foi coletada uma amostra, para as determinações dos parâmetros físico-químicos e químicos: condutividade elétrica a 25°C, pH, concentrações (mg L^{-1}) de cálcio, magnésio, sódio, ferro, manganês, boro, zinco, cloro, silício e enxofre.

Tabela 1 – Características físico-químicas e químicas da água

Característica	Unidade	Valor
Condutividade Elétrica (CE)	dS m ⁻¹	0,32
pH	-	5,83
Cálcio	mg L ⁻¹	6,20
Magnésio	mg L ⁻¹	2,24
Sódio	mg L ⁻¹	34,56
Ferro	mg L ⁻¹	0,02
Manganês	mg L ⁻¹	0,01
Boro	mg L ⁻¹	0,02
Zinco	mg L ⁻¹	0,11
Cloro	mg L ⁻¹	34,82
Silício	mg L ⁻¹	5,30
Enxofre	mg L ⁻¹	89,25

3.4 Delineamento experimental

O experimento foi realizado no delineamento em blocos ao acaso em esquema fatorial 3x2, sendo três relações entre potássio e cálcio (0,75:1,0; 1,25:1,0 e 1,50:1,0) e duas concentrações de silício (0 e 56 mg L⁻¹), com quatro repetições.

3.5 Solução nutritiva

As composições químicas das soluções nutritivas referentes às relações K:Ca e as concentrações de silício estão descritas na tabela 2. Os micronutrientes foram fornecidos por um fertilizante contendo 0,5, 2,5, 0,5, 0,1, 0,5 e 0,5 mg L⁻¹, respectivamente, de B, Fe, Cu, Mo, Mn e Zn.

O silício foi fornecido através do silicato de potássio da marca comercial Sili-K com 171g L⁻¹ de Si solúvel em água e 210 g L⁻¹ de potássio solúvel em água, sendo que para o K foram utilizados o nitrato de potássio, o sulfato de potássio, além da fonte de Si que contém o K.

Tabela 2 - Quantidades de nutrientes (mg L^{-1}) empregadas em cada solução nutritiva

Relação K:Ca	Si	N	P	K	Ca	Mg	S
	mg L^{-1}						
0,75:1,0	56	210	80	135	180	60	70
0,75:1,0	0	210	80	135	180	60	70
1,25:1,0	56	210	80	225	180	60	70
1,25:1,0	0	210	80	225	180	60	70
1,50:1,0	56	210	80	270	180	60	70
1,50:1,0	0	210	80	270	180	60	70

3.6 Manejo da solução

O manejo da solução nutritiva foi realizado diariamente através da reposição da água consumida ao entardecer, bem como, por uma leitura diária (09:00 h) da condutividade elétrica e do pH da solução. O pH foi mantido entre 5,5 e 6,5 através da adição de solução 1 mol L^{-1} de ácido cítrico ou 1 mol L^{-1} de hidróxido de sódio. Sempre que houve queda de $0,25 \text{ dS m}^{-1}$ na condutividade elétrica em relação a inicial, foi realizada a troca total da solução nutritiva.

3.7 Produção e transplante das mudas

As mudas de coentro cultivar Português Pacífico (Feltrin) foram produzidas em viveiro comercial localizado no município de Piracicaba - SP em bandejas de 200 células, preenchidas com substrato de fibra de casca de coco. A semeadura ocorreu em 25 de abril e o transplante das mudas em 23 de maio de 2009.

3.8 Avaliações

3.8.1 Crescimento

Seis plantas de cada parcela foram avaliadas quanto à altura (cm), número de folhas por planta, área foliar (cm^2), massa fresca e seca da parte aérea e das raízes (g), aos 7, 14, 21 e 28 dias após o transplante das mudas (DAT). A área foliar foi estimada através do medidor de área (LI-COR, Inc., Lincoln, Nebr.).

3.8.2 Teores, quantidades de nutrientes extraídos e marcha de absorção

As massas secas das folhas e raízes, após as pesagens, foram moídas para a determinação dos teores de N, P, K, Ca, Mg e S, segundo metodologia descrita por Malavolta; Vitti; Oliveira (1997). O Si foi analisado no Laboratório de silício da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), através da metodologia de Elliot e Snyder (1991) adaptada.

A partir dos dados obtidos, foram calculadas as extrações dos nutrientes pelas folhas e raízes nos quatro estádios de desenvolvimento das plantas para as determinações das marchas de absorção de nutrientes.

3.8.3 Pós-colheita

Para a avaliação do período pós-colheita três plantas de coentro, de cada tratamento, foram embaladas em filmes plásticos e armazenadas em câmara a 20° C com umidade relativa do ar de 85%. Avaliaram-se as plantas quanto à durabilidade pós-colheita através de pesagens diárias até o terceiro dia para quantificar a perda de massa.

3.8.4 Estudos de anatomia das folhas

As folhas das plantas foram analisadas quanto às alterações anatômicas. Para isso, foram confeccionadas lâminas de impressão das epidermes do coentro utilizando o terço mediano do folíolo direito de uma folha totalmente expandida, o qual foi impresso sobre películas de éster de cianoacrilato (Adesivo Instantâneo Universal - Loctite) e pressionados por aproximadamente oito segundos, tempo necessário para que o adesivo se espalhasse (SEGATTO et al., 2004). Com a impressão da epiderme deixada sobre a lâmina, foi possível obter a densidade estomática. As lâminas foram analisadas em microscópio de luz equipado com ocular quadriculada com área foliar de 0,78 mm.

Os cortes histológicos, feitos a mão livre, foram confeccionados com o auxílio de medula de Imbaúba, utilizando a porção basal do terço apical do folíolo esquerdo, cortada com uma lâmina de aço em fatias finas, e mantidas em água destilada. Os cortes obtidos foram clarificados com hipoclorito de sódio a 20% (v/v) e corados com dupla coloração: fucsina básica 0,0125% e azul de Astra 1,0% (ALVES de BRITO; ALQUINI, 1996). Uma vez efetuada a dupla coloração, as lâminas foram lavadas, secadas em estufa a 40°C, submetidas à montagem convencional e

recobertas com lamínula. Com as lâminas de secções transversais da região mediana da folha de coentro foi possível medir a espessura da epiderme na face adaxial e abaxial, dos parênquimas paliçádico e lacunoso e do mesofilo. As medições foram realizadas em microscópio de luz equipado com ocular quadriculada com área foliar de 0,78 mm.

