



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

FELIPE ARANHA DE ANDRADE

**SILICATO DE CÁLCIO NO RENDIMENTO; TEOR DE
SILÍCIO, MACRO E MICRONUTRIENTES EM ALFACE**

Londrina
2012

FELIPE ARANHA DE ANDRADE

**SILICATO DE CÁLCIO NO RENDIMENTO; TEOR DE
SILÍCIO, MACRO E MICRONUTRIENTES EM ALFACE**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Édison Miglioranza

Londrina
2012

**Catálogo elaborado pela Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central da
Universidade Estadual de Londrina.**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

A553s Andrade, Felipe Aranha de.
Silicato de cálcio no rendimento, teor de silício, macro e micronutrientes em
alface / Felipe Aranha de Andrade. – Londrina, 2012.
84 f. : il.

Orientador: Édison Miglioranza.
Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina,
Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2012.
Inclui bibliografia.

1. Alface – Adubação – Teses. 2. Alface – Cultivo – Teses. 3. Plantas – Efeito
do silício – Teses. 4. Plantas – Nutrição – Teses. 5. Microscopia eletrônica de
varredura – Teses. I. Miglioranza, Édison. II. Universidade Estadual de Londrina.
Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia.
III. Título.

CDU 635.52

FELIPE ARANHA DE ANDRADE

**SILICATO DE CÁLCIO NO RENDIMENTO; TEOR DE SILÍCIO,
MACRO E MICRONUTRIENTES EM ALFACE**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Agronomia.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Célia Guadalupe T. de Jesus Andrade
UEL – Londrina – PR

Profa. Dra. Conceição Aparecida Cossa
UENP – PR

Pesquisador Dr. Getúlio Takashi Nagashima
IAPAR – Londrina – PR

Prof. Dr. Ricardo Tadeu de Faria
UEL – Londrina – PR

Prof. Dr. Édison Miglioranza
UEL – Londrina – PR

Londrina, 13 de fevereiro de 2012.

DEDICATÓRIA

Primeiramente à Deus, pela vida e saúde.

À Daiani, companheira em todos os momentos.

Aos meus pais, apoiadores incondicionais.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual de Londrina (UEL) e ao Programa de Mestrado em Agronomia pela oportunidade e pela qualidade dos ensinamentos transmitidos.

Ao meu orientador Professor Dr. Édison Miglioranza pela paciência, compreensão, conselhos e ensinamentos passados a mim durante esses dois anos e, ainda, por aceitar fazer parte da minha formação acadêmica pelos próximos anos.

À Professora Dra. Célia Guadalupe Tardeli de Jesus Andrade e ao técnico do Laboratório de Microscopia Eletrônica e Microanálise Osvaldo Capello pelos conselhos, paciência e ensinamentos em microscopia.

Aos amigos Braitner Andrade, Luiz Perini Júnior, Gilberto Rostirolla, Fernanda Nogueira, Júlio Spadotto pelo companheirismo e pelos indispensáveis auxílios prestados.

À CAPES pela responsabilidade na avaliação dos Programas de Pós-Graduação e pelo apoio dado ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da UEL.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pela bolsa de estudos.

Ao Laborsolo pela leitura de Si das amostras.

E, por fim, à todos que me ajudaram de forma direta ou indireta para realização deste trabalho.

*“A mente que se abre a uma nova idéia jamais
voltará ao seu tamanho original”*

Albert Einstein

ANDRADE, Felipe. **Silicato de cálcio no rendimento; teor de silício, macro e micronutrientes em alface**. 2012. 82 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2012.

