

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

Myriam Galvão Neves

**SILÍCIO E COBRE NA PRODUÇÃO DE ALFACE EM CULTIVO SEM
SOLO**

**Santa Maria, RS, Brasil
2016**

Myriam Galvão Neves

SILÍCIO E COBRE NA PRODUÇÃO DE ALFACE EM CULTIVO SEM SOLO

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS) como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Agronomia.**

Orientador: Prof. Dr. Jerônimo Luiz Andriolo

**Santa Maria, RS
2016**

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Galvão Neves, Myriam

Silício e cobre na produção de alface em cultivo sem solo / Myriam Galvão Neves.-2016.

52 p.; 30cm

Orientador: Jerônimo Luiz Andriolo

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, RS, 2016

1. Lactuca sativa L. 2. Nutrição mineral 3. Horticultura 4. Fertirrigação 5. Micronutrientes I. Luiz Andriolo, Jerônimo II. Título.

Myriam Galvão Neves

SILÍCIO E COBRE NA PRODUÇÃO DE ALFACE EM CULTIVO SEM SOLO

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS) como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Agronomia.**

Aprovado em 18 de fevereiro de 2016:

Jerônimo Luiz Andriolo, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Denise Schmidt, Dra. (UFSM)

Roberta Marins Nogueira Peil, Dra. (UFPeI)

Santa Maria, RS
2016

DEDICATÓRIA

"A Deus,
Aos meus grandes incentivadores: Pai, Mãe, Irmãos e Irmãs que muito contribuíram para
que esta jornada se concretizasse.

Dedico."

AGRADECIMENTOS

A Deus, por toda sabedoria e benção a mim concedida.

Aos meus pais Simão e Maria, por todo apoio, amor e confiança em mim depositada.

Aos meus irmãos, irmãs e familiares por todo respeito, carinho e confiança.

Ao meu Orientador Prof. Dr. Jerônimo Luiz Andriolo pela dedicação, ensinamentos e confiança em meu trabalho.

À Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia pela oportunidade de realização do presente curso.

A todos os professores do Mestrado que de alguma forma contribuíram na minha formação.

A CAPES pela concessão da bolsa de estudos durante o curso.

Aos colegas do Grupo de Pesquisa em Olericultura pelo incentivo, ajuda e amizade.

Sou grata por todos os momentos de convivência e por terem me apoiado para que conseguisse alcançar este objetivo.

Aos colegas de Mestrado, que acompanharam e participaram sempre confiantes durante toda essa caminhada.

A todas as pessoas que de algum modo contribuíram para a realização deste trabalho, meus sinceros agradecimentos.

Muito obrigada!

"O único lugar onde sucesso vem antes do trabalho é no dicionário."

(Albert Einstein)

RESUMO

SILÍCIO E COBRE NA PRODUÇÃO DE ALFACE EM CULTIVO SEM SOLO

AUTORA: Myriam Galvão Neves
ORIENTADOR: Jerônimo Luiz Andriolo

O trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da concentração de silício e cobre na produção de alface em cultivo sem solo. Quatro experimentos foram realizados no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria em sistema fechado de cultivo sem solo empregando vasos de 3 dm³ com areia. Dois experimentos foram realizados com silício no inverno, entre 17 de junho e 11 de agosto e entre 26 de setembro e 24 de outubro de 2014, na primavera. Os tratamentos foram constituídos de cinco concentrações de silício na solução nutritiva, duas cultivares de alface, Veneranda (crespa) e Stella (lisa) e pulverização foliar de silício aos sete dias antes da colheita. As concentrações de silício na solução nutritiva foram 0,0; 0,7; 1,4; 2,1 e 2,8 mmol L⁻¹ e 0,0; 1,4; 2,8; 4,2 e 5,6 mmol L⁻¹, respectivamente, e de 9 mg L⁻¹ na pulverização foliar. O delineamento experimental foi casualizado, com parcelas subdivididas, em esquema fatorial 5x2x2, com 11 repetições. Outros dois experimentos foram realizados com cobre, entre 27 de outubro e 26 de novembro de 2014 na primavera e entre 8 de maio e 22 de junho de 2015 no outono, com as mesmas cultivares. As concentrações de cobre na solução nutritiva foram de 0,06; 0,18; 0,3; 0,42 e 0,54 mg L⁻¹ e 0,05; 0,75; 1,25; 1,75; 2,25 mg L⁻¹, respectivamente. O delineamento experimental foi casualizado em parcelas subdivididas e esquema fatorial 5x2, com 11 repetições. O aumento da concentração de silício reduziu o crescimento e desenvolvimento das plantas de ambas as cultivares e reduziu também a perda de massa fresca pós-colheita da cultivar Stella. Concluiu-se que nas concentrações testadas não há efeito benéfico do silício na produção da alface em cultivo sem solo, apenas na redução da massa fresca pós-colheita. As concentrações de Cu reduziram a produção em ambas as cultivares e épocas, concluindo-se que concentrações em torno das raízes superiores a 0,05 mg L⁻¹ devem ser evitadas.

Palavras-chave: *Lactuca sativa* L., nutrição mineral, horticultura, fertirrigação, micronutrientes.

ABSTRACT

SILICON AND COPPER IN THE SOILLESS PRODUCTION OF LETTUCE

AUTORA: Myriam Galvão Neves
ORIENTADOR: Jerônimo Luiz Andriolo

This work aimed to evaluate the effect of silicon and copper concentrations in the nutrient solution for lettuce soilless production. Four experiments were conducted at Plant Science Department of the Federal University of Santa Maria in a closed soilless system using 3 dm³ pots with sand. Two experiments were with silicon, from June 17 to August 11 in winter and from 26 September to 24 October, 2014, in spring. Treatments were five silicon concentrations in the nutrient solution, two lettuce cultivars, Veneranda (crisphead) and Stella (butterhead), and foliar spaying of silicon seven days before harvest. Silicon concentrations in the nutrient solution were 0.0; 0.7; 1.4; 2.1 and 2.8 mmol L⁻¹ and 0.0; 1.4; 2.8; 4.2 and 5.6 mmol L⁻¹, respectively, and 9 mg L⁻¹ in foliar spaying. The experimental design was a randomized factorial 5x2x2 split plot with 11 replications. Other two experiments were conducted with copper, from 27 October to 26 November, 2014, in spring and from May 8 to June 22, 2015, in fall, using the same cultivars. Copper concentrations in the nutrient solution were 0.06; 0.18; 0.3; 0.42 and 0.54 mg L⁻¹ and 0.05; 0.75; 1.25; 1.75 and 2.25 U mg L⁻¹, respectively. The experimental design was a randomized factorial 5x2 split plot with 11 replications. Increasing the silicon concentration reduced growth and development of plants of both cultivars and reduced also the post-harvest fresh weight loss on Stella plants. It was concluded that in the range of concentrations used in present experiments any beneficial effect of silicon on lettuce production can be expected, but it may reduce post-harvest fresh weight loss. Growth and production were reduced by copper concentrations on both cultivars and seasons and it was concluded that concentrations higher than 0.06 mg L⁻¹ in the root medium have to be avoided.

Key-words: *Lactuca sativa* L.; mineral nutrition; horticulture, fertigation, micronutrients.

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO 1

Figura 1- Massa fresca da parte aérea, massa seca da parte aérea e número de folhas das cultivares crespa (▲) e lisa (■) de plantas de alface crescendo em solução nutritiva com concentrações de silício de 0,0 a 2,8 mmol L⁻¹ no inverno (A) e 0,0 a 5,6 mmol L⁻¹ na primavera (B). Santa Maria, RS, 2014.....30

Figura 2- Massa fresca pós-colheita aos 10 dias das cultivares crespa (▲) e lisa (■) de plantas de alface crescendo em solução nutritiva com concentrações de silício de 0,0 a 5,6 mmol L⁻¹ na primavera. Santa Maria, RS, 2014.....31

ARTIGO 2

Figura 1- Massa fresca da parte aérea, massa seca da parte aérea e massa seca do caule das cultivares crespa (▲) e lisa (■) de plantas de alface crescendo em solução nutritiva com concentrações de cobre de 0,06 a 0,54 mg Cu L⁻¹ na primavera (A) e 0,05 a 2,25 mg Cu L⁻¹ no outono (B). Santa Maria, RS, 2014.....45

Figura 2- Teor de cobre na matéria seca da parte aérea das cultivares Veneranda (crespa) (▲) e Stella (lisa) (■), de plantas de alface crescendo em solução nutritiva com concentrações de cobre de 0,06 a 0,54 mg Cu L⁻¹ na primavera e 0,05 a 2,25 mg Cu L⁻¹ no outono. Santa Maria, RS, 2015.....46

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	12
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1 A CULTURA DA ALFACE.....	13
2.2 O SILÍCIO NA PLANTA.....	14
2.3 QUALIDADE E CONSERVAÇÃO PÓS-COLHEITA.....	16
2.4 COBRE NO SOLO.....	17
2.5 COBRE EM PLANTAS.....	18
3. Artigo I: Silício na produção e conservação pós-colheita de alface em cultivo sem solo no inverno e primavera	19
3.1 RESUMO.....	19
3.2 ABSTRACT.....	20
3.3 INTRODUÇÃO.....	21
3.4 MATERIAL E MÉTODOS.....	22
3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	25
3.6 REFERÊNCIAS.....	27
4. Artigo II: Concentrações de cobre na produção da alface em cultivo sem solo	32
4.1 RESUMO.....	32
4.2 ABSTRACT.....	33
4.3 INTRODUÇÃO.....	34
4.4 MATERIAL E MÉTODOS.....	36
4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	38
4.6 REFERÊNCIAS.....	42
5. DISCUSSÃO GERAL	46
6. CONCLUSÃO	48
7. REFERÊNCIAS	48

1. INTRODUÇÃO GERAL

Nos últimos anos vem ocorrendo o aumento no consumo de hortaliças. Isso se deve não somente ao crescimento da população, mas também pela tendência de mudança no hábito alimentar, pois o consumidor está se tornando cada vez mais exigente em termos de qualidade e aspectos nutricionais. Devido a essas exigências, há a necessidade de produzir hortaliças em quantidade e qualidade, bem como manter o seu fornecimento o ano todo (MORAIS, 2007).

Em relação à produção de hortaliças em âmbito nacional, as regiões Sul e Sudeste são responsáveis por 75% e as regiões Nordeste e Centro-Oeste respondem pelos 25% restantes. Devido à produção nos estados do Norte não ser em grande escala comercial, os mercados consumidores são abastecidos por produtos oriundos, sobretudo, do Nordeste e do Sudeste. Além do cultivo no solo, tem-se adotado o cultivo sem solo no Brasil, por ser um sistema favorável no controle das condições abióticas e na manipulação, proporcionando maior produção, qualidade e lucro (BATAGLIA e FURLANI, 2004).

Dentre as hortaliças mais cultivadas, destaca-se a alface (*Lactuca sativa* L.), considerada aquela de maior importância entre as folhosas (COMETTI et al., 2004).

A alface é uma hortaliça considerada de alta perecibilidade, sendo plantada geralmente próxima aos centros urbanos das grandes cidades de forma a evitar o transporte a longas distâncias (FERREIRA et al., 2008). A adubação silicatada tem despertado interesse na produção da alface, pois acredita-se na capacidade do silício em aumentar a produtividade e o tempo de conservação pós-colheita de frutas e hortaliças, disponibilizando aos consumidores hortaliças com boa aparência e qualidade (MARODIN, 2011).

Além de elementos benéficos como o silício, existem também aqueles considerados tóxicos às plantas e seres humanos quando presentes em altas concentrações, como é o caso do cobre, podendo interferir negativamente na nutrição das plantas e também causar problemas ao seu metabolismo.

Considerado um metal pesado, ocorre naturalmente nos solos em baixa concentração e sem oferecer riscos. Porém, algumas atividades antropogênicas têm aumentado esses teores, acarretando danos à cadeia alimentar e poluição dos mananciais (KABATA-PENDIAS e PENDIAS, 2001; SOARES et al., 2005). Dentre as atividades agrícolas que têm contribuído para o aumento da concentração de cobre

no solo destaca-se a aplicação de fungicidas cúpricos, muito empregados na viticultura do Rio Grande do Sul (MIOTTO, 2012). No cultivo sem solo em sistemas abertos, o descarte da solução nutritiva drenada contém quantidades de cobre potencialmente danosas ao ambiente. Nos sistemas fechados, onde as concentrações de macronutrientes são corrigidas a partir da condutividade elétrica, a concentração de cobre pode aumentar durante o período de crescimento das plantas, atingindo níveis tóxicos. Nesse caso, as concentrações mínimas e máximas toleradas pelas plantas devem ser determinadas.

O objetivo geral da dissertação foi determinar o efeito da concentração de silício e de cobre no meio radicular e na produção da planta de alface.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A CULTURA DA ALFACE

A alface (*Lactuca sativa* L.) pertence à família Asteraceae, originária do Mediterrâneo, destacando-se como uma das hortaliças folhosas de expressiva importância econômica, devido seu sabor agradável. A produção dessa hortaliça no ano de 2012/2013 foi de 1,27 milhão de t/ano (MONTEIRO et al., 2015).