3.9 Análise estatística

As características altura de planta, massa fresca e seca da parte aérea e das raízes, número de folhas, área foliar, teor de clorofila, marcha de absorção de nutrientes e perda de massa das plantas na pós-colheita foram avaliadas segundo um fatorial 3x2 (três relações K:Ca: 0,75:1,0; 1,25:1,0 e 1,50:1,0 e dois níveis de Si: 0 e 56 mg L⁻¹), em esquema de parcelas subdivididas no tempo, avaliadas em quatro épocas (7, 14, 21 e 28 dias após transplante das mudas– DAT), seguindo a metodologia descrita por Fernandes (1992) e Ferreira (2000).

O número de estômatos na face adaxial e abaxial, a espessura da epiderme na face adaxial e abaxial, a espessura dos parênquima paliçádico e lacunoso e a espessura do mesofilo foram avaliados em delineamento inteiramente casualizado no esquema fatorial 3x2 (três relações K:Ca: 0,75:1,0; 1,25:1,0 e 1,50:1,0 e dois níveis de Si: 0 e 56 mg L⁻¹), com três repetições.

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Para o fator tempo foram realizadas análises de regressão polinomial.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Aspecto geral das plantas ao longo do seu desenvolvimento

As plantas de coentro durante os períodos de avaliação apresentaram aspecto visual adequado (Figura 4), uma vez que elas não mostraram distúrbios fisiológicos provocados por desequilíbrios nutricionais ou sintomas relacionados ao ataque de pragas e doenças. Em função das suas características genéticas, a cultivar Português Pacífico apresentou folhas de coloração verde claro e brilhante, com sistema radicular bem desenvolvido (Figura 4 d).

(a)

(b)

(c)

(d)

Figura 4 - Aspecto geral das plantas de coentro aos 7 (a), 14 (b), 21 (c) e 28 (d) dias após o transplante das mudas

4.2 Dados biométricos

A análise de variância acusou efeito significativo entre as relações K:Ca e os dias após o transplante das mudas (DAT) para altura, número de folhas, área foliar, massa fresca e seca da parte aérea e das raízes das plantas de coentro. Ocorreu também efeito significativo entre as doses de silício e os dias após o transplante das mudas (DAT) para altura, massa fresca e seca da parte aérea, massa fresca das raízes e número de folhas.

A relação K:Ca 1,50:1,0 proporcionou maior altura das plantas aos 14, 21 e 28 DAT em comparação as demais relações (Tabela 3). Comportamento semelhante foi encontrado para a massa fresca da parte aérea, sendo que a relação K:Ca 1,50:1,0 aumentou 32,9% e 12% essa característica em comparação à relação K:Ca 0,75:1,0 aos 21 e 28 DAT, respectivamente (Tabela 4). Já para a massa fresca das raízes somente houve diferença entre as relações aos 28 DAT, sendo que a relação K:Ca 1,25:1,0 proporcionou o maior valor (Tabela 5).

Aos 21 dias após o transplante das mudas, a relação K:Ca 1,5:1,0 apresentou resultado superior as demais para a área foliar, massa seca da parte aérea e do sistema radicular (Tabelas 6, 7 e 8), sendo que para o número de folhas a relação K:Ca 1,50:1,0 foi superior em comparação somente à relação K:Ca 1,25:1,0 (Tabela 9). Aos 28 DAT, essas características, com exceção da massa seca das raízes, foram superiores na relação K:Ca 1,25:1,0 em comparação à menor relação, sendo que para essa última variável as relações K:Ca 1,25:1,0 e 1,5:1,0 resultaram em valores superiores à menor relação K:Ca. Para o número de folhas, os maiores valores encontrados foram para as relações K:Ca 0,75:1,0 e 1,5:1,0.

De maneira geral, as relações K:Ca de 1,25:1,0 e 1,50:1,0 foram as mais adequadas para o crescimento da planta, porque o coentro é exigente em K, evidenciado pelo alto teor médio encontrado na parte aérea, que foi de 56,93 g kg⁻¹. A demanda por K para o crescimento das plantas é de 10 a 60 g kg⁻¹ e a redução na sua disponibilidade pode diminuir a produção. Por isso, as soluções nutritivas revelam elevadas concentrações de K para o cultivo de algumas hortaliças folhosas (GARLET et al., 2007). Entretanto, não há na literatura indicações específicas de soluções nutritivas para a cultura do coentro.

Assim sendo, levando em consideração maior economia de fertilizantes potássicos, é possível recomendar 225 mg L⁻¹ de K e 180 mg L⁻¹ de Ca para o cultivo do coentro (relação K:Ca 1,25:1,0), sendo que nesse caso, as relações K:Mg e Ca:Mg são de 3,75:1,0 e 3,0:1,0, respectivamente. Tais características são importantes, pois o K e o Ca competem fortemente com

o Mg, gerando sintomas de deficiência desse último elemento quando o meio possui elevadas quantidades de K e ou Ca.

A ausência de silício, aos 14 DAT, proporcionou maior altura das plantas, entretanto, nos demais períodos não houve efeito significativo entre as doses desse elemento (Tabela 3).

As massas frescas da parte aérea e das raízes (Tabelas 4 e 5) foram superiores na presença de silício aos 21 e 28 DAT, sendo os mesmos resultados encontrados para a massa seca da parte aérea (Tabela 7) e o número de folhas (Tabela 9) aos 21 e 28 DAT, respectivamente.