RESUMO

O silício é considerado um elemento benéfico às plantas, podendo trazer incrementos na produtividade, sanidade, além de alterar a dinâmica nutricional de diversas culturas. Nos vegetais, acumula-se principalmente nas áreas de máxima transpiração. Assim, este estudo teve como objetivos: avaliar o efeito do silicato de cálcio no rendimento; no teor de silício, de macro e micronutrientes em diferentes cultivares de alface; além de determinar, por microscopia eletrônica de varredura (MEV), a presença de corpos silicosos, na parte aérea desta cultura. Nesse sentido, realizaram-se dois experimentos em casa-de-vegetação da Universidade Estadual de Londrina. O primeiro experimento foi conduzido no período de março a maio do ano agrícola de 2011 em esquema fatorial 2x5, em blocos casualizados, com quatro repetições para avaliação do rendimento e duas repetições para avaliação da relação da aplicação das doses de silicato de cálcio com os teores de silício, macro e micronutrientes, sendo: duas cultivares de alface: Lucy Brown (grupo Americana) e Vanda (grupo Solta-Crespa) e cinco doses de silicato de cálcio (0; 0,67; 1,35; 2,67 e 4 t.ha⁻¹). Aos 83 dias após o plantio das mudas, foi realizada a colheita do experimento e avaliou-se: massa fresca da parte aérea (MFPA), massa seca da parte aérea (MSPA) e os teores de silício, macro e micronutrientes da parte aérea. O segundo experimento foi conduzido no período de julho a setembro do ano agrícola de 2011 em esquema fatorial 4x2, em blocos casualizados, com quatro repetições para avaliação do rendimento e três repetições para avaliação da relação da aplicação das doses de silicato de cálcio com os teores de silício, macro e micronutrientes. Foram utilizados quatro cultivares de alface: Lucy Brown (grupo Americana); Vanda (grupo Solta-Crespa); Elisa (grupo Solta-Lisa) e Romana (grupo Romana) e duas doses de silicato de cálcio (0 e 4 t.ha⁻¹). Aos 73 dias após o plantio das mudas, foi realizada a colheita do experimento e avaliou-se: massa fresca da parte aérea (MFPA), massa seca da parte aérea (MSPA), diâmetro da cabeça comercial (DCC), altura das plantas, teores de silício, macro e micronutrientes da parte aérea, além da utilização do MEV para obtenção de imagens para detecção de corpos silicosos. O silicato de cálcio não favoreceu o rendimento da alface, com exceção da ‘Lucy Brown’, onde as plantas tratadas com este elemento apresentaram maior massa fresca da parte aérea. A alface se comportou como não acumuladora de silício. As cultivares Lucy Brown e Vanda obtiveram maior massa fresca da parte aérea nas doses de 2,67 e 4 t.ha⁻¹ de silicato de cálcio, respectivamente. A aplicação de silicato de cálcio diminuiu o teor de Cu e aumentou os teores de Mn e B na ‘Vanda’. Em relação à ‘Romana’, houve maior acúmulo de P e Mn nas plantas que não receberam adubação silicatada, em relação às adubadas. A ‘Lucy Brown’ apresentou maior teor de B nas plantas que receberam adubação contendo silício. As cultivares Lucy Brown, Vanda e Romana acumularam macronutrientes na seguinte ordem decrescente: K>N>Ca>P>Mg, com exceção da ‘Elisa’ que apresentou valor de Ca maior do que de N e valor de Mg maior do que de P.

Palavras-chave: *Lactuca sativa* L.. Produção. Nutrição de plantas. Adubação silicatada. Microscopia eletrônica de varredura.

ANDRADE, Felipe. **Calcium silicate in the performance; silicon content, macro and micro nutrients in lettuce**. 2012. 82 f. Dissertation (Master's Degree in Agronomy) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2012.