A alface apresenta grande diversidade, sendo as cultivares classificadas de acordo com o formato das folhas e da cabeça em cinco grupos: lisas, crespas, americanas, mimosas e romanas, adaptadas às diferentes condições edafoclimáticas do Brasil (FILGUEIRA, 2008).

Apresenta um sistema radicular ramificado e superficial, o qual explora apenas os primeiros 25 cm de solo quando a cultura é transplantada, podendo explorar também os 60 cm de profundidade quando a semeadura é direta. O solo ideal para o cultivo dessa hortaliça é o areno-argiloso, rico em matéria orgânica e com boa disponibilidade de nutrientes. Portanto, para maior produtividade, é necessário o uso de insumos que melhorem as condições físicas, químicas e biológicas do solo (VIDIGAL et al., 1995).

É uma planta herbácea, autógama e anual, floresce sob dias longos e temperaturas elevadas, mas, resiste a baixas temperaturas e geadas leves. A etapa

vegetativa do ciclo é favorecida por dias curtos e temperaturas amenas, proporcionando maior produção sob tais condições (FILGUEIRA, 2008).

Entre os meses de abril e dezembro ocorre a maior produção da alface nas regiões produtoras, e entre os meses de janeiro e março ocorre redução na oferta, devido à incidência de chuvas no Centro-Norte e altas temperaturas na região Sul do Brasil. A instabilidade climática, como por exemplo, excesso de chuvas e variações bruscas de temperaturas, resulta em perdas de produção no inverno na região Sul (MORETTI, 2006).

É uma hortaliça que representa uma importante parcela na dieta da população brasileira (COMETTI et al., 2004), por ser uma fonte de sais minerais, principalmente de cálcio e de vitaminas, especialmente a vitamina A, cuja quantidade varia de acordo com o grupo a que pertence cada cultivar. Seu consumo é importante, pois facilita a digestão. (MAKISHIMA, 1992 citado por BEZERRA, 2003). Porém, o brasileiro consome em média 1,2 kg de alface por ano, o que é considerado índice baixo se comparado aos padrões mundiais de consumo de acordo com a Organização Mundial de Saúde (OMS) (ARBOS, 2009).

Quanto às dificuldades do seu cultivo, fatores como reduzida conservação pós-colheita e pouca resistência ao transporte limitam sua produção aos cinturões verdes das grandes cidades ou em áreas próximas aos centros urbanos (LIMA, 2007).

2.2 O SILÍCIO NA PLANTA

O silício vem despertando interesse das pesquisas em nutrição mineral de plantas de diversas culturas devido aos benefícios que esse elemento proporciona. Ocupa o segundo lugar como elemento mais disponível na crosta terrestre, embora a pesquisa ainda não tenha demonstrado sua essencialidade (MALAVOLTA, 2006). Incluído como micronutriente na legislação de fertilizantes pelo Ministério da Agricultura em 14 de Janeiro de 2004, a partir de então vem sendo difundida sua utilização no Brasil (BRASIL, 2004).

É encontrado em solos minerais em altos teores, principalmente na forma de silicatos e quartzo (SiO_2) (FONSECA, 2007). Ao ser absorvido do solo na forma de ácido silícico, deposita-se na parede celular, paredes dos vasos do xilema e nos pontos de transpiração, podendo conferir benefícios para as plantas (BALASTRA et

al., 1989), o que pode prevenir a compressão dos vasos xilemáticos, quando a taxa transpiratória é elevada (RAVEN, 1983).

Sua presença na parede celular pode elevar os conteúdos de hemicelulose e lignina, aumentando a rigidez da célula, desempenhando um importante papel na estruturação das plantas, aumentando a resistência da planta às adversidades climáticas, edáficas e biológicas (BARBOSA FILHO et al., 2001).

Apesar de não ser considerado um elemento essencial para as plantas, acredita-se que plantas crescendo em ambiente com silício diferem daquelas presentes em ambientes deficientes nesse elemento (EPSTEIN e BLOOM, 2004), principalmente quanto à composição química, resistência mecânica das células, características de superfície foliar, tolerância ao estresse abiótico e ao ataque de patógenos e pragas.

Embora não seja considerado um elemento essencial (MALAVOLTA, 2006), pode trazer inúmeras vantagens ao crescimento e desenvolvimento das plantas. No entanto, para a horticultura, os estudos relacionados à sua utilização na nutrição ainda são incipientes.

Epstein (1999) afirma que o Si reduz o estresse de água por reduzir a transpiração das plantas, aumentando desta forma a condutância estomática e a fotossíntese, principalmente nos períodos em que é elevada a radiação solar. Com a redução na transpiração há aumento na conservação pós-colheita dos produtos devido a perda de água ser uma das principais causas da deterioração dos tecidos, resultando na alteração da aparência, perda de textura e de valor nutricional (SASAKI, 2007).

A importância da adubação silicatada vem sendo demonstrada em alguns trabalhos. Luz et al. (2006), em experimento com produção hidropônica de nove cultivares de alface em solução nutritiva com e sem silício, concluíram que o uso da solução nutritiva com silício reduziu a ocorrência de anomalias fisiológicas do tipo queima dos bordos, sendo uma alternativa viável para a produção hidropônica de alface, principalmente quando se leva em consideração um mercado consumidor mais exigente por produtos com ótima aparência.

Em pesquisa sobre épocas de plantio (inverno e verão) e doses de silício no cultivo de alface tipo americana, cultivar Raider, Resende et al. (2007). Concluíram que o silício é um nutriente benéfico importante para a cultura, sendo a dose de 2,7 L ha⁻¹ a mais recomendada em termos de rendimento e qualidade pós-colheita.

Ferreira et al. (2009) avaliaram, em condições de campo, a produtividade e o estado nutricional de cultivares de alface Raider, Regina e Vera e quatro doses de Silifertil® (0, 1, 2 e 4 t ha⁻¹). Os tratamentos adicionais foram compostos pela aplicação de 3,5 t ha⁻¹ de calcário dolomítico para as três cultivares. A aplicação de Si na forma de Silifertil® não aumentou a produtividade e o teor de silício na parte aérea das cultivares, mas elevou o valor do índice DRIS (Sistema Integrado de Diagnóstico e Recomendação) para Si, não afetando os teores dos demais nutrientes analisados, com exceção dos teores de K e Zn.

Os estudos que relacionam a adubação com silício e a produção das hortaliças ainda são poucos e não conclusivos, havendo, portanto, a necessidade de mais pesquisas para apontar a dosagem ideal capaz de aumentar a produção e a conservação pós-colheita.

2.3 QUALIDADE E CONSERVAÇÃO PÓS-COLHEITA

O setor da horticultura no Brasil vem crescendo nos últimos anos e dentre os fatores de crescimento está a mudança no hábito alimentar da população, que provoca ampliação das áreas de cultivo. Porém, apesar de todo esse crescimento, ainda existem entraves ao desenvolvimento da cadeia produtiva de hortaliças que precisam ser superados. Um desses entraves são as perdas pós-colheita, ocasionadas principalmente pela perda de massa fresca através da transpiração e desidratação (GUIMARÃES et al., 2010), uma vez que o fornecimento de água para o órgão vegetal é interrompido no momento da colheita. Por se depositar na epiderme dos tecidos vegetais em hortaliças folhosas, como é o caso da alface, o silício torna-se uma possível alternativa para minimizar essa perda de água.

As hortaliças se caracterizam pela alta perecibilidade, devido ao elevado conteúdo de água em suas células e conseqüentemente apresentam vida pós-colheita muito curta. Esta característica, aliada ao manuseio inadequado durante a colheita, transporte e comercialização, ocasiona grandes perdas desta hortaliça. Portanto, o aumento da vida útil em um ou mais dias pode contribuir para reduzir essas perdas (LUENGO e CALBO, 2001).

Visando aumentar a qualidade pós-colheita de alface e estender a vida de prateleira desta hortaliça, o uso do silício apresenta-se como uma possível alternativa a ser analisada, pois este elemento tem a função de aumentar a

espessura da epiderme, cutícula e a formação de cera, aumentando a resistência de hortaliças folhosas ao ataque de pragas e doenças e à perda de água, aumentando assim o tempo de prateleira. Além disso, os benefícios proporcionados pela adubação silicatada podem resultar em ganhos de produtividade (NOJOSA et al., 2006). Aumento da conservação pós-colheita pelo uso do silício foram descritos também em flores (SANTOS, 2012) e em tomates (CARVALHO et al., 2002).

2.4 COBRE NO SOLO

A presença de metais no solo pode ser de origem natural ou antropogênica. Segundo Xie e Lu (2000), os teores médios dos metais pesados Cu, Zn, Ni, Pb, Cd e Cr nos solos do mundo estão na ordem de 20, 10-300, 40, 10-150, 0,06 e 20-200 mg kg⁻¹, respectivamente. Porém, segundo o estudo feito por Fadigas et al. (2002), os teores médios dos metais pesados nos solos brasileiros estão abaixo da média mundial. Esses autores ainda ressaltam que há necessidade de avaliar uma quantidade de solos mais expressiva para complementar essas informações.

Atualmente existe grande preocupação mundial com solos contaminados por metais pesados, oriundos da ação antropogênica através da deposição industrial, urbana e em grande parte do uso agrícola, sendo este último devido ao aumento da produção de alimentos para atender a demanda crescente da população. Quando as cultivares são manejadas de maneira inadequada, pode ocorrer a contaminação dos solos e, conseqüentemente, impactos ambientais negativos como é o caso do uso intensivo dos fungicidas cúpricos (AREND, 2010; PIETRZAK e MCPHAIL, 2004; MIRLEAN et al., 2007).

Dentre os metais pesados presentes na solução do solo, encontra-se o cobre, considerado um micronutriente que desempenha importante papel na nutrição de plantas e animais (BAKER, 2000, KABATA-PENDIAS e PENDIAS, 2001). Devido a sua baixa mobilidade, o cobre, assim como todos os metais pesados, pode permanecer no solo e persistir por longo tempo ou ser absorvido pelas plantas, acarretando danos à cadeia, bem como ser prejudicial ao ser humano através do consumo de frutas e hortaliças com elevadas concentrações desse elemento (ABDEL-HALEEM et al., 2001; AREND, 2010).

2.5 COBRE EM PLANTAS

O cobre é um elemento químico com número atômico 29 e massa atômica 63,6, sendo classificado como um metal de transição. No metabolismo da planta desempenha papel fundamental, atuando em processos enzimáticos, respiração, fotossíntese, metabolismo do nitrogênio e carboidratos (YRUELA, 2009).

A sua deficiência ocasiona redução na atividade de enzimas, na produção de matéria seca quando a deficiência ocorre no estágio vegetativo, murchamento e deformação das folhas, encurvamento dos ramos, redução na produção de frutos e sementes, entre outros sintomas. Devido sua baixa mobilidade no floema, esses sintomas são observados nas folhas mais jovens. (MALAVOLTA, 2006; PRADO, 2008).

Apesar da sua importância às plantas, o cobre em altos teores provoca toxidez. Em alface, Levesque e Mathur (1983) verificaram que quando os teores alcançaram 45 mg kg^{-1} na planta, as folhas apresentaram sintomas visuais de toxidez. As hortaliças folhosas como a alface tem a capacidade de acumular mais metais pesados que os cereais, gramíneas e hortaliças tuberosas, pois a acumulação depende de fatores como espécie, órgão ou cultivar (SIMEONI et al., 1984).

Resultados com toxidez de Cu também foram encontrados em outras hortaliças. Em couve-flor, Charterjee e Charterjee (2000) verificaram sintomas de toxidez de Cu no qual as plantas apresentaram crescimento reduzido e clorose internerval. Plantas de orégano cultivadas em solo com concentrações crescentes de cobre apresentaram um efeito tóxico resultando em folhas cloróticas e menores (PANOU-FILOTHEOU et al., 2001).

Não foram encontrados na literatura resultados indicando as concentrações de cobre na solução do solo que podem causar toxidez em plantas de alface nas condições locais. Tampouco foram encontrados os limites mínimos e máximos das concentrações a serem empregadas na solução nutritiva em cultivo sem solo.