O Si pode estimular o crescimento e a produção vegetal, o que foi constatado por Braga (2009), pelo aumento da massa fresca e seca de plantas de abacaxi, por Resende; Yuri; Souza (2007) em plantas de alface, por Epstein (1994) e Marschener (1990) em plantas de tomate e pepino. Por outro lado, Guimarães (2004), em alface hidropônica, obteve menor massa fresca e seca da parte aérea e das raízes para as plantas que receberam silício, atribuído a competição entre o silício e outros nutrientes. Silva e Bohnen (2001) descrevem menores teores de B e P nas raízes e de B, Ca, Fe e Mn na casca de arroz pelo uso de Si via solução nutritiva.

Quanto ao silício, o seu efeito, de maneira geral, foi positivo na produção de coentro. Entretanto, deve-se estar atento para o manejo da solução nutritiva, uma vez que esse elemento eleva o pH do meio, causando formação de compostos insolúveis às plantas.

Tabela 3 - Efeitos das relações K:Ca e da aplicação de Si na altura das plantas (cm) em função dos dias após o transplante das mudas (DAT)

Relação K:Ca	DAT			
	7	14	21	28
0,75:1,0	9,74 a	12,42 b	22,28 b	32,41 b
1,25:1,0	0,45 a	13,10 b	23,17 b	33,18 b
1,50:1,0	9,68 a	14,54 a	25,64 a	35,61 a
DMS	0,96			
Silício mg L ⁻¹				
0	9,59 a	13,98 a	23,57 a	34,04 a
56	9,66 a	12,73 b	23,83 a	33,43 a
DMS	0,65			

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%

Tabela 4 - Efeitos das relações K:Ca e da aplicação de Si na massa fresca da parte aérea (g) em função dos dias após o transplante das mudas (DAT)

Relação K:Ca	DAT			
	7	14	21	28
0,75:1,0	0,29 a	0,60 a	2,01 b	4,53 b
1,25:1,0	0,27 a	0,67 a	1,97 b	4,70 b
1,50:1,0	0,32 a	0,69 a	2,67 a	5,07 a
DMS	0,29			
Silício mg L ⁻¹				
0	0,32 a	0,66 a	2,03 b	4,52 b
56	0,27 a	0,65 a	2,40 a	5,01 a
DMS	0,20			

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%.

Tabela 5 - Efeitos das relações K:Ca e da aplicação de Si na massa fresca das raízes (g) em função dos dias após o transplante das mudas (DAT)

Relação K:Ca	DAT			
	7	14	21	28
0,75:1,0	0,04 a	0,11 a	0,29 a	0,57 b
1,25:1,0	0,05 a	0,13 a	0,28 a	0,86 a
1,50:1,0	0,04 a	0,15 a	0,38 a	0,66 b
DMS	0,13			
Silício mg L ⁻¹				
0	0,04 a	0,13 a	0,26 b	0,62 b
56	0,04 a	0,13 a	0,38 a	0,77 a
DMS	0,09			

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%.

Tabela 6 - Efeitos das relações K:Ca na área foliar (cm²) em função dos dias após o transplante das mudas (DAT)

Relação K:Ca	DAT			
	7	14	21	28
0,75:1,0	7,37 a	16,99 a	42,44 b	74,97 b
1,25:1,0	6,84 a	17,29 a	42,00 b	81,37 a
1,50:1,0	7,30 a	17,17 a	57,29 a	77,75 ab
DMS	5,62			

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%.

Tabela 7 - Efeitos das relações K:Ca e da aplicação de Si na massa seca da parte aérea (g) em função dos dias após o transplante das mudas (DAT)

Relação K:Ca	DAT			
	7	14	21	28
0,75:1,0	0,022 a	0,058 a	0,140 b	0,301 b
1,25:1,0	0,021 a	0,062 a	0,146 b	0,319 a
1,50:1,0	0,023 a	0,066 a	0,168 a	0,303 ab
DMS	0,016			
Silício mg L ⁻¹				
0	0,023 a	0,061 a	0,143 b	0,311 a
56	0,020 a	0,063 a	0,159 a	0,304 a
DMS	0,011			

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%.

Tabela 8 - Efeitos das relações K:Ca na massa seca das raízes (g) em função dos dias após o transplante das mudas (DAT)

Relação K:Ca	DAT			
	7	14	21	28
0,75:1,0	0,005 a	0,011 a	0,025 b	0,538 b
1,25:1,0	0,004 a	0,012 a	0,027 b	0,061 a
1,50:1,0	0,005 a	0,013 a	0,033 a	0,063 a
DMS	0,006			

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%.

Tabela 9 - Efeitos das relações K:Ca e da aplicação de Si no número de folhas em função dos dias após o transplante das mudas (DAT)

Relação K:Ca	DAT			
	7	14	21	28
0,75:1,0	5,28 a	6,21 a	6,73 ab	7,78 a
1,25:1,0	5,37 a	6,14 a	6,49 b	7,26 b
1,5:1,0	5,42 a	6,13 a	6,85 a	7,63 a
DMS	0,2486			
Silício mg L ⁻¹				
0	5,42 a	6,19 a	6,66 a	7,36 b
56	5,30 a	6,12 a	6,72 a	7,76 a
DMS	0,17			

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%

4.3 Análises Anatômicas

A figura 5 mostra a lâmina do folíolo direito de uma folha madura de coentro em secção transversal, destacando as estruturas: epiderme adaxial, parênquima paliçádico, parênquima lacunoso e epiderme abaxial. Em ambas as faces da epiderme foliar, os estômatos estavam presentes, todavia em maior número na face abaxial. Dessa forma, o coentro foi classificado como anfi-hipoestomático.

Figura 5 - Lâmina do folíolo direito de uma folha madura de coentro

A face adaxial da folha não acusou efeito significativo para o número de estômatos, sendo que, por mm² observou-se em média 113 estômatos. Contudo, para a face abaxial houve interação significativa entre as relações K:Ca e as doses de Si, sendo que na relação K:Ca 0,75:1,0 a aplicação de silício aumentou o número de estômatos (Tabela 10). Silva (2007) observou maior

número de estômatos em folhas de gérbera na presença de Si, na forma de silicato de sódio. Braga (2009) também obteve o mesmo resultado em folhas de abacaxi, usando como fonte o silicato de potássio. Segundo Korner, Bannister e Mark (1986), a maior quantidade de estômatos por unidade de área pode estar associada à maior conservação de água nas folhas que se desenvolvem em condições ambientais desfavoráveis, como baixa umidade relativa do ar.