ABSTRACT

Silicon is considered a beneficial element to plants; it may bring increases in productivity, sanity and also changes the nutritional dynamics of diverse cultures. In the plants, it accumulates mainly in the areas of maximum transpiration. Thus, this study aimed: evaluate the effects of calcium silicate in the performance, the silicon content, of macro and micro nutrients in different cultivates of lettuce; in addition to observing through of scanning electronic microscope (SEM), if there is presence of silicon, in the form of silica bodies in the airy part of this culture. In this sense, two experiments were conducted in a greenhouse of Londrina University. The first experiment was conducted in the period from march to may inside the agricultural year of 2011 in factorial scheme 2x5 in randomized blocks, with four repetitions for evaluation of performance and two repetitions for evaluation of relation application of calcium silicate doses with the levels of silicon, macro and micronutrients distributed as follows :two lettuce cultivars: Lucy Brown (American group) and Vanda (loose-curly group), and five doses of calcium silicate (0; 0,67; 1,35; 2,67 and 4 t.ha⁻¹). At 83 days after sowing the seedlings, it was done the picking of the experiment and it was evaluated: fresh weight of airy part (FWAP), dry mass from airy part (DMAP) and the silicon content, macro and micro nutrients from airy part. The second experiment was conducted in the period from july from september inside the agricultural year of 2011 in factorial scheme 4x2, in randomized blocks, with four repetitions for evaluation of performance and three repetitions for evaluation of relation of doses applications of calcium silicate with the levels of silicon, macro and micro nutrients, distributed as follows: for lettuce cultivars; Lucy Brown (American group); Vanda (Loose-Curly group), Elisa (Smooth-Loose group), and Roman (Roman group) and two doses of calcium silicate (0 and 4t.ha⁻¹). At 73 days after sowing the seedlings, it was done the picking of the experiment and it was evaluated: fresh weight of airy part (FWAP) dry mass in the airy part (DMAP), commercial head diameter (CHD), plant height and silicon content, macro and micro nutrients of airy part, beyond the utilization of scanning electronic microscopy (SEM) to obtain images for possible detection of silica bodies. Calcium silicate didn't benefit the lettuce performance, except the 'Lucy Brown', where the plants treated with this element showed greater fresh weight from airy part beyond culture have behaved as no silicon accumulator. Otherwise the 'Lucy Brown' and 'Vanda' reached the highest fresh mass in the airy part in the doses of 2,67 and 4t.ha⁻¹ of calcium silicate, respectively. The application of calcium silicate decreased the level of Cu and it increased the levels of Mn and B in the 'Vanda'; moreover toward the 'Roman' there was a greater accumulation of P and Mn in the plants that didn't receive silicon fertilization, in relation to fertilized plants. The 'Lucy Brown' showed higher content of B in the plants which received fertilization that contained silicon. The cultivars Lucy Brown, Vanda e Romana, tend to accumulate macronutrients in the following decreasing order: K>N>Ca>P>Mg, except the 'Elisa' that showed amount of Ca greater than N an amount of Mg larger than P.

Keywords: *Lactuca sativa* L.. Production. Nutrition plants. Silicated fertilization. Scanning electronic microscopy.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 3.1** – Massa fresca comercial da parte aérea das cultivares de alface Vanda (grupo Solta-Crespa) e Lucy Brown (grupo Americana) em função do uso de doses de silicato de cálcio (médias de quatro repetições). Londrina, UEL, 2012..... 41
- Figura 3.2** – Massa seca da parte aérea das cultivares de alface Vanda e Lucy Brown em função do uso de doses de silicato de cálcio (médias de quatro repetições). Londrina, UEL, 2012..... 43
- Figura 3.3** – Análise de componentes principais de variáveis relacionadas com acúmulo de silício, macro e micronutrientes em duas cultivares de alface, ‘Lucy Brown’ (grupo Americana) e ‘Vanda’ (grupo Solta-Crespa) em função de doses de silicato de cálcio. Londrina, UEL, 2012..... 44
- Figura 4.1** – Eletromicrografias ilustrando mapeamento do elemento químico silício na epiderme superior de folhas de alface. Londrina, UEL, 2012..... 56