3. Artigo I: Silício na produção e conservação pós-colheita de alface em cultivo sem solo no inverno e primavera

Myriam Galvão Neves¹; Jerônimo Luiz Andriolo¹

¹Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Departamento de Fitotecnia. Avenida Roraima, CEP 97105 800, n° 1000, Santa Maria, RS, Brasil. E-mail: agronomyriam@hotmail.com, jeronimoandriolo@gmail.com

3.1 RESUMO

O trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da concentração de silício na produção de alface em cultivo sem solo. Dois experimentos foram realizados no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria em sistema fechado de cultivo sem solo empregando vasos de 3 dm³ com areia. O primeiro foi realizado no inverno, entre 17 de junho e 11 de agosto e o segundo entre 26 de setembro e 24 de outubro de 2014, na primavera. Os tratamentos foram constituídos de cinco concentrações de silício na solução nutritiva, duas cultivares de alface, Veneranda (crespa) e Stella (lisa), com e sem pulverização foliar de silício aos sete dias antes da colheita. As concentrações na solução nutritiva foram 0,0; 0,7; 1,4; 2,1 e 2,8 mmol L⁻¹ e 0,0; 1,4; 2,8; 4,2 e 5,6 mmol L⁻¹, respectivamente, no experimento de inverno e primavera e de 9 mg L⁻¹ na pulverização foliar. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com parcelas subdivididas, em esquema fatorial 5x2x2, com onze repetições. O aumento da concentração de silício reduziu o crescimento e desenvolvimento das plantas de ambas as cultivares e reduziu também a perda de massa fresca pós-colheita da cultivar Stella. Concluiu-se que nas concentrações testadas não há efeito benéfico do silício no rendimento da alface em cultivo sem solo, apenas na redução da massa fresca pós-colheita aos 10 dias da Cv Stella.

Palavras-chave: *Lactuca sativa* L.; Adubação foliar; Nutrição mineral.

Silicon on growth, post- harvest conservation of soilless lettuce grown in winter and spring

3.2 ABSTRACT

This work aimed to evaluate the effect of silicon concentrations in growth and production of soilless lettuce plants. Four experiments were conducted at Plant Science Department of the Federal University of Santa Maria in a closed soilless system using 3 dm³ pots with sand. Two experiments were conducted with silicon from June 17 to August 11, in winter and from 26 September to 24 October, 2014, in spring. Treatments were five silicon concentrations in the nutrient solution, two lettuce cultivars, Veneranda (crisphead) and Stella (butterhead), and foliar spaying of silicon seven days before harvest. Silicon concentrations in the nutrient solution were 0.0; 0.7; 1.4; 2.1 and 2.8 mmol L⁻¹ and 0.0; 1.4; 2.8; 4.2 and 5.6 mmol L⁻¹, respectively, and 9 mg L⁻¹ in foliar spaying. The experimental design was a randomized factorial 5x2x2 split plot with 11 replications. Increasing the silicon concentration reduced growth and development of plants of both cultivars and reduced also the post-harvest fresh weight loss on Stella plants. It was concluded that in the range of concentrations used in present experiments any beneficial effect of silicon on lettuce production can be expected, but it may reduce post-harvest fresh weight loss of the Stella cultivar.

Key-words: *Lactuca sativa* L., foliar fertilization, mineral nutrition.

3.3 INTRODUÇÃO

Atualmente, a alface se destaca por ser a folhosa mais consumida no Brasil, sendo, portanto, uma importante fonte de vitamina e sais minerais (SANTI *et al.*, 2013). É considerada de alta perecibilidade devido ao alto teor de água em suas células. A perecibilidade também está relacionada a fatores como o manejo inadequado da temperatura e umidade do ar nos locais de comercialização e armazenamento, ocasionando uma redução na vida de prateleira e, conseqüentemente, aumento do custo final do produto para o consumidor (ÁLVARES *et al.*, 2007). Essas perdas no Brasil chegam a 35%, sendo que em outros países como os Estados Unidos, não ultrapassam 10% (VILELA *et al.*, 2003).

A deteriorização da alface se dá logo após a colheita, resultando em um produto muitas vezes de má aparência e qualidade, sendo que o mercado consumidor vem exigindo cada vez mais produtos de qualidade e boa aparência. Portanto, a obtenção e a preservação da qualidade dependem do manejo tanto no período de crescimento e desenvolvimento das plantas na lavoura como na pós-colheita. A adubação silicatada tem sido indicada como uma alternativa para prolongar a conservação pós-colheita de frutas e hortaliças (GALATI *et al.*, 2015).

A disponibilidade desse elemento para as plantas não está em função apenas de sua quantidade no solo e sim, de sua forma e solubilidade, capacidade assimilatória pelas plantas e condições ambientais, podendo também ter seus teores reduzidos nos solos, ocasionados pelo monocultivo e cultivos intensivos, apesar de ser um elemento abundante na crosta terrestre (KORNDÖRFER, 2006).

Em sistemas de cultivo sem solo, soluções nutritivas contendo silício têm sido empregadas (KORNDORFER *et al.*, 2002). Entretanto, os resultados ainda não são conclusivos, havendo, dessa forma, a necessidade de mais pesquisas para a definição da dose ideal de Si a ser utilizada (LANA *et al.*, 2003). Segundo Nolla *et al.* (2005), os principais benefícios do silício nas plantas são o aumento da tolerância ao estresse de água, aumento da eficiência fotossintética, redução no acamamento, menor transpiração e maior resistência ao ataque de pragas e doenças. Murillo-Amador *et al.* (2007) ainda destacam que a utilização de Si aumenta a concentração de clorofila nas folhas, massa fresca e também a conservação pós-colheita dos produtos.

A importância da adubação silicatada vem sendo demonstrada em alguns trabalhos com hortaliças, porém, ainda há carência de maiores informações sobre o efeito desse micronutriente e a dosagem ideal capaz de aumentar a produtividade e conservação pós-colheita da alface. Luz *et al.* (2006), em experimento com produção hidropônica de nove cultivares de alface em solução nutritiva com e sem silício, concluíram que o uso da solução nutritiva com silício reduziu a ocorrência de anomalias fisiológicas do tipo queima dos bordos, sendo uma alternativa viável para a produção hidropônica de alface, principalmente quando se leva em consideração um mercado consumidor mais exigente por produtos com ótima aparência.

Em pesquisa sobre épocas de plantio (inverno e verão) e doses de silício no cultivo de alface tipo americana, cultivar Raider, Resende *et al.* (2007) verificaram que o cultivo dessa cultivar é viável nas duas épocas avaliadas, sendo o plantio sob condições de clima ameno (inverno) o mais adequado para a cultura. Concluíram também, que o silício é um nutriente benéfico importante para a cultura, sendo a dose de 2,7 L ha⁻¹ a mais recomendada em termos de rendimento e qualidade pós-colheita.

Ferreira *et al.* (2009) avaliaram, em condições de campo, a produtividade e o estado nutricional de cultivares de alface Raider; Regina e Vera e quatro doses de Silifertil® (0, 1, 2 e 4 t ha⁻¹). Os tratamentos adicionais foram compostos pela aplicação de 3,5 t. ha⁻¹ de calcário dolomítico para as três cultivares. A aplicação de Si na forma de Silifertil® não aumentou a produtividade e o teor de silício na parte aérea das cultivares de alface Raider, Regina e Vera, mas elevou o valor do índice DRIS (Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação) para Si, não afetando os teores dos demais nutrientes analisados, com exceção dos teores de K e Zn.

A carência de maiores informações sobre este micronutriente em hortaliças justifica o presente trabalho, que objetivou determinar os efeitos de concentrações de silício na produção e conservação pós-colheita de alface em cultivo sem solo no inverno e primavera.

3.4 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos em estufa de polietileno, situada na área experimental do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria-UFSM. Segundo a classificação de Koppen, a região caracteriza-se por

apresentar clima Cfa, subtropical úmido sem estação seca definida (ALVARES *et al.*, 2014). A radiação solar global acumulada e a temperatura do ar durante o período dos experimentos foram medidas em uma estação meteorológica automática, localizada a 300 metros da estufa.

As médias da radiação solar global acumulada e da temperatura média do ar durante os períodos experimentais foram respectivamente: 249,82 MJ m⁻²; 13,9 °C em junho; 329 MJ m⁻²; 15,1 °C em julho; 433,8 MJ m⁻²; 15,9 °C em agosto; 484,66 MJ m⁻² e 18,4 °C em setembro (dados coletados até o dia 23 do presente mês); 670 MJ m⁻² e 22,5 °C em outubro.

Os tratamentos foram constituídos por cinco concentrações de silício na solução nutritiva, com e sem aplicação foliar de silício aos sete dias antes da colheita e duas cultivares de alface. As épocas de cultivo compreenderam os períodos de 17 de junho a 11 de agosto (inverno) e 26 de setembro a 24 de outubro de 2014 (primavera). As concentrações de silício no inverno foram 0,0; 0,7; 1,4; 2,1 e 2,8 mmol L⁻¹ e na segunda época foram 0,0; 1,4; 2,8; 4,2 e 5,6 mmol L⁻¹.

Os experimentos foram instalados no interior de um abrigo telado de polietileno, tipo guarda chuva, com 65% de superfície de ventilação e 115 m² de área coberta. Foram utilizadas plantas de alface dos grupos solta lisa e solta crespa, cultivares Stella e Veneranda, respectivamente. As mudas de ambas as cultivares foram adquiridas de fornecedores locais e plantadas com cinco folhas definitivas.

O dispositivo para cultivo das plantas foi constituído de bancadas com 0,8 m de altura, com telhas de fibrocimento com 4m de comprimento e 1m de largura, apoiadas com declividade de 1% sobre uma estrutura de alvenaria (GIMENEZ, 2007).

As telhas foram revestidas com filme transparente de polietileno de baixa densidade com espessura de 100µm. Os canais, de 0,06m de altura e 0,18m de distância, foram preenchidos com brita basáltica média empregada na construção civil, de tamanho de partículas entre 0,015m e 0,020m. Sobre as britas foram alocados vasos com capacidade de 3,0 dm³ preenchidos com areia.

A solução nutritiva foi armazenada em um reservatório de material anti-corrosivo com capacidade para 350L situado abaixo das bancadas. A fertirrigação foi fornecida com auxílio de mangueira gotejadora conectada a uma bomba submersa no interior do reservatório (bomba de aquário, 8W, vazão de 520L h⁻¹). Em cada linha de vaso foi distribuída uma fita gotejadora, de modo que cada gotejador

coincidissem com um vaso. A solução nutritiva excedente a capacidade máxima de retenção do substrato retornava ao reservatório, sendo reutilizada para as demais fertirrigações, caracterizando um sistema fechado com recirculação da solução nutritiva drenada (ANDRIOLO, 2007).

As irrigações e as fertirrigações foram controladas por meio de um programador horário. A frequência foi ajustada de forma a repor os volumes de água transpirados pelas plantas, com um coeficiente de drenagem de 30%. Esses volumes foram estimados levando-se em consideração a radiação solar global incidente no topo da cobertura vegetal, com um coeficiente de drenagem de 30% (PARDOSSI *et al.*, 2011). O volume de solução nutritiva no interior dos reservatórios foi completado sempre que o volume consumido pelas plantas atingisse ou ultrapassasse a fração de 50% do volume inicial.

Foi empregada uma solução nutritiva com a seguinte composição, em mmol L⁻¹: de 12,24 de NO₃⁻; 3,0 de NH₄⁺; 2,5 de H₂PO₄⁻; 2,0 de SO₄⁻²; 6,5 de K⁺; 2,62 de Ca⁺²; 2,0 de Mg²⁺ e de micronutrientes, em mg L⁻¹: 0,03 Mo; 0,26 B; 0,06 Cu; 0,50 Mn; 0,22 Zn e 1,0 Fe (CARDOSO, 2012). A quantidade de sais fertilizantes dissolvidos nas diferentes soluções nutritivas, em (g 300 L⁻¹) foi 197,15 de KNO₃, 185,928 de Ca (NO₃)₂ (calcinit), 73,95 de MgSO₄ e 86,271 de NH₄H₂PO₄ (MAP).

O silício foi fornecido através do metassilicato de sódio (Na₂OSiO₂.5H₂O), diluído na solução nutritiva. Para a aplicação foliar, o metassilicato de sódio foi diluído em água na concentração de SiO₂ de 9 mg L⁻¹ (RESENDE *et al.*, 2007). Esta foi realizada sete dias antes da colheita, com auxílio de um pulverizador manual. O pH da solução foi mantido entre 5,5 e 6,5 mediante adição de NaOH ou H₂SO₄ 1N, conforme a necessidade, com os volumes estimados a partir de uma curva de titulação feita em laboratório.

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado com parcelas subdivididas em esquema fatorial 5x2x2 com 11 repetições de uma planta. A parcela principal foi constituída pela concentração de silício na solução nutritiva e as subparcelas constituídas por duas cultivares e aplicação foliar com e sem silício.

A colheita foi feita quando foram observados sinais de senescência nas folhas basais. Foram coletadas cinco plantas de cada cultivar em cada bancada, correspondente aos tratamentos, totalizando 50 plantas, as quais foram separadas em parte aérea e raiz, determinado o número de folhas por planta (NF), a massa fresca de caule (MFC) e de folhas (MFF). Em seguida foram secas em estufa de

circulação forçada de ar à temperatura de 60°C até massa constante, determinando-se a massa seca de folhas (MSF) e caule (MSC).

Para a avaliação do período pós-colheita, quatro plantas de cada cultivar e correspondente aos respectivos tratamentos foram acondicionadas em caixas e armazenadas em câmara de pós-colheita do Núcleo de Pesquisa em Pós-colheita, à temperatura de 5°C e umidade relativa do ar de 70%. As plantas foram avaliadas quanto à perda de massa na pós-colheita através de pesagens até o décimo dia para estimar a durabilidade.