A análise estatística não acusou efeito significativo para a espessura da epiderme superior e inferior das folhas, concordando com os resultados obtidos por Silva (2007). Porém Braga (2009) verificou maior espessura da epiderme abaxial quando utilizou Si no meio de cultivo de abacaxi *in vitro*.

Para a espessura do parênquima paliçádico houve interação significativa entre os fatores (Tabela 11). No desdobramento das relações K:Ca dentro das doses de silício, a relação 1,50:1,0 foi a que resultou em maior valor, na presença de Si, concordando com os resultados obtidos por Braga et al. (2009), para cultura do morango e por Datnoff, Snyder e Korndorfer (2001), na cultura do arroz. Quando se avaliou o desdobramento das doses de Si dentro das relações K:Ca, não houve efeito significativo entre os níveis de Si, com exceção da relação K:Ca 0,75:1,0, onde as plantas na ausência de silício obtiveram maior espessura do parênquima paliçádico. Silva (2007) por sua vez não obteve aumento de espessura dos parênquimas na presença de silício em folhas de gérbera.

O parênquima lacunoso sofreu influência somente das relações K:Ca, sendo que na relação K:Ca 1,5:1,0 foi encontrada a maior espessura dessa estrutura (Tabela 12).

A interação entre as relações K:Ca e os níveis de silício também foi significativa para a espessura do mesófilo, que é a somatória da espessura do parênquima paliçádico com o lacunoso (Tabela 13). A relação K:Ca 1,50:1,0 apresentou maior espessura do que a relação 1,25:1,0, na ausência de Si. Na presença de Si, a relação K:Ca 1,5:1,0 foi a que gerou maior valor em relação as demais. Para as doses de Si dentro de cada relação K:Ca, resultados contraditórios foram encontrados, pois na relação K:Ca 0,75:1,0, a ausência de Si foi responsável pela maior espessura do mesófilo e na relação K:Ca 1,5:1,0, o uso do Si possibilitou o maior valor dessa característica. Braga et al. (2009), também constataram maior espessura do mesófilo de folhas de morango, na presença de Si.

De acordo com Araújo e Mendonça (1998); Lima (2004), diferentes fatores ambientais podem influenciar a anatomia das plantas, dentre eles a nutrição. As alterações na morfologia das

folhas podem influenciar processos metabólicos e fisiológicos associados à fotossíntese e transpiração (ABBADÉ et al., 2009), como o aumento das espessuras do parênquima paliçádico e lacunoso que leva a maior atividade fotossintética (STRAUSS-DEBENEDITTI; BERLYN, 1994).

Nesse estudo, ficou evidente o efeito da nutrição com K, Ca e Si na solução nutritiva sobre as estruturas das folhas de coentro. Sabe-se que o Si precipita como sílica amorfa em várias partes das plantas, como no interior das células do tecido paliçádico, nas células-guarda dos estômatos e nos tricomas. Entretanto, a sua eficiência depende da concentração de outros nutrientes como a do K, elemento essencial na elongação de células em tecidos de crescimento (ARAÚJO et al., 2005) o que pode ser comprovado na espessura do mesofilo da folha, onde o efeito do Si depende da relação K:Ca.

Tabela 10 - Efeitos da interação entre as relações K:Ca e a aplicação de Si no número de estômatos na face abaxial da folha

Relação K:Ca	Silício mg L ⁻¹	
	0	56
0,75:1,0	128,26 aB	171,70 aA
1,25:1,0	130,65 aA	128,78 bA
1,50:1,0	132,53 aA	121,28 bA

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%.

Tabela 11 - Efeitos da interação entre as relações K:Ca e a aplicação de Si na espessura do parênquima paliçádico da folha (µm)

Relação K:Ca	Silício mg L ⁻¹	
	0	56
0,75:1,0	70,00 aA	48,33 bB
1,25:1,0	61,00 aA	56,00 bA
1,50:1,0	70,66 aA	75,32 aA

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%.

Tabela 12 - Efeitos das relações K:Ca na espessura do parênquima lacunoso da folha (μm)

Relação K:Ca	
0,75:1,0	72,16 b
1,25:1,0	73,66 b
1,50:1,0	10,17 a

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%.

Tabela 13 - Efeitos da interação entre as relações K:Ca e a aplicação de Si na espessura do mesofilo da folha (μm)

Relação K:Ca	Silício mg L^{-1}	
	0	56
0,75:1,0	14,50 abA	11,76 bB
1,25:1,0	13,63 bA	12,80 bA
1,50:1,0	16,50 aB	18,44 aA

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%

4.4 Marcha de absorção de nutrientes

A análise de variância acusou efeito significativo entre a aplicação de Si e os dias após o transplante das mudas (DAT) para o acúmulo de N e Ca na parte aérea da planta e de P, K e Mg nas raízes de coentro.

O acúmulo de N e de Ca foi lento até 14 DAT, sendo que aos 21 DAT, a parte aérea acumulou 38,9% do N e, 38,5% do Ca, na ausência de Si (Figuras 6 e 7). Na presença de Si, a extração pela parte aérea representou aos 21 DAT 43,1% do N e 39,6% do Ca em relação ao total.

Não houve diferença significativa entre as doses de Si no acúmulo desses elementos em todos os períodos avaliados, contrariando os resultados obtidos na literatura quanto ao efeito do Si na absorção de Ca. 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

do Si regular a transpiração, conseqüentemente o fluxo de cálcio para os tecidos vegetais (LUZ; GUIMARÃES; KORNDORFER, 2006).