LISTA DE TABELAS

- Tabela 4.1** – Comparação entre as cultivares de alface em relação à massa fresca da parte aérea (M.F.P.A.), massa seca da parte aérea (M.S.P.A.), diâmetro da cabeça comercial (D.C.C.) e altura. Londrina, UEL, 2012. 54
- Tabela 4.2** – Massa fresca da parte aérea (M.F.P.A.), massa seca da parte aérea (M.S.P.A.), diâmetro da cabeça comercial (D.C.C.) e altura de plantas de alface produzidas em casa de vegetação, em funções dos tratamentos com silicato de cálcio. 0 t.ha⁻¹ de silicato de cálcio (sem Si) e 4 t.ha⁻¹ de silicato de cálcio (com Si). Londrina, UEL, 2012. 55
- Tabela 4.3** – Comparação do teor foliar de silício (mg/kg⁻¹) entre as cultivares de alface tratadas com silicato de cálcio, nas dosagens de 4 t.ha⁻¹ (com silício) e 0 t.ha⁻¹ (sem silício). Londrina, UEL, 2012. 57
- Tabela 4.4** – Comparação do teor foliar de macronutrientes (g/Kg⁻¹) entre as cultivares de alface tratadas com silicato de cálcio, nas dosagens de 4 t.ha⁻¹ (com silício) e 0 t.ha⁻¹ (sem silício). Londrina, UEL, 2012. 58
- Tabela 4.5** – Comparação do teor foliar de micronutrientes e silício (mg/Kg⁻¹) entre as cultivares de alface tratadas com silicato de cálcio, nas dosagens de 4 t.ha⁻¹ (com silício) e 0 t.ha⁻¹ (sem silício). Londrina, UEL, 2012 59
- Tabela 4.6** – Comparação do teor foliar de macronutrientes (g/Kg⁻¹) entre as cultivares de alface. Londrina, UEL, 2012. 60
- Tabela 4.7** – Comparação do teor foliar de micronutrientes e silício (mg/Kg⁻¹) entre as cultivares de alface. Londrina, UEL, 2012. 60

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1	ORIGEM E DIFUSÃO DA CULTURA	13
2.1.1	Importância Econômica	14
2.1.2	A Alface na Nutrição Humana	17
2.1.3	Clima e Época de Plantio	17
2.1.4	Cultivares	19
2.1.5	Solo e Adubação	21
2.1.6	Implantação da Cultura	22
2.1.7	Tratos culturais	23
2.1.8	Colheita e Comercialização	24
2.2	SILÍCIO	25
2.2.1	Aspectos Gerais e Ciclo do Silício	25
2.2.2	Silício no Solo	26
2.2.3	Tipos de Adubos com Silício e Métodos de Aplicação	27
2.2.4	Interação Silício x Outros Nutrientes na Planta	29
2.2.5	Interação Silício x Metais Pesados	29
2.2.6	Aquisição e Essencialidade do Silício Para as Plantas	31
2.2.7	Corpos Silicosos (Fitólitos)	33
2.2.8	Silício na Alface	34
3	ARTIGO A: AVALIAÇÃO DE CULTIVARES DE ALFACE ADUBADAS COM SILICATO DE CÁLCIO	37
3.1	RESUMO E ABSTRACT	37
3.2	INTRODUÇÃO	38
3.3	MATERIAL E MÉTODOS	38
3.4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
3.5	CONCLUSÕES	45
3.6	REFERÊNCIAS	46

4	ARTIGO B: RENDIMENTO E ACÚMULO DE NUTRIENTES EM QUATRO CULTIVARES DE ALFACE EM CULTIVO COM E SEM APLICAÇÃO DE SILICATO DE CÁLCIO	49
4.1	RESUMO E ABSTRACT.....	49
4.2	INTRODUÇÃO.....	50
4.3	MATERIAL E MÉTODOS	51
4.4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
4.5	CONCLUSÕES.....	61
4.6	REFERÊNCIAS	61
5	CONCLUSÕES GERAIS	65
	REFERÊNCIAS	66
	APÊNDICES	76
	APÊNDICE A – Instalação do experimento.....	77
	APÊNDICE B – Cultivares de alface utilizadas no experimento.....	78
	APÊNDICE C – Mapeamento realizado no microscópio eletrônico de varredura do silício presente nos tecidos da epiderme superior das folhas das cultivares de alface estudadas.....	79
	ANEXOS	81
	ANEXO A – Precipitação total e temperatura média em Londrina-PR durante a condução do experimento (Março 2011 a Setembro 2011)	82