Os dados foram submetidos à análise de variância. As diferenças entre as médias das variáveis qualitativas foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro e as quantitativas, por regressão, usando o programa estatístico SISVAR (UFLA, versão 4.2) e a planilha eletrônica Excel (Microsoft Office).

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados não evidenciaram interação significativa para as concentrações de silício, cultivar e aplicação foliar de silício para as variáveis analisadas.

As médias de massa fresca da parte aérea se ajustaram por meio da equação de 1º grau para as duas épocas e cultivares (Figura 1a, b). Para a cultivar Stella, se ajustou ($R^2=0,79$) no inverno e para a cultivar Veneranda ($R^2=0,68$) na primavera, indicando que uma redução da massa fresca foliar ocorreu em resposta ao aumento da concentração de Si na solução nutritiva, apresentando baixa produção. Os resultados encontrados estão de acordo com os mostrados por Luz *et al.* (2006), os quais observaram redução na massa fresca da parte aérea em diversas cultivares de alface, em sistema de cultivo hidropônico, com solução nutritiva contendo 1,5 mmol L⁻¹ de Si. Esses resultados indicam que a resposta ao silício varia entre cultivares e provavelmente sofre o efeito das condições ambientais durante o período de crescimento e desenvolvimento das plantas.

Na avaliação de massa seca da parte aérea, observou-se que a presença do silício na solução nutritiva atuou negativamente na produção de matéria seca das folhas para as duas cultivares e épocas (Figura 1c, d). Os resultados se ajustaram ao modelo de regressão linear, apresentando ($R^2=0,65$) para a cultivar Veneranda no inverno e ($R^2= 0,64$) para a mesma cultivar na primavera.

Segundo Guimarães (2004), que avaliou o efeito do silício sobre o crescimento de nove cultivares de alface em solução nutritiva contendo $1,5 \text{ mmol L}^{-1}$ em sistema hidropônico, existe uma competição entre silício e outros nutrientes que diminuem a absorção de elementos necessários ao crescimento da alface. Em rúcula cultivada no solo, na qual foram fornecidas concentrações de silício de 0,0; 0,075; 0,150; 0,225 e 0,300 mL por vaso através de silicato de sódio, também foi observada redução no crescimento da parte aérea das plantas e os autores concluíram que a aplicação do silício não foi eficiente para aumentar o crescimento e a produção de alface (GERRERO *et al.*, 2011).

Para a variável referente ao número de folhas (Figura 1e, f), observou-se que houve uma redução linear nas duas épocas de cultivo para a cultivar Veneranda, com coeficientes $R^2=0,86$ e $R^2= 0,82$ no inverno e primavera, respectivamente, não tendo havido diferenças significativas para a cultivar Stella.

Donegá (2009) observou que plantas de coentro submetidas à aplicação de silício contendo 56 mg L^{-1} na solução nutritiva em sistema de cultivo hidropônico apresentaram aumento no número de folhas. Embora o número de folhas seja influenciado principalmente pela soma térmica, é possível que o menor crescimento induzido pelas doses mais elevadas de silício tenha afetado indiretamente a emissão de folhas, pela isometria no crescimento dos diversos órgãos da planta.

É interessante que, embora a média da temperatura máxima tenha variado entre $16,4 \text{ }^\circ\text{C}$ e $18,4 \text{ }^\circ\text{C}$, respectivamente, no inverno e na primavera, o teor de água na testemunha foi similar, correspondendo a 96% no inverno e 96,6% na primavera, evidenciando que as plantas não sofreram restrições de água por efeito das condições ambientais em ambos os experimentos.

O silício reduziu o crescimento da planta em 3,2 % no inverno e 3,6% na primavera quando comparado à testemunha sem Si (Figura 1a, b), mas, não afetou o teor de água dentro da planta, isso significa que o silício possa ter prejudicado a absorção de outros nutrientes, contrariando os resultados encontrados na literatura em que atribuem a ação do silício a um efeito de absorção de água na planta.

A redução no crescimento também pode estar relacionada com a fonte de silício utilizada, pois de acordo com Korndörfer *et al.* (2002), dependendo da fonte de Si que se utiliza na solução nutritiva, concentrações muito elevadas podem causar desequilíbrio nutricional de outros elementos para as plantas. Desta forma, o sódio

presente no metassilicato de sódio que foi utilizado pode ter causado deficiência de outros nutrientes para a planta, resultando em redução do crescimento.

Para a variável perda de massa fresca pós-colheita (Figura 2), ajustou-se um modelo de regressão linear ($R^2=0,84$) e ($R^2=0,93$) para as cultivares Veneranda e Stella, respectivamente. Observou-se que houve maior perda de massa fresca para a cultivar Veneranda à medida que aumentou-se as concentrações de silício, resultado contrário à cultivar Stella que apresentou menor perda de massa.

Esses resultados podem ser explicados pelo fato do silício se depositar na parede celular e nos pontos de transpiração das plantas, favorecendo uma menor perda de água pela planta, regulando a transpiração, proporcionando maior resistência mecânica aos tecidos e conseqüentemente tendo como resultado final o aumento no tempo de prateleira. Resultados semelhantes foram encontrados por Resende *et al.*(2007), avaliando o rendimento e qualidade pós-colheita da alface tipo americana, cv. Raider no inverno e no verão, na qual a dose de $2,0 \text{ L ha}^{-1}$ de silício promoveu a melhor conservação pós-colheita da alface.

Diante dos resultados obtidos no presente trabalho, recomenda-se a realização de outras pesquisas com outras fontes e concentrações de silício de forma a confirmar ou não a ação desse elemento na produção e conservação pós-colheita da alface.

As concentrações de silício na solução nutritiva entre $0,7$ e $5,6 \text{ mmol L}^{-1}$ na forma de metassilicato de sódio reduzem o rendimento da planta de alface. Entretanto, existe variação na intensidade desse efeito entre cultivares.

3.6 REFERÊNCIAS

ALVARES CA. 2014. Koppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift* 22: 711-728.

ÀLVARES VS. 2007. Effect of pré-cooling on the postharvest of parsley leaves. *Journal of food, Agriculture & Environment* 5:31-34.

ANDRIOLO, JL. (ed.). 2007. SEMINÁRIO SOBRE O CULTIVO HIDRÔNICO DE MORANGUEIRO, Santa Maria, RS. Anais... Santa Maria:UFSM, p. 18-29.

CARDOSO LC. 2012. *Nitrogênio no crescimento e produtividade de plantas de alface cultivadas em confinamento radicular*. Santa Maria: UFSM. 37f. (Dissertação Mestrado).

DONEGÁ AM. 2009. *Relação K:Ca e aplicação de silício na solução nutritiva para o cultivo hidropônico de coentro*. São Paulo: USP. 63f. (Dissertação Mestrado em Agronomia).

FERREIRA RLF; SOUZA RJ de ; CARVALHO JG de ; NETO SEA de ; YURI JE. 2009. Avaliação de cultivares de alface adubadas com Silifertil®. *Caatinga* 22:5-10.

GALATI V; GUIMARÃES JER; MARQUES KM; FERNANDES JDR; FILHO ABC; MATTIUZ B. 2015. Aplicação de silício, em hidroponia, na conservação pós-colheita de alface americana 'Lucy Brown' minimamente processada. *Ciência Rural* 45:1932-1938.

GIMENEZ G. 2007. Produção de mudas de morangueiro em hidroponia. In: ANDRIOLO, J.L. (ed.). SEMINÁRIO SOBRE O CULTIVO HIDRÔNICO DE MORANGUEIRO, Santa Maria, RS. Anais... Santa Maria:UFSM, p. 18-29.

GUERRERO AC; BORGES LS da; FERNANDES DM. 2011. Efeito da aplicação foliar de silício em rúcula cultivada em dois tipos de solos. *Jornal Biosciencia* 27: 591-596.

GUIMARÃES STMR. 2004. *Produção hidropônica de alface em solução nutritiva com silício*. Uberlândia: UFU. 30 p. (Dissertação Mestrado em Agronomia).

KORNDÖRFER GH; PEREIRA HS; CAMARGO MS. 2002. Silicatos de Cálcio e Magnésio na Agricultura. 2ª ed. Uberlândia: GPSi/ICIAG/UFU, Boletim Técnico 1, 24 p.

KORNDÖRFER GH. 2006. Elementos benéficos. In: FERNANDES, M.S. (Ed.) *Nutrição Mineral de Plantas*. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa MG, p. 355-374.

LANA RMQ; KORNDORFER GH; JUNIOR LAZ; SILVA AF da; LANA AMQ. 2003. Efeito do silicato de cálcio sobre a produtividade e acumulação de silício no tomateiro. *Jornal Biosciencia* 19:15-20.

LUZ JMQ; GUIMARÃES STMR; KORNDÖRFER GH. 2006. Produção hidropônica de alface em solução nutritiva com e sem silício. *Horticultura Brasileira*, Brasília 24: 295-300.

MURILLO-AMADOR B; YAMADA S; YAMAGUCHI T; RUEDA-PUENTE E; ÁVILA SERRANO N; GARCIA-HERNANDEZ JL; LOPÉZ AGUILAR R; TROYO- DIEGUEZ E; NIETO-GARIBAY A. 2007. 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 193:413-421.

NOLLA A. KORNDORFER GH; LEMES EM; KAHLAU J. 2005. Effect of calcium silicate and calcium carbonate on Cercospora sojina incidence in soybean. III Silicon in Agriculture Conference. Universidade Federal de Uberlândia 01:122

PARDOSSI A; CARMASSI G; DIARA C; INCROCCI L; MAGGINI R; MASSA D. 2011. *Fertigation and substrate management in closed soilless culture*. Dipartimento di Biologia delle Piante Agrarie, Pisa, Italy: Università di Pisa. 64p.

RESENDE GM; YURI JE; SOUZA RJ. 2007. Épocas de plantio e doses de silício no rendimento de alface tipo americana. *Horticultura Brasileira* 25:295-300.

SANTI A; SCARAMUZZA WLMP; NEUHAUS A; DALLACORT R; KRAUSE W; TIEPPO RC. 2013. Desempenho agrônômico de alface americana fertilizada com torta de filtro em ambiente protegido. *Horticultura Brasileira* 31: 338-343.

VILELA NJ; LANA MM; NASCIMENTO EF; MAKISHIMA N. 2003. O peso da perda de alimentos para a sociedade: o caso das hortaliças. *Horticultura Brasileira* 21:141-143.

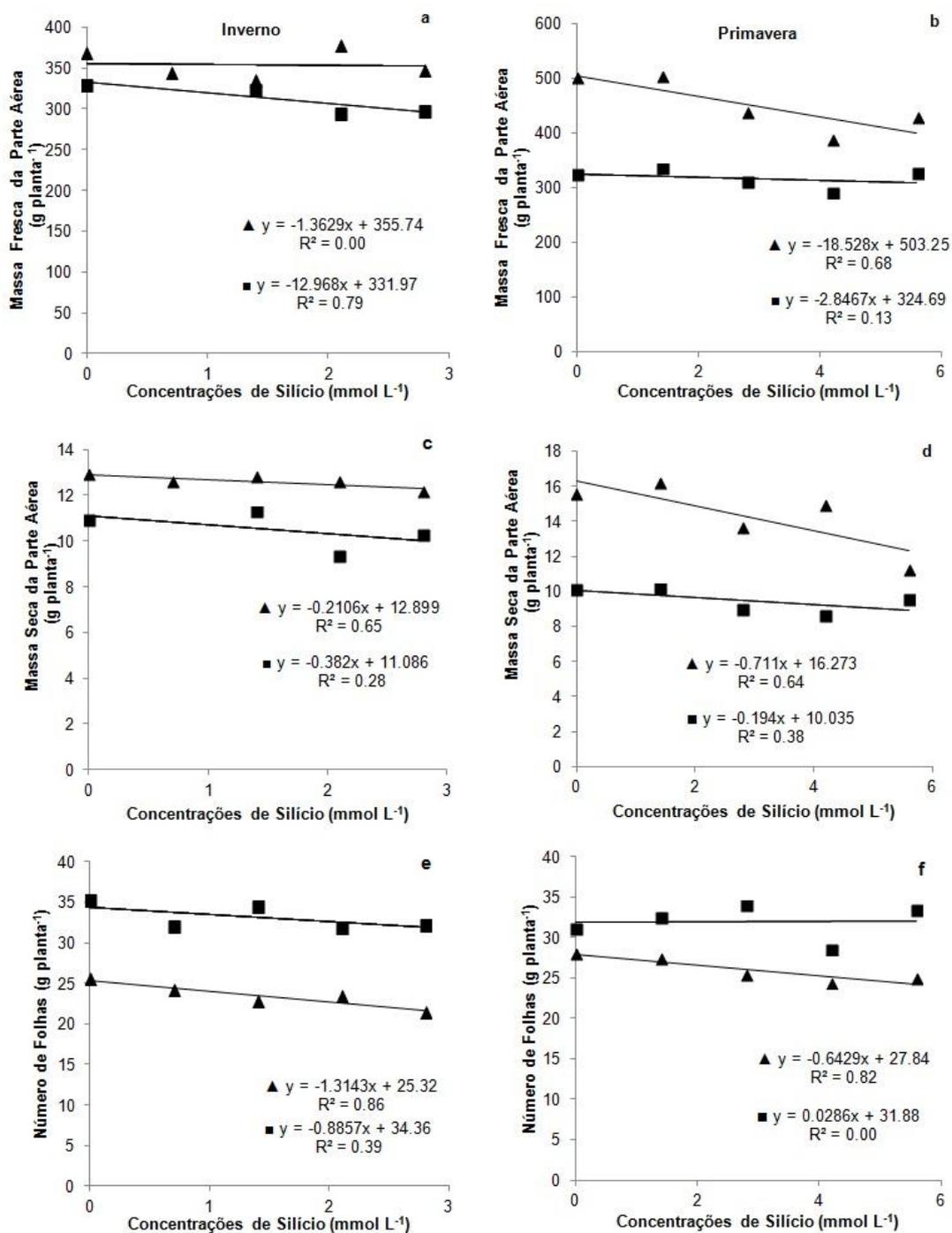


Figura 1 - Massa fresca da parte aérea (a,b), massa seca da parte aérea (c,d) e número de folhas (e,f) das cultivares Veneranda (crespa) (▲) e Stella (lisa) (■) de plantas de alface crescendo em solução nutritiva com concentrações de silício de 0,0 a 2,8 mmol L⁻¹ no inverno e 0,0 a 5,6 mmol L⁻¹ na primavera. Santa Maria, RS, 2014.