Nas raízes, o acúmulo de P, K e Mg também foi lento até os 14 DAT, sendo que aos 21 DAT, 42,1%, 43,6% e 46,9% desses elementos foram absorvidos, respectivamente, na ausência de Si. O mesmo comportamento foi observado na presença de Si, cujas quantidades extraídas aos 21 DAT representaram 41,4%, 39,2% e 39,5% do total (Figuras 8, 9 e 10). Da mesma forma que ocorreu na parte aérea, não houve diferença entre as extrações desses nutrientes pelas plantas com e sem silício, para cada período de avaliação.

Houve diferença significativa entre os acúmulos de N, P, K e Mg na parte aérea das plantas, em função das relações entre K:Ca e os dias após o transplante das mudas (Figuras 11, 12, 13 e 14). Até os 14 DAT, as quantidades extraídas de N foram 1,32; 1,43 e 1,54 mg planta⁻¹, respectivamente, para as relações K:Ca de 0,75:1,0; 1,25:1,0 e 1,5:1,0 (Figura 11). Esses valores representaram somente 15,1%; 17,4% e 18,1% do total extraído. Para o fósforo, o acúmulo aos 14 DAT foi de 6,9%; 16,6% e 6,5%, nas relações K:Ca de 0,75:1,0; 1,25:1,0 e 1,5:1,0 (Figura 12). O K foi acumulado na parte aérea aos 14 DAT, nas seguintes quantidades, para as relações K:Ca de 0,75:1,0; 1,25:1,0 e 1,5:1,0, respectivamente: 2,97 mg planta⁻¹ (19,9% do total); 3,82 mg planta⁻¹ (16,0% do total) e 3,80 mg planta⁻¹ (16,2% do total) (Figura 13). O mesmo comportamento foi obtido para o Mg, sendo que aos 14 DAT a parte aérea extraiu somente 15,1%; 17,3% e 18,1% do total, nas relações K:Ca de 0,75:1,0; 1,25:1,0 e 1,5:1,0 (Figura 14).

Figura 6 - Quantidade acumulada de nitrogênio na parte aérea de coentro, na presença e na ausência de silício, em função dos dias após o transplante das mudas (DAT)

Figura 7 - Quantidade acumulada de cálcio na parte aérea de coentro, na presença e na ausência de silício, em função dos dias após o transplante das mudas (DAT)

Figura 8 - Quantidade acumulada de fósforo nas raízes de coentro, na presença e na ausência de silício, em função dos dias após o transplante das mudas (DAT)

Figura 9 - Quantidade acumulada de potássio nas raízes de coentro, na presença e na ausência de silício, em função dos dias após o transplante das mudas (DAT)

Figura 10 - Quantidade acumulada de magnésio nas raízes de coentro, na presença e na ausência de silício, em função dos dias após o transplante das mudas (DAT)

Figura 11 - Quantidade acumulada de nitrogênio na parte aérea de coentro, para cada relação K:Ca, em função dos dias após o transplante das mudas (DAT)

Figura 12 - Quantidade acumulada de fósforo na parte aérea de coentro, para cada relação K:Ca, em função dos dias após o transplante das mudas (DAT)

Figura 13 - Quantidade acumulada de potássio na parte aérea de coentro, para cada relação K:Ca, em função dos dias após o transplante das mudas (DAT)

Figura 14 - Quantidade acumulada de magnésio na parte aérea de coentro, para cada relação K:Ca, em função dos dias após o transplante das mudas (DAT)

Na tabela 14 é possível constatar as médias de extração de nutrientes pelas raízes, parte aérea e total das plantas de coentro. De acordo com os valores obtidos, a ordem de extração tanto na parte aérea como nas raízes foi: $K > N > Ca > P > Mg > S > Si$. A extração de N, P, K, Ca, Mg, S e Si pela parte aérea representou 85%, 79,9%, 89,2%, 86,4%, 77,8%, 82,3% e 58,1%, respectivamente, em relação ao total.

A maior demanda por K também é constatada para várias espécies, pelo fato desse elemento apresentar várias funções nas plantas como regulação do potencial osmótico das células, ativação de enzimas envolvidas na respiração e na fotossíntese, translocação de fotoassimilados (MEURER, 2006) e, portanto, ser essencial ao crescimento das plantas (TAIZ; ZEIGER, 2004). O segundo elemento mais extraído foi o N, pois ele é fundamental na produção de aminoácidos, de proteínas, de ácidos nucleicos, de coenzimas, dentre outros compostos (MARSCHNER, 1990). O Ca foi o terceiro nutriente mais absorvido pela planta, uma vez que ele é componente estrutural de macromoléculas nas paredes celulares e nas membranas plasmáticas (MARSCHNER, 1990).

Dentre esses elementos, o K, Ca e N foram os mais acumulados na parte aérea do que nas raízes. Quanto ao Ca, o padrão de distribuição em favor das folhas é resultante do transporte quase que exclusivo do Ca pelo xilema, conduzido pela corrente transpiratória (GRANGEIRO; CECÍLIO FILHO, 2004).

Nas raízes o elemento que mais acumulou foi o Si, porque provavelmente o coentro tem menos habilidade em translocar esse elemento das raízes para a parte aérea. O mesmo fato foi constatado para o tomate, cuja concentração de Si nas raízes foi de 0,56% contra 0,05% na parte aérea (MA; TAKAHASHI, 2002).

Os teores dos nutrientes na parte aérea e nas raízes das plantas de coentro estão citados na tabela 15. Comparando com as faixas de teores adequados de macronutrientes em folhas de salsa observa-se, de maneira geral, que os valores da parte aérea estão dentro dos limites estabelecidos para essa última espécie, pertencente à mesma família do coentro. Para os teores de macronutrientes nas raízes não há citações na literatura para a espécie da mesma família do coentro sobre as faixas consideradas adequadas (TRANI; RAIJ, 1996).