1 INTRODUÇÃO

As plantas necessitam de nutrientes que são essenciais ao seu desenvolvimento, entretanto, existem outros que mesmo não sendo essenciais, são benéficos, uma vez que podem trazer incrementos na produtividade, interagir com outros nutrientes da solução do solo, melhorando assim a absorção dos demais nutrientes pelas plantas, bem como reduzir o efeito de elementos tóxicos. Entre os elementos benéficos está o silício, na cultura da alface, por exemplo.

A alface (*Lactuca sativa* L.) é a hortaliça folhosa mais consumida no Brasil, além de ser cultivada em quase todos os países. A planta de alface é tipicamente de inverno, porém devido ao melhoramento genético, pode ser cultivada durante todo o ano.

Atualmente, existem diversos cultivares de alface no mercado, havendo várias diferenças entre eles, dentre elas pode-se citar a diferença na absorção e acúmulo de nutrientes.

O silício é o maior componente de minerais do grupo dos silicatos, além de ser o segundo elemento mais abundante na crosta terrestre (JACKSON, 1964). Na forma de silicatos e quartzo, principalmente, aparece em altos teores nos solos minerais. Em solos com alto grau de intemperismo sua concentração é menor, podendo ser adicionado na forma de silicatos de cálcio e magnésio, por exemplo. Na forma de sílica, está presente nos componentes minerais da parede celular das plantas. Apresenta-se ligado aos carboidratos e a outros elementos, tais como cátions metálicos, os quais geralmente estão ligados ou complexados pela lignina, carboidratos e sílica.

A sílica se distribui de maneira não-uniforme nas diferentes partes da planta. Estudos utilizando a microscopia eletrônica vêm sendo realizados, com o intuito de conhecer melhor as estruturas, bem como as localizações dos corpos silicosos nos tecidos vegetais.

A carência de estudos sobre o uso de silício na cultura da alface, associada à falta de informações sobre a metodologia de identificação da sílica nas estruturas dos vegetais justificam o presente trabalho, que teve por objetivos avaliar o efeito do silicato de cálcio no rendimento, teor de silício, macro e micronutrientes em diferentes cultivares de alface. Objetivou-se, também, observar, por microscopia eletrônica de varredura, a presença de silício, na forma de corpos silicosos, na parte aérea da cultura.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 ORIGEM E DIFUSÃO DA CULTURA

Laurent Täckholm (1951 apud LINDQVIST, 1960, p. 339) cita pinturas em tumbas egípcias, datadas de cerca de 4.500 a.C, como o registro mais antigo da alface. As figuras que ilustram uma forma de alface com folhas alongadas como prova de que este vegetal já vinha sendo cultivado desde o tempo dos faraós. Entretanto, a alface cultivada pelos egípcios era muito amarga e acredita-se que era mais utilizada para fins medicinais.

Keimner (1924 apud LINDQVIST, 1960, p. 339) classificou as formas cultivadas no antigo Egito como pertencentes à *Lactuca sativa*, longifolia, ou seja, ao grupo de alfaces cós, e aponta as espécies ilustradas muitas vezes com folhas lanceoladas e pontiagudas. Posteriormente, segundo o mesmo autor, a disseminação do cultivo da alface ocorreu do Egito para a Grécia e Roma, juntamente com a expansão do Império Romano.

Os romanos trabalharam a fim de deixarem as cultivares de alface cada vez menos amarga e com folhas maiores. Até o primeiro século a.C, os romanos já tinham desenvolvido pelo menos nove variedades, com o passar do tempo, por volta de 100 anos d.C, haviam cerca de 12 variedades. Foram os romanos que provavelmente introduziram a planta na Grã-Bretanha (GENESIS; SCIENCE, 2009).