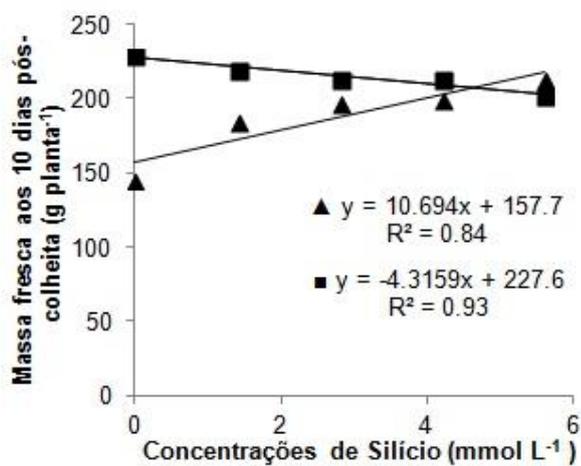


Figura 2 - Massa fresca aos 10 dias pós-colheita das cultivares Veneranda (crespa) (▲) e Stella (lisa) (■) de plantas de alface crescendo em solução nutritiva com concentrações de silício de 0,0 a 5,6 mmol L⁻¹ na primavera. Santa Maria, RS, 2014.

4. Artigo II: Concentrações de cobre na produção da alface em cultivo sem solo

Myriam Galvão Neves¹; Jerônimo Luiz Andriolo¹

¹Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Departamento de Fitotecnia. Avenida Roraima, CEP 97105-800, n° 1000, Santa Maria, RS, Brasil. E-mail: agronomyriam@hotmail.com, jeronimoandriolo@gmail.com

4.1 RESUMO

O trabalho teve como objetivo avaliar o efeito das concentrações de cobre na solução nutritiva na produção de duas cultivares de alface em cultivo sem solo. Dois experimentos foram realizados no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria entre de 27 de outubro e 26 de novembro de 2014, na primavera, e entre 8 de maio e 22 de junho de 2015, no outono, em sistema fechado de cultivo sem solo empregando vasos de 3 dm³ com areia. Os tratamentos foram constituídos de cinco concentrações de cobre na solução nutritiva e duas cultivares de alface, Stella (lisa) e Veneranda (crespa). As concentrações de cobre na solução nutritiva foram de 0,06; 0,18; 0,30; 0,42 e 0,54 mg L⁻¹ e 0,05; 0,75; 1,25; 1,75 e 2,25 mg L⁻¹, primavera e outono, respectivamente. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em parcelas subdivididas e esquema fatorial 5x2, com 11 repetições. O aumento da concentração de Cu reduziu a produção em ambas as cultivares. Concluiu-se que concentrações de Cu superiores a 0,05 mg L⁻¹ em torno das raízes devem ser evitadas.

Palavras-chave: *Lactuca sativa* L., hortaliças, solução nutritiva, fertirrigação, micronutrientes.

Copper concentration on growth of soilless grown lettuce

4.2 ABSTRACT

This research was conducted to evaluate the effect of copper concentration in the nutrient solution on growth and production of two lettuce cultivars in soilless cultivation. Two experiments were conducted at Department of Plant Science, Federal University of Santa Maria, from October 27 to November 26, 2014 in spring and from May 8 to June 22, 2015, in fall, in a closed soilless growing system using 3 dm³ pots with sand. Treatments were five copper concentrations in the nutrient solution and two lettuce cultivars, Stella (butterhead) and Veneranda (crisphead). Copper concentrations in the nutrient solution were 0,06; 0,18; 0,30; 0,42 and 0,54 mg L⁻¹ in spring and 0,05; 0,75; 1,25; 1,75 and 2,25 mg L⁻¹ in fall. The experimental design was a randomized split plot factorial 5x2, with 11 replications. Increasing copper concentration in the nutrient solution reduced growth and production of both cultivars. It was concluded that Cu concentrations higher than 0,05 mg L⁻¹ in the root medium have to be avoided.

Key-words: *Lactuca sativa* L., crops, nutrient solution, fertigation, micronutrients.

4.3 INTRODUÇÃO

A alface é originária do Mediterrâneo, pertence à família Asteraceae e dentre as várias hortaliças produzidas no Brasil, destaca-se como uma das mais consumidas, sendo uma importante fonte de vitaminas e sais minerais (SANTI *et al.*, 2010).

A crescente demanda por alimentos, o desenvolvimento tecnológico, a utilização de fungicidas cúpricos, as atividades industriais, entre outras atividades antropogênicas, têm ocasionado o aumento dos teores de metais pesados nos solos, acarretando a contaminação dos mesmos e do ecossistema (BARROS *et al.*, 2011). Essas atividades têm gerado uma grande preocupação para a agricultura, principalmente com os impactos ambientais decorrentes do aumento na demanda por micronutrientes, pois quando aplicados ao solo, os metais pesados podem se acumular e persistir por longos períodos de tempo.

Dentre os metais pesados, encontra-se o cobre, exigido em pequenas quantidades pelas plantas. Os teores na matéria seca da alface variam de 10 a 20 mg kg⁻¹ (EMBRAPA, 2009). Porém, apesar da pequena exigência no crescimento das plantas, desempenha papel importante nos processos fisiológicos e bioquímicos, sendo fundamental no metabolismo.

Quando deficiente em plantas de alface, ocasiona sintomas como folhas novas em forma de taça com os bordos ondulados para baixo (RESENDE *et al.*, 2005). Embora seja reconhecida sua essencialidade no metabolismo das plantas, quando presente em altas concentrações pode causar toxidez e sintomas de clorose nas folhas jovens e inibição do crescimento. Isso se deve ao efeito tóxico em nível das raízes. Um desses efeitos é a diminuição na absorção de outros metais como o ferro por competição entre estes dois íons nos sítios de absorção (CHARTTERJEE & CHARTTERJEE, 2000; RHAMAN *et al.*, 2005).

Além da fitotoxicidade às plantas por altas concentrações de cobre, também ocorre a transferência de elementos em níveis tóxicos ao homem e aos animais, principalmente quando se trata de consumo de hortaliças que são componentes importantes na dieta da população (NICHOLSON *et al.*, 2003; BAKKALI *et al.*, 2009). Os sintomas mais comuns de toxicidade de cobre em humanos ainda são raros, dentre estes estão: náuseas, diarreia, gosto metálico na boca, aflição gastrintestinal

acompanhada de dores estomacais e ocorrência de risco de câncer de pulmão e de estômago (ATSDR, 2004).

A média de ingestão de cobre segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS) e da Food and Agricultural Administration (FAA) não deve ultrapassar 12 mg dia⁻¹ para homens adultos e 10 mg dia⁻¹ para mulheres adultas. O limite máximo tolerável de ingestão diária de Cu situa-se entre 2 e 10 mg dia⁻¹ (FAILLA *et al.*, 2001).

Segundo BAKER (2008), existem plantas consideradas acumuladoras, indicadoras e exclusoras de metais pesados. O autor considera a alface entre os vegetais que têm uma alta acumulação, representando um risco potencial para os consumidores.

Na região da Serra do Rio Grande do Sul, áreas utilizadas durante décadas para o cultivo da videira estão sendo empregadas atualmente para o cultivo de hortaliças como a alface. Nessas áreas, é comum haver solos com níveis elevados de cobre, decorrentes principalmente da aplicação de sulfato de cobre no controle das doenças da videira. Embora nos solos da região da Serra Gaúcha o teor natural de Cu no solo seja em torno de 3,0 mg kg⁻¹, em vinhedos com mais de 25 anos o teor médio pode ser de 90,3 mg kg⁻¹ (MIOTTO, 2012) podendo alcançar, em alguns solos a 665 mg kg⁻¹ (CASALI *et al.*, 2008). Esses teores estão muito acima daqueles observados em solos de outras regiões do Brasil, como no município de Três Pontas-Minas Gerais, onde o teor natural de Cu observado no solo foi de 1,1 mg dm⁻³ (RESENDE *et al.*, 2005).

No cultivo da alface em sistemas sem solo, a solução nutritiva consumida durante o período de crescimento das plantas deve ser reposta (PARDOSSI *et al.*, 2011). Nas últimas décadas, têm predominado os sistemas abertos de cultivo sem solo com drenagem descartada para o ambiente, ou sistemas fechados do tipo NFT com substituição completa da solução nutritiva entre cultivos sucessivos. Atualmente, cresce no mundo a pressão pelo uso de sistemas fechados de cultivo sem solo com descarte reduzido ou nulo de solução nutritiva (SAVVAS *et al.*, 2013). Em morango, tem sido demonstrado na literatura que é possível realizar cultivos fechados que se prolongam por vários meses com reposição e sem descarte da solução nutritiva (GIMÉNEZ *et al.*, 2008). Em países como a Holanda são disponíveis equipamentos capazes de monitorar e ajustar a composição mineral das soluções nutritivas em sistemas fechados de acordo com a absorção das plantas.

Entretanto, esses equipamentos ainda não são de uso corrente no Brasil e sua eficácia pode ser pequena no caso dos micronutrientes, porque sua concentração é baixa nas soluções nutritivas. Por outro lado, em não havendo o controle da concentração dos micronutrientes na solução, níveis elevados e tóxicos podem ser atingidos, tanto para o crescimento das plantas como para a saúde dos consumidores. Não foram encontrados na literatura resultados sobre os limites máximos e mínimos a serem empregados na solução nutritiva para o cultivo da alface em sistemas sem solo.

O objetivo dessa pesquisa foi determinar o efeito da concentração do cobre na solução nutritiva no crescimento da planta de alface e inferir critérios de manejo desse micronutriente na nutrição e adubação dessa cultura.

4.4 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos em estufa de polietileno, com 115 m² de área e 65% de superfície de ventilação, coberta com polietileno de 100µm, situada na área experimental do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria-UFMS/RS, em duas épocas de cultivo. Cultivo de primavera (27 de outubro a 26 de novembro de 2014) e cultivo de outono (de 08 de maio a 22 de junho de 2015). Segundo a classificação de Koppen, o clima da região caracteriza-se como Cfa, subtropical úmido sem estação seca definida (ALVARES *et al.*, 2014).

Os dados de radiação solar global acumulada e temperatura média do ar foram coletados em uma estação meteorológica automática, situada a 300 metros da estufa. Na primeira época de cultivo que compreendeu os meses de outubro e novembro, os dados de radiação solar global acumulada e temperatura média do ar, respectivamente, foram de 670 MJ m⁻² e 22,5 °C em outubro; 684 MJ m⁻² e 23,1 °C em novembro. Na segunda época de cultivo os valores médios foram: 228,5 MJ m⁻² e 22,5 °C em maio e 202,9 MJ m⁻² e 20,9 °C em junho.

A estrutura experimental foi composta por cinco bancadas, com dimensões de 0,8 m de altura e sobre estas foram alocadas telhas de fibrocimento com 4m de comprimento e 1m de largura com declividade de 1% (GIMENEZ, 2007).

Para o revestimento das telhas, foi utilizado filme transparente de polietileno de baixa densidade com espessura de 100 µm e sobre os canais com dimensões de 0,06m de altura e 0,18m de distância foi utilizada brita basáltica com partículas de

tamanho entre 0,015m e 0,020m. Sobre as britas foram alocados vasos com capacidade de 3 dm³ preenchidos com areia. A granulometria da areia foi entre 0,001 e 0,003 mm e a capacidade máxima de retenção de água de 0,243 L dm³.