Quanto ao silício, os teores encontrados na parte aérea e nas raízes foram de 3,0 e 3,6 g kg⁻¹, o que caracteriza o coentro como uma espécie não acumuladora desse elemento (MA; MIYAKE; TAKAHASHI, 2001), pois as plantas acumuladoras de silício são aquelas que possuem um teor foliar acima de 10 g kg⁻¹. Esse resultado era esperado, uma vez que, em geral, as gramíneas acumulam muito mais silício nos seus tecidos do que outras espécies pelo fato do silício ser absorvido principalmente de forma ativa e não ser afetado pela transpiração (LIANG; SI; RONHERD, 2005).

Tabela 14 - Quantidades de nutrientes acumulados na parte aérea, nas raízes e total em plantas de coentro

Nutriente	Parte aérea	Raízes	Total
		mg planta ⁻¹	
Nitrogênio	7,76	1,37	9,13
Fósforo	1,95	0,49	2,44
Potássio	21,91	2,65	24,56
Cálcio	2,03	0,42	2,35
Magnésio	1,12	0,32	1,44
Enxofre	1,07	0,23	1,3
Silício	0,43	0,31	0,74

Tabela 15 - Teores médios de nutrientes na parte aérea e nas raízes de plantas de coentro

Nutriente	Parte aérea	Raízes
	g kg ⁻¹	
Nitrogênio	25,11	20,98
Fósforo	5,71	7,49
Potássio	56,93	38,06
Cálcio	5,74	6,95
Magnésio	3,38	4,76
Enxofre	3,00	3,26
Silício	3,00	3,76

4.5 Pós-colheita

Nesse estudo, a avaliação pós-colheita foi feita durante três dias de armazenamento porque no terceiro dia as plantas quase alcançaram 30% de perda de massa, o que não a caracteriza mais um produto como comercial.

A redução na transpiração é fundamental para aumentar a vida pós-colheita dos produtos porque a perda de água é uma das principais causas da deterioração dos produtos, resultando na alteração da aparência, perda de textura e de valor nutricional (SASAKI, 2007). Esse efeito pode ser alcançado através de práticas e tecnologias antes e após a colheita como nutrição equilibrada, manuseio adequado, armazenamento rápido após a colheita, uso de refrigeração, o uso de embalagens com atmosfera modificada, entre outras. Quanto à nutrição, vários elementos são citados como essenciais na qualidade dos produtos, dentre os quais o K e o Ca merecem destaque.

O K está relacionado à respiração, pois quando deficiente há maior atividade do ciclo de Krebs, resultando no aumento da respiração, o que resulta em maior consumo de substratos oxidáveis pelas mitocôndrias. Isso leva à perda de massa durante a pós-colheita. O Ca, por sua vez, é bem conhecido pelo seu envolvimento nos processos fisiológicos e bioquímicos relacionados às modificações estruturais e de decomposição das paredes celulares. Por isso, a sua carência no meio de cultivo pode reduzir a qualidade do produto durante o armazenamento pelo fato de acelerar a degradação das membranas celulares (CHITARRA; CHITARRA, 2005). Entretanto, não houve efeito das relações K:Ca na durabilidade pós-colheita do coentro.

Houve efeito significativo das doses de silício, sendo que nos três dias de armazenamento ocorreu menor perda de massa nos tratamentos que receberam esse elemento em solução (Tabela

16). Esse fato pode ser explicado provavelmente pelo papel do silício na transpiração, uma vez que a formação de uma camada fina de sílica gel associada com a celulose na parede celular da epiderme reduz a perda de água pelos tecidos do vegetal (MA; TAKAHASHI, 1993). Os resultados obtidos corroboram com Resende, Yuri e Souza (2007), que evidenciaram que plantas de alface tratadas com silício tiveram maior conservação pós-colheita. Luz, Guimarães e Korndorfer (2006), aplicando 42 mg L^{-1} de silício em solução nutritiva para o cultivo dessa hortaliça relataram menor incidência de queima dos bordos das folhas, ocasionada pela deficiência de Ca em função da redução na transpiração que regulou o fluxo de cálcio para a parte aérea.

Tabela 16 - Perda de massa (%) após a colheita, durante três dias de armazenamento a 20°C e umidade relativa do ar de 85%

Silício mg L^{-1}	Dias após a colheita		
	1	2	3
0	13,20 b	23,00 b	29,09 b
56	9,66 a	18,20 a	22,61 a
DMS	1,46		

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%

5 CONCLUSÕES

Recomenda-se para o cultivo do coentro em sistema hidropônico a relação K:Ca de 1,25:1,0 para aumento de produção.

Recomenda-se a aplicação semanal de 56 mg L⁻¹ de silício via solução nutritiva visando maior qualidade do coentro pós-colheita.

REFERÊNCIAS

- ABBADE, L.C.; PAIVA, P.D.O.; PAIVA, R.; CASTRO, M.; CENTOFANTE, A.R. OLIVEIRA, C. Anatomia foliar de ipê-branco (*Tabebuia róseo alba* (Ridl.) Sand.) – Bignoniaceae, proveniente do cultivo ex vitro e in vitro. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, Maringá, v. 31, n. 3, p.307-311, 2009.
- ADATIA, M.H.; BESFORD, R.T. The effects of silicon on cucumber plants grown in recirculation solution. **Annals of Botany**, Oxford, v. 58, p. 343-351, 1986.
- ALBINO-GARDUÑO, R.; ZAVALA-MANCERA, H.A.; RUIZ-POSADAS, L.M.; SANDOVAL-VILLA, M.; CASTILLO-MORALES, A. Response of gerbera to calcium in hydroponics. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 31, n. 1, p. 91-101, 2008.
- ALMEIDA, D. **Manual de culturas hortícolas**. Lisboa: Ed. Presença, 2006. v. 1, 346 p.
- ALVES DE BRITO, C.J.F.; ALQUINI, Y. A new method for staining botanical material embedded in glycol methacrylate. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, Curitiba, v. 39, p. 949-951, 1996.
- ARAÚJO, M.G.P. de; MENDONÇA, M.S. de. Escleromorfismo foliar de *Aldina heterophylla* Spruce ex Benth (Leguminosae: Papilionoideae) em três campinas da Amazônia Central. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 28, n. 4, p. 353-371, nov. 1998.
- ARAÚJO, R.C.; BRUCKNER, C.H.; PRIETO MARTINEZ, H.E.; SALOMÃO, L.C.C.; VENEGAS, V.H.A.; DIAS, J.M.M.; PEREIRA, W.E.; SOUZA, J.A. Crescimento e produção do maracujazeiro-amarelo em resposta à nutrição potássica. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 27, n. 1, p. 128-131, abr. 2005.
- ASSIS, R.P. de. **Nutrição mineral e crescimento de mudas de dendezeiro (*Elaeis guinensis* Jacq.) em função de diferentes relações entre K, Ca e Mg na solução nutritiva**. 1995. 41 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1995.
- BARREIRO, A.P.; ZUCARELI, V.; ONO, E.O. Análise de crescimento de plantas de manjerição tratadas com reguladores vegetais. **Bragantia**, Campinas, v. 65, n. 4, p. 563-567, 2006.
- BRAGA, F.T. **Silício, luz e substrato na micropropagação de abacaxizeiro [*Ananas comosus* (L.) Merr 'Gome de Mel']**. 2009. 95 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.
- BRAGA, F.T.; NUNES, C.F.; FAVERO, A.C. PASQUAL, M.; CARVALHO, J.G. CASTRO, E.M. Características anatômicas de mudas de morangueiro micropopagadas com diferentes fontes de silício. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 2, p. 128-132, fev. 2009.
- CAMPOS, A.C.; LABOURIAU, L.G. Corpos silicosos de gramíneas dos cerrados II. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 4, p. 143-151, 1969.