Folhas com formato alongado, presumivelmente do tipo cós, foram cultivadas na Grécia e Roma e provavelmente também sejam tipos de folhas de alface (HELM, 1954 apud LINDQVIST, 1960, p. 340). Entretanto, não foram encontradas referências sobre a alface repolhuda até o século XVI (HELM, 1954 apud LINDQVIST, 1960, p. 340). A partir de Kräuterbuch (1543 apud LINDQVIST, 1960, p. 340) apresentou o primeiro registro da existência deste tipo de planta.

Não há evidências de que também a alface do tipo “aspargo” foi utilizada pelos egípcios, gregos ou romanos. Atualmente o tipo “aspargo” é cultivado quase que exclusivamente na China, onde a alface foi introduzida entre 600 e 900 d.C (HELM, 1954 apud LINDQVIST, 1960, p. 340).

As sementes de alface foram trazidas da Europa para o Mundo Novo já em 1.494 com Colombo. Antes do advento da refrigeração comercial, nos anos de 1.800 a alface era muito cara, pois é perecível sem refrigeração, com isso, só as pessoas de maior poder aquisitivo podiam pagar pelo luxo de consumir essa hortaliça (GENESIS AND SCIENCE, 2009).

Há três teorias aceitas em relação à origem da *L. sativa*. Teoria de Bischoff (1851 apud LINDQVIST, 1960, p. 340); De Candolle (1883 apud LINDQVIST, 1960, p. 340) e de Durst (1930 apud LINDQVIST, 1960, p. 340). Essas teorias apresentam a alface cultivada como sendo originada da *Lactuca serriola*, tendo este último autor considerado que as diferenças e as grandes variedades das formas das espécies cultivadas são o resultado do acúmulo de mutações, devido à seleção durante o cultivo.

Diferentes opiniões foram expressas por Alefeld (1886 apud LINDQVIST, 1960, p. 340) que considerou a ‘Schultzii’ como sendo ancestral da *L. sativa* e por Haussknecht (1895 apud LINDQVIST, 1960, p. 340) que acreditava que a alface cultivada era originada da *L. sativa* f. *spontanea*. Sturtevan (1886 apud LINDQVIST, 1960, p. 340) considerava que as três formas de espécies, com folhas lanceoladas, alface cós e alface repolhuda, eram provenientes de diferentes formas selvagens que foram trazidas para o cultivo em diferentes regiões. Por outro lado, Helm (1954 apud LINDQVIST, 1960, p. 340) levanta a questão de saber se as formas de alface cultivadas podem ter sido originadas da *L. serriola* pura ou híbridos entre esta e outras espécies, e cita como evidência para a última alternativa diferenças marcantes na morfologia entre variedades de alface cós por um lado da folha e alface repolhuda por outro. De acordo com Focke (1881 apud LINDQVIST, 1960, p. 340) algumas variedades de alface cultivada tinham origem híbrida.

Contudo, as três diferentes teorias sobre a origem da alface cultivada, podem ser descritas da seguinte maneira: a primeira teoria se refere à origem a partir de formas selvagens de *L. sativa*. Além do mais, não há evidências confiáveis da existência de verdadeiras formas selvagens de *L. sativa*. A segunda acredita que tenha originado da descendência direta da *L. serriola*. Sendo assim, dois problemas podem estar envolvidos, ou seja, por que uma espécie, como *L. serriola*, que parece ter tão pouco a oferecer como uma planta para cultivo comercial, foi cultivada? Além do mais, o poliformismo da *L. sativa* pode ser proveniente de mutações que se acumularam como resultado do relaxamento da seleção natural. Já a terceira teoria cita a alface cultivada como tendo sua origem através da hibridação entre espécies diferentes (LINDQVIST, 1960).