As bancadas foram alimentadas individualmente por reservatórios anti-corrosivos, com capacidade para 500 litros, alocados abaixo das bancadas, onde foram armazenadas as soluções nutritivas. A fertirrigação foi fornecida com o auxílio de uma mangueira gotejadora conectada a uma bomba (bomba de aquário, 8W, vazão de 520L h⁻¹). Foram distribuídas fitas gotejadoras sobre cada linha de vaso, onde cada gotejador coincidia com um vaso.

O sistema empregado foi o de cultivo em substrato, na qual a solução nutritiva excedente a capacidade máxima de retenção do substrato retornava a caixa de estocagem da solução nutritiva, sendo reutilizada em sistema fechado (ANDRIOLO, 2007).

A circulação da solução nutritiva foi efetuada com o auxílio de um temporizador eletrônico (timer) programado para permanecer ligado 15 minutos. Os volumes fornecidos durante o dia foram estimados com base na radiação solar global e o crescimento das plantas, com um coeficiente de drenagem de 30% (PARDOSSI *et al.*, 2011).

A solução nutritiva empregada foi composta de, em mmol L⁻¹: 12,24 de NO₃⁻; 3,0 de NH₄⁺; 2,5 de H₂PO₄⁻; 2,0 de SO₄⁻²; 6,5 de K₊; 2,62 de Ca⁺²; 2,0 de Mg²⁺ e de micronutrientes, em mg L⁻¹: 0,03 Mo; 0,26 B; 0,06; 0,50 Mn; 0,22 Zn e 1,0 Fe (CARDOSO, 2012). O pH foi mantido entre os limites de 5,5 e 6,5, mediante adição de NaOH ou H₂SO₄ 1N, conforme a necessidade e a condutividade mantida entre 1,0 e 1,5 dS m⁻¹, considerada faixa ideal para a cultura da alface.

Os tratamentos foram constituídos por cinco concentrações de cobre na solução nutritiva e duas cultivares. As concentrações de cobre utilizadas no experimento de primavera foram 0,06; 0,18; 0,30; 0,42 e 0,54 mg Cu L⁻¹ e no segundo experimento foram de 0,05; 0,75; 1,25; 1,75; 2,25 mg L⁻¹. O cobre foi fornecido através do sulfato de cobre com 25% de Cu. As cultivares foram Stella (lisa) e Veneranda (crespa). As mudas foram adquiridas de produtores locais da região e plantadas na fase de cinco folhas. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado com parcelas subdivididas em esquema fatorial 5x2 com onze repetições de uma planta. Onde as parcelas principais foram as concentrações de cobre na solução nutritiva e as subparcelas constituídas por duas cultivares.

As determinações de crescimento foram feitas quando as folhas mais velhas apresentaram os primeiros sinais de senescência. Cinco plantas foram separadas em parte aérea e raiz e determinada a massa verde e seca da parte aérea. Também foi determinado o número de folhas por planta (NF), a massa fresca de caule (MFC) e de folhas (MFF). As determinações de massa seca (MS) foram realizadas após secagem em estufa de circulação forçada de ar à temperatura de 60°C até massa constante, determinando-se a massa seca de folhas (MSF) e de caule (MSC).

Os teores de Cu foram determinados nas amostras de folhas de alface utilizando a extração nitro-perclórica (3:1) de acordo com metodologia descrita pela Embrapa (2009). Deste modo, com auxílio de uma balança, pesou-se 0,5 g do material vegetal desidratado e moído em tubos de vidro. Posteriormente, foi adicionado 5,0 mL da mistura de ácido nítrico (HNO₃) + ácido perclórico (HClO₄) deixando em repouso por 12 horas. Em seguida, usou-se uma placa digestora, onde os vidros foram acondicionados, aumentando-se a temperatura a cada 30 minutos, até atingir 180 °C, permanecendo nesta temperatura até o volume se reduzir à metade e o extrato ficar incolor. Após o esfriamento, o extrato foi completado com água destilada até 50 mL. Logo após, foram realizadas as leituras do teor de Cu por espectrometria de absorção atômica em chama FAAS e equipado com lâmpada de deutério modelo Varian AA 240. Todas as amostras foram determinadas em triplicata.

Os dados foram submetidos à análise de variância. As diferenças entre as médias das variáveis qualitativas foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro e as quantitativas, por análise de regressão polinomial.

4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados evidenciaram efeitos significativos para as concentrações de cobre e cultivar, variando conforme os parâmetros avaliados.

Para a massa fresca total da parte aérea (Figura 1a, b), verificou-se efeito significativo nas duas épocas, ajustando-se um modelo linear ($R^2= 0,95$) para a cultivar Veneranda e ($R^2=0,93$) para a cultivar Stella na época da primavera (Figura 1a). Para a época do outono, ajustou-se um modelo polinomial ($R^2= 0,84$) e ($R^2=0,91$), para as cultivares Veneranda e Stella, respectivamente (Figura 1b).

Na primavera, observa-se que a massa fresca da parte aérea decresce linearmente. Esses resultados contrariam os encontrados por Resende et al (2005) ao avaliarem a influência de concentrações de cobre aplicados em pulverização foliar sobre a produção de alface americana em campo, utilizando as concentrações de 0,00; 0,15; 0,30; 0,45 e 0,60 Kg/ha, correspondente a zero, 1,58; 3,16; 4,74 e 6,32 mg por planta respectivamente. Os mesmos relataram ser o cobre um dos micronutrientes que promovem maior aumento da massa fresca da parte aérea de alface, na qual a dose de 3,16 mg por planta de cobre aplicados na parte aérea promoveu o maior retorno, com aumento de 20,5% no rendimento, comparativamente à testemunha sem aplicação. Nos experimentos atuais, os resultados indicam que a resposta da alface ao cobre varia com a época do ano. Na primavera esses resultados indicaram que concentrações acima de 0,044 mg Cu L⁻¹ por planta na solução nutritiva em torno das raízes reduziram o crescimento da planta. No experimento de Resende *et al.* (2005) o solo continha 1,1 mg dm⁻³, uma concentração 25 vezes maior do que a testemunha do presente experimento. Provavelmente, o efeito da aplicação do Cu foliar sobre o crescimento da planta ocorreu porque, embora a concentração de Cu no solo fosse elevada, esse micronutriente estaria predominantemente na forma indisponível para as plantas.

No outono, os resultados indicam uma maior tolerância da alface ao Cu, uma vez que uma redução no crescimento passou a ocorrer somente com concentrações de Cu acima de 0,66 mg Cu L⁻¹ por planta na cultivar Veneranda e de 0,36 mg Cu L⁻¹ na cultivar Stella (Figura 1b). Isso significa uma tolerância 15 vezes maior da cultivar Veneranda e oito vezes da cultivar Stella no outono em relação à primavera. A menor tolerância do Cu na primavera pode ser atribuída ao efeito desse nutriente na redução do crescimento e/ou da atividade radicular (YRUELA, 2005; KABALA *et al.*, 2008). A extensão e o funcionamento do sistema radicular afetam a absorção de água da planta, a qual depende principalmente da demanda evaporativa da atmosfera e da área foliar da planta. Além da demanda evaporativa do ar ser mais elevada na primavera, as variáveis que determinam essa demanda aumentam com o crescimento da área foliar da planta na primavera e de maneira oposta no outono.

A produção de massa seca da parte aérea foi significativamente influenciada pelo aumento das concentrações de cobre na solução nutritiva. Na primavera, a redução foi do tipo polinomial com ponto de máxima em 0,072 mg Cu L⁻¹ para a cultivar Veneranda e 0,14 mg Cu L⁻¹ para a cultivar Stella (Figura 1c). No outono

(Figura 1b), a diminuição também foi do tipo polinomial, com ponto de máxima de 0,63 mg Cu L⁻¹ e 0,73 mg Cu L⁻¹ para as cultivares Veneranda e Stella, respectivamente, sendo influenciadas também pela época de cultivo, onde houve maior redução na primavera quando comparada ao outono.

Os resultados da massa seca da parte aérea na primavera se ajustaram a um modelo polinomial ($R^2= 0,96$) para ambas as cultivares e no outono também se ajustaram a um modelo polinomial ($R^2= 0,99$) e ($R^2=0,82$), Veneranda e Stella, respectivamente.

Estes resultados discordam dos encontrados por Grangeiro et al. (2003), que observaram um aumento na produção de massa seca da parte aérea na cultura da rúcula em sistema hidropônico, utilizando as concentrações 0; 0,036; 0,072 e 0,108 mg L⁻¹ de Cu, obtendo máxima produção estimada na concentração de 0,108 mg L⁻¹.

Para a variável massa seca do caule (Figura 1e, f), houve redução com o aumento das concentrações de cobre para as duas épocas. Na primavera (Figura 1e), as médias foram submetidas à análise de regressão e apresentaram comportamento polinomial ($R^2=0,99$) e ($R^2=0,78$) para as cultivares Veneranda e Stella, respectivamente, apresentando ponto de máxima de 0,31 mg Cu L⁻¹ para a cultivar Veneranda e 0,21 mg Cu L⁻¹ para a cultivar Stella. No outono (Figura 1f), apresentaram comportamento linear ($R^2=0,84$) para a cultivar Veneranda, não sendo significativo para a cultivar Stella.

Na primavera, condições meteorológicas como elevada temperatura do ar e intensidade de radiação favorecem o pendoamento, depreciando a qualidade do produto final, tornando-o impróprio para o consumo e comercialização devido o sabor amargo das folhas, em função do acúmulo de látex. Desta forma, a (Figura 1e,f) indica que o Cu nas épocas quentes torna-se prejudicial à planta porque diminui a absorção de água e de nutrientes devido ao menor desenvolvimento das raízes e também pode ser resultado da forte interação do Cu com os grupamentos sulfidrílicos de enzimas e proteínas no apoplasto das células da raiz, causando uma inibição na atividade ou alteração na sua estrutura, bem como a substituição de elementos essenciais, resultando desta forma, na deficiência de outros nutrientes importantes ao metabolismo da planta (YRUELA, 2005; KABALA et al., 2008).

Os resultados deste trabalho indicam que concentrações baixas de Cu, da ordem de 0,05 mg L⁻¹, disponíveis à planta em torno das raízes apresentam toxidez

e redução no crescimento. No caso de plantas cultivadas no solo, a fração do Cu disponível é que é determinante do potencial de toxidez. Nos solos em que a liberação do Cu indisponível for lenta a toxidez pode não ocorrer ou ser retardada. Entretanto, no caso de fatores naturais ou de práticas de manejo do solo que venham acelerar a liberação da fração do Cu indisponível, os efeitos sobre o crescimento podem ser drásticos. No cultivo da alface em sistemas sem solo, concentrações de Cu entre 0,025 mg L⁻¹ (FURLANI, 1995) e 0,05 mg L⁻¹ (CASTELLANE & ARAÚJO, 1995) tem sido indicadas. Essa última está de acordo com a concentração que tem sido empregada nos experimentos atuais, limite superior de tolerância da cultura a esse micronutriente. As concentrações citadas na literatura, de 0,19 mg L⁻¹ (Hoagland and Arnon, 1950, citados por Savvas *et al.*, 2013) e de até 0,47 mg L⁻¹ para pepino e tomate (Sonneveld and Straver, 1994, citados por Savvas *et al.*, 2013) também não seriam adequadas para hortaliças folhosas como a alface. No caso em que sistemas fechados sem descarte de solução nutritiva sejam empregados para o cultivo da alface, cuidados adicionais devem ser empregados na correção da composição da solução nutritiva, para evitar o aumento da concentração desse elemento, uma vez que a absorção pelas plantas é baixa. Uma alternativa seria acrescentar volumes complementares de solução nutritiva sem adição de cobre.

Os teores de cobre na matéria seca da parte aérea aumentaram com as concentrações de Cu na solução nutritiva (Figura 2), alcançando um valor de 0,42 mg kg⁻¹ na concentração de 2,25 mg L⁻¹ para a cultivar Stella na época do outono. Os teores encontrados na matéria seca estão bem abaixo dos recomendados pela Embrapa (2009), os quais variam de 10-20 mg kg⁻¹ para a cultura da alface. Portanto, o Cu não atingiu níveis de fitotoxicidade na parte aérea da alface.

Os resultados desta pesquisa apontam que seria necessário um consumo diário por pessoa de 124 Kg de alface para que fosse ingerida a quantidade de Cu considerada tóxica ao ser humano. Portanto, as alfaces apresentaram-se nutricionalmente adequadas para o consumo, ou seja, níveis adequados para ingestão diária, não apresentando riscos à saúde humana, pois o limite de ingestão das mesmas está abaixo dos limites estabelecidos pela Organização Mundial de Saúde (OMS), que situa-se entre 2-10 mg dia⁻¹ (FAILLA *et al.*, 2001).

Grangeiro *et al.* (2003), avaliando o desempenho da rúcula em diferentes concentrações de cobre na solução nutritiva, com concentrações de (0; 0,036; 0,072

e $0,108 \text{ mgL}^{-1}$ de Cu), obtiveram um aumento nos teores de Cu na matéria seca de $6,25 \text{ mg kg}^{-1}$ na concentração de $0,108 \text{ mgL}^{-1}$ de Cu.