CARRUBBA, A. Nitrogen fertilisation in coriander (*Coriandrum sativum* L.): a review and meta-analysis. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 89, p. 921–926, 2009.

CHEONG, W.Y.; HEITZ, A.; DEVILLE, J. The effect of silicon on sugar cane growth in pure nutrient solution. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 4, n. 1, p. 113-115, 1973.

CHITARRA, M.I.F.; CHITARRA, A.B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio**. Lavras: UFLA, 2005. 795 p.

COSTA, C.C.; CECÍLIO FILHO, A.B.; CAVARIANNI, R.L.; BARBOSA, J.C. 2004. Concentração de potássio na solução nutritiva e a qualidade e número de frutos de melão por planta em hidroponia. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 3, p. 731-736, 2004.

DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H.; KORNDORFER, G.H. **Silicon in agriculture**. Amsterdam: Elsevier, 2001. 403 p.

DIEDERICHSEN, A. **Coriander** (*Coriandrum sativum* L.): promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops.3. Gatersleben: Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research; Rome: International Plant Genetic Resources Institute, 1996. 83 p.

ELLIOT, C.L.; SNYDER, G.H. Autoclave-induced digestion for the colorimetric determination of silicon in rice straw. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 39, p. 1118-1119, 1991.

EPSTEIN, E. The anomaly of silicon in plant biology. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA**, Washington, v. 91, p. 11-17, 1994.

_____. Silicon. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 50, p. 1-641, 1999.

FAQUIN, V.; FURLANI, P.R. Cultivo de hortaliças folhosas em hidroponia em ambiente controlado. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 20, n. 200/201, set./dez, 1999. 105p.

FERNANDES, G. B. Componentes de variância nos experimentos em parcelas subdivididas com esquema fatorial nas parcelas principais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.27 n.6, p. 797-804, jun. 1992.

FERREIRA, D.F. Manual do sistema SISVAR para análises estatísticas. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2000. 66p.

GARLET, T.M.B.; SANTOS O. S.; MEDEIROS, S.L.P.; MANFRON, P.A.; GARCIA, D.C.; SINCHAK, S.S. Crescimento e teor de óleo essencial de mentas com diferentes concentrações de potássio na solução nutritiva. **Horticultura Brasileira**. Brasília, v. 25, n.2, p. 230-237, abr. 2007.

GIL, A.; DE LA FUENTE, E.B.; LENARDIS, A.E.; LOPEZ PEREIRA, M.; SUAREZ, S.A.; BANDONI, A.; van BAREN, C.; DI LEO LIRA, P.; GHERSA, C.M. Coriander essential oil

composition from two genotypes grown in different environmental conditions. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 50, p. 2870-2877, 2002.

GRANGEIRO, L.C.; CECÍLIO FILHO, A.B. Qualidade de frutos de melancia em função de fontes e doses de potássio. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 22, n.3, p. 647-650, jul. 2004.

GUIMARÃES, S.T.M.R. **Produção hidropônica de alface em solução nutritiva com silício**. 2004. 30 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2004.

JONES, J.R. **Hydroponics: a practical guide for soilless grower**. Boca Raton: CRC Press, 2005. 423 p.

JONES, L.H.P.; HANDRECK, K.A. Silica in soils, plants, and animals. **Advances in Agronomy**, New York, v.19, n.2, p.107- 149, 1967.

KAYA, C.; TUNA, L.; HIGGS, D. Effect of silicon on plant growth and mineral nutrition of maize grown under water-stress conditions. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 29, p. 1469-1480, 2006.

KORNDORFER, G.H. Elementos benéficos. In: FERNANDES, M.S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 356-374.

KORNDÖRFER, G.H.; ARANTES, V.A.; CORRÊA, G.F.; SNYDER, G.H. Efeito do silicato de cálcio no teor de silício no solo e na produção de grãos de arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 635-641, 1999.

KORNER, C.; BANNISTER, P.; MARK, A.F. Altitudinal variation in stomatal conductance, nitrogen content and leaf anatomy in different plant life forms in New Zealand. **Oecologia**, Berlin, v. 69, p.557-558.

LIANG, Y.; SI, J.; RÖMHELD, V. Silicon uptake and transport is an active process in *Cucumis sativus*. **New Phytologist**, Cambridge, v. 167, p. 797-804, 2005.

LIMA, E.C. **Micropropagação, calogênese e anatomia foliar de Sangra d'água (*Croton urucurana* Baill)**. 2004. 105 p. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.