Os resultados mostram que provavelmente o fluxo de água na planta exerce um efeito importante na absorção e acumulação do cobre nos tecidos. Na primavera, as plantas que receberam a concentração mais baixa de Cu na solução nutritiva acumularam mais cobre nas folhas que no outono (Figura 2). A quantidade de radiação solar incidente no experimento de primavera foi de 1354 MJ m^{-2} . No experimento de outono, foi de $431,4 \text{ MJ m}^{-2}$. Como a radiação solar incidente é a variável que mais influencia a transpiração (PARDOSSI *et al.*, 2011), a acumulação de cobre nas folhas na primavera seria simultaneamente consequência da concentração desse nutriente na solução nutritiva e do fluxo transpiratório mais intenso. No outono, a influência do fluxo transpiratório seria menor, sendo a acumulação do nutriente afetada principalmente por sua concentração na solução nutritiva (Figura 2).

Concentrações de Cu em torno das raízes superiores a $0,05 \text{ mg L}^{-1}$ reduzem a produção da alface. O manejo da adubação no sistema convencional em solos com teores elevados desse nutriente deve ser feito de forma a reduzir os riscos de toxidez, e no cultivo sem solo as concentrações na solução nutritiva devem ser reduzidas, especialmente em sistemas fechados. Embora os resultados não tenham sido refletidos em aumento na produção da alface, os teores desse micronutriente nas folhas mostraram-se em níveis adequados para o consumo, não apresentando riscos a saúde do consumidor.

4.6 REFERÊNCIAS

ALVARES CA. 2014. Koppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift* 22: 711-728.

ANDRIOLO, J. L. (ed.). 2007. Seminário sobre o cultivo hidropônico de morangueiro, Santa Maria, RS. Anais... Santa Maria: UFSM, p. 18-29.

ATSDR. 2004. Toxicological profile for copper. New York, Agency for Toxic Substances and Disease Registry. 314 p.

BAKKALI K; MARTOS NR; SOUHAIL B; BALLESTEROS E. 2009. Characterization of trace metals in vegetables by graphite furnace atomic absorption spectrometry after closed vessel microwave digestion. *Food Chemistry* 116: 590-594.

BAKER AJM. 2008. Accumulators and excluders strategies in the response of plants to heavy metals. *Jornal Plant Nutrition* 3: 643-654.

BARROS YJ; MELO VF de; KUMMER L; SOUZA LCP de; AZEVEDO JC. 2011. Indicadores físicos e químicos de qualidade de solos de área de mineração e metalúrgica de chumbo. *Semina: Ciências Agrárias* 32: 1385-1404.

CARDOSO LC. 2012. *Nitrogênio no crescimento e produtividade de plantas de alface cultivadas em confinamento radicular*. Santa Maria: UFSM. 37f. (Dissertação Mestrado).

CASALI C; MOTERLE DF; RHEINHEIMER DS dos; BRUNETTO G; CORCINI ALM; KAMINSKI J; MELO GWB de. 2008. Formas e dessorção de cobre em solos cultivados com videira na serra gaúcha do rio grande do sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 32: 1479-1487.

CASTELLANE PD; ARAÚJO JAC. 1995. Cultivo sem solo – Hidroponia. 4ª ed. Jaboticabal: FUNEP. 43p.

CHARTTERJEE J; CHARTTERJEE C. 2000. Phytotoxicity of cobalt, chromium and copper in cauliflower. *Environmental Pollution* 109 : 69-74.

Embrapa- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2009. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Editor técnico: Fábio Cesar da Silva, 2º ed. Rev. Ampl. Brasília, DF: Embrapa Informação tecnológica, 627 p.

FAILLA ML; JOHNSON MA; PROCHASKA JR. 2001. Copper. In: Present Knowledge in Nutrition, 8ª ed, editors . (Bowman, B. A. & Russell, R. M.), Washington DC, IL: ILSI. p. 373-381.

FURLANI PR. 1997. Cultivo de alface pela técnica da hidroponia - NFT. Campinas : Instituto Agrônômico. 30p. (Documentos IAC, 55).

GIMENÉZ G; ANDRIOLO JL; JANISCH D; GODOI R. 2008. Closed soilless growing system for producing strawberry bare root transplants and runner tips. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 43:1757-1761.

GIMENEZ G. 2007. Produção de mudas de morangueiro em hidroponia. In: ANDRIOLO, J.L. (ed.). SEMINÁRIO SOBRE O CULTIVO HIDRÔNICO DE MORANGUEIRO, Santa Maria, RS. Anais... Santa Maria:UFSM, p. 18-29.

GRANGEIRO LC; COSTA CC; FILHO ABC; GRILLI GVG; COELHO RL; BERGAMIN LG. 2003. Produção de rúcula em hidroponia com diferentes concentrações de cobre. *Horticultura Brasileira* 21: 69-72.

KABALA K; JANICKA-RUSSAK M; BURZYNSK M; KLOBUS B. 2008. Comparison of heavy metal effect on the proton pumps of plasma membrane and tonoplast in cucumber root cells. *Journal of Plant Physiology* 165: 278-288.

- MIOTTO A. 2012. *Cobre em solos arenosos de sob vinhedos e resposta bioquímica-fisiológica de videiras em produção*. Santa Maria: UFSM. 95f. (Tese Doutorado em Ciência do Solo).
- NICHOLSON FA; SMITH SR; ALLOWAY BJ; CARLTON-SMITH C; CHAMBERS BJ. 2003. An inventory of heavy metals inputs to agricultural soils in England and Wales. *The Science of the Total Environment* 311: 205-219.
- PARDOSSI A; CARMASSI G; DIARA C; INCROCCI L; MAGGINI R; MASSA D. 2011. *Fertigation and substrate management in closed soilless culture*. Dipartimento di Biologia delle Piante Agrarie, Pisa, Italy: Università di Pisa. 64p.
- RESENDE GM de; YURI JE; MOTA JH; JUNIOR JCR; SOUZA RJ de; CARVALHO JG de. 2005. Resposta da alface americana (*Lactuca sativa* L.) a doses e épocas de aplicação de cobre. *Horticultura Brasileira* 29:1209-1214.
- RHAMAN H; SABREEN S; ALAM S; KAWAI S. 2005. Effects of nickel on growth and composition of metal micronutrients in Barley plants grown in nutrient solution. *Journal of Plant Nutrition* 28 : 293-404.
- SANTI A; CARVALHO MAC; CAMPOS OR; SILVA AF; ALMEIDA JL; MONTEIRO S. 2010. Ação de material orgânico sobre a produção e características comerciais de cultivares de alface. *Horticultura Brasileira*, 28: 87-90.
- SAVVAS D; GIANQUINTO G; TUZEL Y; GRUDA N. 2013. Soilless culture, 12. In: *Good Agricultural Practices for Greenhouse Vegetable Crops*, Rome, FAO. p. 303-354.
- YRUELA I. 2005. Copper in plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 17: 145–146.

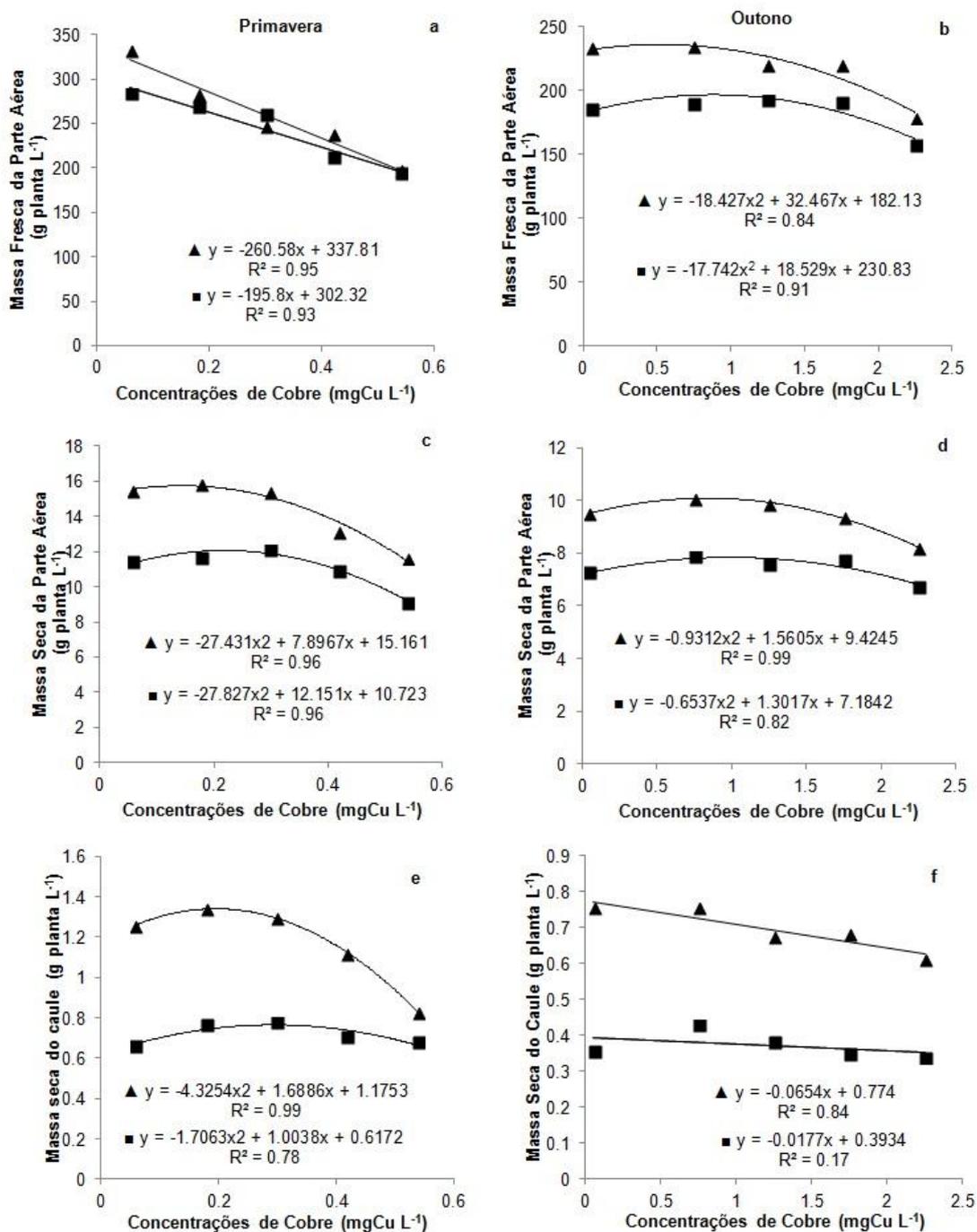


Figura 1 - Massa fresca da parte aérea (a,b), massa seca da parte aérea (c,d) e massa seca do caule (e,f) das cultivares Veneranda (crespa) (▲) e Stella (lisa) (■) de plantas de alface crescendo em solução nutritiva com concentrações de cobre de 0,06 a 0,54 mg Cu L⁻¹ na primavera e 0,05 a 2,25 mg Cu L⁻¹ no outono. Santa Maria, RS, 2015.

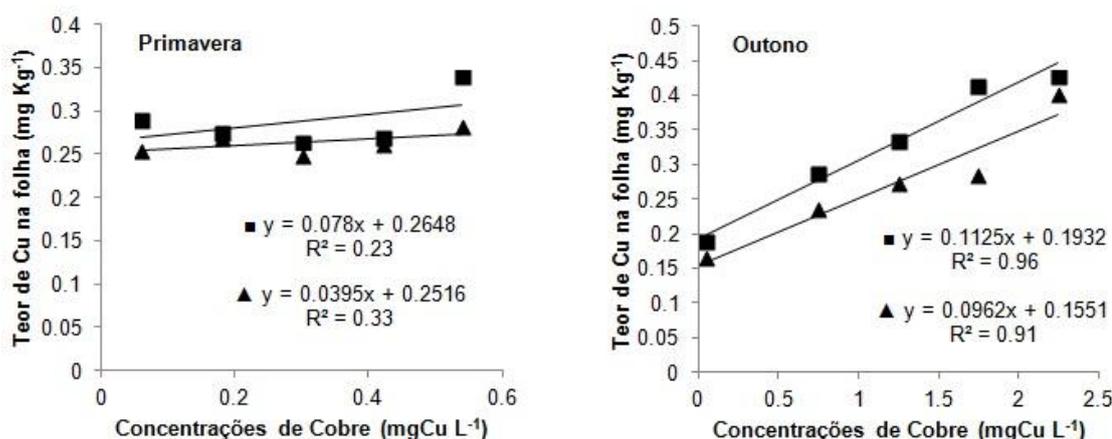


Figura 2 - Teor de cobre na matéria seca da parte aérea das cultivares Veneranda (crespa) (▲) e Stella (lisa) (■), de plantas de alface crescendo em solução nutritiva com concentrações de cobre de 0,06 a 0,54 mg Cu L⁻¹ na primavera e 0,05 a 2,25 mg Cu L⁻¹ no outono. Santa Maria, RS, 2015.

5. DISCUSSÃO GERAL

O presente trabalho objetivou avaliar o efeito das concentrações de silício e cobre na produção de alface em cultivo sem solo.