LUAYZA, G.R.B.; PALOMO, R. Coriander under irrigation in Argentina. In: JARNICK, J. (Ed.). **Progress in new crops**. Arlington: ASHS Press, 1996. p. 590-594.

LUZ, J.M.Q.; GUIMARAES S. T. M. R.; KORNDÖRFER, G.H. 2006. Produção de alface em solução nutritiva com e sem silício. **Horticultura Brasileira**, v.4, n.3, jul-set.

MA, J.F. Role of silicon in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stress. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 50, p. 11-18, 2004.

MA, J.F.; TAKAHASHI, E. Interaction between calcium and silicon in water-cultured rice plants. **Plant Soil**, The Hague, v. 148, p. 107-113, 1993.

_____. **Soil, fertilizer, and plant silicon research in Japan**. Amsterdam: Elsevier, 2002. 281p.

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

MA, J.F.; MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Silicon as a beneficial element for crop plants. In: DATINOFF, L.E.; SYDER, G.H.; KORNDORFER, G.H. (Ed.). **Silicon on agriculture**. Amsterdam: Elsevier Science, 2001. chap. 2, p. 17-39.

MALAVOLTA, E.A. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ceres, 1980. 251 p.

_____. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 631 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 201 p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic Press, 1990. 674 p.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. Bern: International Potash Institute, 1987. 687 p.

_____. **Principles of plant nutrition**. 5th ed. Dordrecht: Kluwer Academic, 2001. 849 p.

MEURER, E.J. Potássio. In: FERNANDES, M.S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 282-298.

MITANI, N.; MA, J.F. Uptake system of silicon in different plant species. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 56, n. 414, p. 1255-1261, 2005.

MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Effect of silicon on the growth and fruit production of strawberry plants in a solution culture. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 32, n.2, p. 321-326, June 1986.

MURILLO-AMADOR, B.; YAMADA, S.; YAMAGUSHI, T.; RUEDA-PUENTE, E.; ÁVILA-SERRANO, N.; GARCIA-HERNANDES, L.; LÓPEZ-AGUIAR, R.; TROYODIEGUEZ, E.; NIETO-GARIBAY, A. Influence of calcium silicate on growth, physiological parameters and mineral nutrition in two legume species under salt stress. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Berlin, v. 193, p. 413-421, 2007.

NEFFATI, M.; MARZOUK, B. Changes in essential oil and fatty acid composition in coriander (*Coriandrum sativum* L.) leaves under saline conditions. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v. 28, p.137-142, 2008.

OKUT, N.; YIDIRIM, B. Effects of different row spacing and nitrogen doses on certain agronomic characteristics of coriander (*Coriander sativum* L.) **Pakistan Journal of Biological Sciences**, Faisalabad, v. 8 n. 6, p. 901-904, 2005

PEDROSA, F.S.; NEGREIROS, M.Z.; NOGUEIRA, I.C.C. Aspectos da cultura do coentro. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 10, n. 120, p. 75-78, 1984.

PIETRO MARTINEZ, H.E.; SILVA FILHO, J.B. **Introdução ao cultivo hidropônico de plantas**. Viçosa: Ed. UFV, 2006. 111 p.

POTTER, T.L.; FAGERSON, I.S. Composition of coriander leaf volatiles. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 38, p. 2054-2056, 1990.

PRADO, R.M. **Nutrição de plantas**. São Paulo: Editora UNESP, 2008. 417 p.

RAMADAN, F.M.; MORSEL, J.T. Oil composition of coriander (*Coriandrum sativum* L.) fruit-seeds. **European Food Research and Technology**, Berlin, v. 215, p. 204-209, 2002.

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, jul. 2007.

RODRIGUES, L.R.F. **Técnicas de cultivo hidropônico e de controle ambiental no manejo de pragas, doenças e nutrição vegetal em ambiente protegido**. Jaboticabal: FUNEP, 2002. 762 p.

SANDERS, D.; BROWNLEE, C.; HARPER, J.F. Communicating with calcium. **Plant Cell**, Rockville, v. 11, p. 691-706, 1999.

SARVAS, D.; MANOS, G.; KOTSIRAS, A.;SOUVALOOTIS, S. Effects of silicon and nutrient uptake of gerbera grown in a closed hydroponic system. **Journal of Applied Botany**, Berlin, v. 76, p. 153-158, 2002.

SASAKI, F.F. **Noções básicas de pós-colheita, hortaliças minimamente processadas**. Piracicaba: ESALQ, 2007. 32 p.

SEGATTO, F.B.; BISOGNIN, D.A.; BENEDETTI, M. Técnicas para o estudo da anatomia da epiderme foliar de batata. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 5, p. 1597-1601, 2007.

SILVA, D.P. **Meios de cultura e fontes de silício no desenvolvimento in vitro de gérbera**. 2007. 84 p. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

SILVA, L.S.; BOHNEN, H. Rendimento e acúmulo de nutrientes pelo arroz em solução nutritiva com e sem a adição de silício. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 771-777, 2001.

SILVA, S.T.; LABORIAU, L.G. Corpos silicosos em gramíneas do cerrado III. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 5, p. 167-182, 1970.

STRAUSS-DEBENEDETTI, S.; BERLYN, G.P. Leaf anatomical responses to light in five tropical Moraceae of different successional status. **American Journal of Botany**, Columbus, v. 81, p. 1582-1591, 1994.

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

TAKANO, T. Effect of ratios of K to Ca in the nutrient solution on the growth, nutrient uptake, essential oil content and composition of Basil. **Acta Horticulturae**, The Hague, n. 331, p. 129-135, 1993.

TAMAI, K.; MA, J.F. Characterization of silicon uptake by rice roots. **New Phytologist**, Cambridge, v. 158, p. 481-436, 2003.

TRANI, P.E.; RAIJ, B. van. Hortaliças. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo; Fundação IAC, 1996. p. 285. (IAC. Boletim Técnico, 100).

VITTI, G.C.; LIMA, E.; CICARONE, F. Cálcio, magnésio e enxofre. In: FERNANDES, M.S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 252-260.