No artigo 1, os resultados demonstraram que o aumento nas concentrações de silício na solução nutritiva não exerceu efeito positivo sobre a produção das plantas de alface. Provavelmente, o silício tenha inibido a absorção de outros nutrientes essenciais ao metabolismo da planta e também essa redução pode estar associada à fonte de silício utilizada (Korndörfer et al., 2002), resultando em perdas significativas conforme observado nos resultados obtidos, embora estudos já realizados utilizando adubação silicatada em hortaliças e em diferentes culturas tenham apresentado resultados satisfatórios.

Quanto à variável perda de massa fresca pós-colheita (Figura 2), o Si propiciou menor perda de massa fresca para a cultivar Stella quando comparada a cultivar Veneranda, o que permite atribuir ao silício a manutenção da turgidez. A perda de massa e qualidade das hortaliças são consequências da perda de água. O silício na forma de ácido monossilícico se transforma em ácido polissilícico, fazendo com que as paredes dos estômatos fiquem menos flexíveis, permanecendo fechados e diminuindo o processo de transpiração e consequentemente a perda de

água, favorecendo a umidade dos tecidos (LUZ et al., 2006; GALVÃO, 2009). A utilização de silício na solução nutritiva pode ser uma alternativa viável para controle da perda de massa fresca durante o período pós-colheita, propiciando maior tempo de prateleira, principalmente em hortaliças folhosas como a alface que se caracteriza por apresentar alta perecibilidade.

Portanto, apesar do Si ter contribuído para a menor perda de massa fresca pós-colheita da cultivar Stella (lisa), isso não refletiu em aumento nas características de produção das plantas, embora seus efeitos benéficos citados na literatura afirmam que esse elemento possa contribuir na estruturação da parede celular, favorecendo um maior crescimento, desenvolvimento e produtividade. No entanto, estes efeitos benéficos, não foram observados no presente experimento. Entretanto, esses resultados foram obtidos em cultivo sem solo, onde as plantas são supridas com água e nutrientes de forma mais homogênea do que aquelas crescendo no solo em condições de campo. Nessas condições, o efeito do Si pode ser diferente.

No artigo 2, os resultados obtidos no presente trabalho evidenciaram o efeito tóxico do Cu às plantas, pois com o aumento da concentração na solução nutritiva houve uma redução nas variáveis analisadas, independente da época de cultivo e das cultivares. Concentrações em torno das raízes mais baixas do que algumas citadas na literatura reduziram a produção das plantas.

Quanto ao teor de Cu na folha, os mesmos apresentaram-se nutricionalmente adequados ao consumo, haja vista, que são valores bem abaixo dos limites toleráveis para ingestão, podendo dessa forma, as alfaces serem consumidas sem risco de toxidez.

Sabe-se que os problemas relacionados com o aumento da concentração de metais em solos têm relação com as atividades agrícolas e industriais, além dos fertilizantes, lodo de esgoto e resíduos agroindustriais. Os resultados atuais limitaram-se aos efeitos do cobre. Entretanto, é possível que efeitos semelhantes ocorram também com outros micronutrientes, como Mn e Zn, os quais envolvem reações químicas semelhantes àquelas do cobre. Isso evidencia o risco potencial da aplicação de micronutrientes na produção de hortaliças, prática essa difundida pelas facilidades da aplicação por fertirrigação. Uma vez atingidas concentrações tóxicas no solo, será difícil reduzi-las devido, principalmente, à estabilidade desses metais no solo e a pequena absorção pelas plantas.

6. CONCLUSÃO

Concluiu-se que nas concentrações testadas não há efeito benéfico do silício na produção da alface em cultivo sem solo, apenas na redução da massa fresca pós-colheita aos 10 dias da cultivar Stella, sendo recomendável mais pesquisa com outras fontes de silício para testar sua eficiência na cultura da alface.

As concentrações de Cu reduziram a produção em ambas as cultivares e épocas, concluindo-se que concentrações em torno das raízes superiores a 0,05 mg L⁻¹ devem ser evitadas.

7. REFERÊNCIAS

ABDEL-HALEEM, A. S. et al. Heavy metals and rare earth elements in phosphate fertilizer components using instrumental neutron activation analysis. **Applied Radiation and Isotopes**, v.55, n.4, p.569-573, October 2001.

ARBOS, K. **Qualidade sanitária e nutricional de hortícolas orgânicas**. 2009. 161 f. Tese (Doutorado em Programa de Pós Graduação em Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

AREND, K. **Substâncias húmicas e formas de cobre em solos de áreas de videira**. 2010. 115 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2010.

BAKER, A. J. M. et al. Metal hyperaccumulator plants: a review of the ecology and physiology of a biological resource for phytoremediation of metal-polluted soils. In: TERRY, N.; BANUELOS, G. (Ed.). **Phytoremediation of contaminated soil and water**. Boca Raton: Lewis Publishers, 2000. p. 85-107.

BALASTRA, M. L. F. et al. Effects of silica level on some properties of *Oriza sativa* straw and hult. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v. 67, n.8, p. 2356-2363, aug./sep. 1989.

BARBOSA F. M. P. et al. Silicato de cálcio como fonte de silício para arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, Rio de Janeiro, v.25, n.2, p.325-330, Apr./June de 2001.

BATAGLIA, O. C. & FURLANI, P. R. Nutrição Mineral e Adubação para cultivos em substratos com atividade química. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE SUBSTRATO PARA PLANTAS, 4., 2004, Universidade Federal de Viçosa. Anais... Viçosa: ed. UFV, 2004. p. 106-128.

BEZERRA, F. C. 2003. **Produção de mudas de hortaliças em ambiente protegido**. 1ª ed. Fortaleza - CE: Embrapa Agroindústria Tropical, Documentos 72, 22 p.

BRASIL. Decreto n. 2.954. Aprova o regulamento da lei 6894 de 16 de janeiro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura, e dá outras providências. Normas Jurídicas (Texto Integral) – DEC 004954, 14 jan., 2004, 27 p.

CARVALHO, J. G. de. et al. Desempenho da cultura do tomate adubado com Silifétil. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.20, n.2, p.402, julho de 2002.

CHARTTERJEE, J.; CHARTTERJEE, C. Phytotoxicity of cobalt, chromium and copper in cauliflower. **Environmental Pollution**, v. 109, n. 1, p.69-74, July 2000.

COMETTI, N. N. et al. Compostos nitrogenados e açúcares solúveis em tecidos de alface orgânica, hidropônica e convencional. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 22, n. 4, p. 748-753, out./dez. 2004.

EPSTEIN, E. Silicon. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 50, p. 641-664, June de 1999.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. 2004. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**, 2 ed., Londrina, PR, Ed. Planta, 401 p.

FADIGAS, F. de S. et al. Concentrações naturais de metais pesados em algumas classes de solos brasileiros. **Bragantia**, Campinas, v. 61, n. 2, p. 151-159, mai./ago. 2002.

FERREIRA, S. et al. Amplitude de variação quanto ao número de dias para florescimento em diferentes genótipos de alface. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 48. **Resumos...** Maringá: ABH, 2008. (CD-ROM).

FERREIRA, R.L.F. et al. Avaliação de cultivares de alface adubadas com Silifétil®. **Caatinga**, Mossoró, Rio Grande do Norte, v.22, n.2, p.5-10, abril/junho 2009.

FILGUEIRA, F. A. R. 2008. **Novo Manual de Olericultura** : Agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças, 3 ed., Viçosa, MG, Ed. UFV, 421 p.

FONSECA, I. M. **Efeito da escória de siderurgia como fonte de silício e sua interação com a adubação nitrogenada em *Brachiaria brizantha***. 2007. 79 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, São Paulo, 2007.

GALVÃO, H. L. **Conservação pós-colheita de quiabo e jiló**. 2009. 136f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa-MG, 2009.

GUIMARÃES, A. A. et al. Fisiologia pós-colheita de *Heliconia* spp. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Mossoró, Rio Grande do Norte, v.5, n.5 p.38-49, Dez 2010.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soil and plants**. 3rd ed. Boca Raton: CRC Press, 2001. 413p.

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S. 2002. Silicatos de Cálcio e Magnésio na Agricultura. 2ª ed. Uberlândia: GPSi/ICIAG/UFU, Boletim Técnico 1, 24 p.

LEVESQUE, M. P.; MATHUR, S. P. The effects of using copper for mitigating Histosol subsidence on: 1. The yield and nutrition of oats and lettuce grown on Histosols, mineral sublayers, and their mixtures. **Soil Science**, v. 135, n. 2, p. 88-100, 1983.

LIMA, M. E. **Avaliação do desempenho da cultura da alface (*Lactuca sativa* L.) cultivada em sistema orgânico de produção, sob diferentes lâminas de irrigação e coberturas do solo**. 2007. 77 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro, 2007.

LUENGO, R. F. A; CALBO, A. G. 2001. **Armazenamento de hortaliças, 1ª ed.**, Brasília, Ed. Embrapa Hortaliças, 242p.

LUZ, J. M. Q; GUIMARÃES, S. T. M. R.; KORNDÖRFER, G. H. Produção hidropônica de alface em solução nutritiva com e sem silício. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.24, n.3, p. 295-300, jul./set. 2006.

MALAVOLTA, E. 2006. **Manual de nutrição mineral de plantas**, 1ª. ed., São Paulo, SP, Ed. Agronômica Ceres, 638p.

MARODIN J, C. **Produtividade, qualidade físico-química e conservação pós-colheita de frutos de tomateiro em função de fontes e doses de silício**. 2011. 75 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Estadual do Centro-Oeste, Paraná, 2011.

MIOTTO, A. **Cobre em solos arenosos de sob vinhedos e resposta bioquímica-fisiológica de videiras em produção**. 2012. 95f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

MIRLEAN, N.; ROISENBERG, A.; CHIES, J.O. Metal contamination of vineyard soils in wet subtropics (southern Brazil). **Environmental Pollution**, v.149, n. 1, p.10-17, september 2007.

MONTEIRO, A. V. V. M. et al. A Produção da Agropecuária Paulista: considerações frente à anomalia climática. **Análises e Indicadores do Agronegócio**, v.10, n.4, p.1-16, abril 2015.

MORAIS, R. S. **Cultivo hidropônico de alface (*Lactuca sativa* L.) dos grupos crespa e americana, com três diferentes soluções nutritivas no período de**

verão no município de Itapetinga – BA. 2007. 70 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista – BA, 2007.

MORETTI, C. L. Panorama do processamento mínimo de hortaliças. In: ENCONTRO NACIONAL DE PROCESSAMENTO MÍNIMO DE FRUTAS E HORTALIÇAS, 3, 2006, Viçosa. **Palestras...** Viçosa: UFV, 2006. 242p.

NOJOSA, G. B. A.; RESENDE, M. L. V.; RESENDE, A. V. **Uso de fosfitos e silicatos na indução de resistência.** In: CAVALCANTI, L. S. et al. (Eds.). Indução de resistência em plantas a patógenos e insetos. Piracicaba: FEALQ, 2006. 263 p.

PANOU-FILOTHEOU, H.; BOSABALIDIS, A. M.; KARATAGLIS, S. Effects of copper toxicity on leaves of oregano. **Annals of botany**, v. 88, n. 2, p. 207-214, 2001.

PIETRZAK, U.; McPHAIL, D.C. Copper accumulation, distribution and fractionation in vineyard soils of Victoria, Australia. **Geoderma**, v.122, p.151-166, oct. 2004.

PRADO, R. de M. **Nutrição de plantas** . São Paulo: Ed. UNESP, 92 p. 2008.

RAVEN, J. A. **The transport and function of silicon in plants.** Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society, Cambridge, v. 58, n.2, p. 179-207, may./jun. 1983.

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, DF, v. 25, n. 3, p. 295-300, jul./set.2007.

SANTOS, J. M. dos. **Comportamento da heliconia Golden Torch (*Heliconia psittacorumx spathorcircinada*) submetida a fontes e doses de silício.** 2012. 112f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2012.

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

SIMEONI, L. A.; BRABARICK, K. A.; SABEY, B. R. Effect of a small-scale composting of sewage sludge on heavy metal availability to plants. **Journal Environmental Quality**, v. 13, n. 2, p. 264-268, March 1984.

SOARES, C. R. F. S. et al. Fitotoxidez de cádmio para *Eucalyptus maculata* e *E. urophylla* em solução nutritiva. **Revista Árvore**, Viçosa, v.29, n. 2, p.175-183, mar./abr. 2005.

VIDIGAL, S. M. et al. Resposta da alface (*Lactuca sativa* L.) ao efeito residual da adubação orgânica: I. Ensaio de campo. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 42, n. 239, p. 80-88, jul./ago. 1995.

XIE, Z. M.; LU. S. M. Trace elements and environmental quality. In QL. Editor. Micronutrients and biohealth. Guiyan, China: **Guizhou Science and Technology Press**. p. 208-216, 2000.

YRUELA, I. Copper in plants: acquisition, transport and interactions. **Functional Plant Biology**, Spain, v.36, n.5, p.409-430, May 2009.