2.1.1 Importância Econômica

A alface é uma das hortaliças folhosas com maior presença na mesa dos brasileiros, sendo tradicionalmente cultivada em quase todo território nacional. No Brasil, o consumo de alface encontra-se em sexto lugar entre as hortaliças e, em termos de volume

comercializado, ocupava a oitava posição (GOTO, 1998), fato que corrobora com os estudos de Biasi et al. (1991), que já apresentava a alface como sendo a sexta hortaliça em importância econômica e oitava em termos de volume comercializado. Segundo dados do Agriannual (2004), o volume comercializado de alface entre janeiro de 1999 e junho de 2003, no Entrepósito Comercial de São Paulo –CEAGESP, foi de 106.751 toneladas. De acordo com o Agriannual (2010) o volume de alface comercializada no CEAGESP-SP, foram cerca de 31.689 toneladas.

A produção mundial de alface em 2004 foi estimada em 22 milhões de toneladas, distribuídas em uma área de um milhão de hectares. Neste período a China era o maior produtor do mundo, com volume anual de cerca de 10,5 milhões de toneladas, o que representava aproximadamente 48% da produção mundial. Os Estados Unidos da América representavam na época cerca de 23% da produção mundial, seguido da Europa com 15%. A Espanha e a Itália eram os principais produtores de alface da Europa (BRASIL, 2007)

A alface está entre as dez hortaliças mais apreciadas para consumo *in natura* no Brasil (PORTO, 1996), sendo a folhosa de maior importância econômica. Segundo dados relatados por Camargo Filho e Mazzei, (1994) a cultura da alface ocupava uma área de 4.026 hectares com produção nacional de 60.876 toneladas, sendo que o Estado de São Paulo respondia por 45,6% da produção.

De acordo com os resultados do Instituto de Economia Agrícola e Coordenadoria de Assistência Técnica Integral, citado por Camargo Filho e Camargo (2008), a alface apresentou no ano agrícola de 2006, no estado de São Paulo, uma área cultivada de 6.570 hectares e uma produção de 129.077 toneladas. Quanto ao consumo per capita, tendo como fonte dados do POF – ENDEF (IBGE), citado pelos mesmos autores o consumo de alface entre 1987-1988 era de 1,9 kg⁻¹/habitante/ano, de 1995-1996 essa quantidade caiu para 0,8. No período de 2002 o consumo foi de 0,64 Kg⁻¹/habitante/ano, e em 2008 este valor subiu para 0,91 kg⁻¹/habitante/ano (SÃO PAULO, 2011a).

Junto ao Relatório anual do Entrepósito Terminal de São Paulo (ETSP), da Companhia de Entrepósitos e Armazéns Gerais de São Paulo, citado por Camargo Filho e Camargo (2008), no ano agrícola de 2004, o CEAGESP, recebeu cerca de 26.250 toneladas de alface, representando 13% da quantidade de hortaliças folhosas recebida pelo órgão.

As hortaliças, como a alface, por exemplo, podem ser mais lucrativas do que outras culturas, como as de grãos, porém apresentam uma realidade bem mais complexa, e o sucesso dos negócios com esse grupo de alimentos depende de vários fatores. Primeiramente, deve-se considerar que as hortaliças são culturas temporárias e, assim como as outras,

necessitam de um investimento inicial. Os níveis de investimento variam dependendo da espécie, região e época de cultivo. Normalmente, o produtor pode obter lucros razoavelmente elevados por área plantada, dependendo do valor agregado do produto e da conjuntura de mercado. Com isso, as atividades hortícolas têm permitido a uma família viver razoavelmente bem, com uma pequena área plantada, ressaltando-se os atributos de qualidade e uma alta produtividade, fatores fundamentais e determinantes de melhor rentabilidade nessa atividade (VILELA; HENZ, 2000). Por outro lado, fatores como eventos climáticos, doenças e pragas que ocasionem perdas e diminuam a qualidade do produto podem trazer baixa remuneração ao produtor (CAMARGO; CAMARGO; CAMARGO FILHO, 2008).

O agronegócio de hortaliças é um ramo da economia agrícola que possibilita a geração de grande número de empregos, sobretudo no setor primário, devido à elevada exigência de mão-de-obra desde a sementeira até a comercialização (VILELA; HENZ, 2000).

Segundo informações da Companhia de Entrepostos e Armazéns Gerais de São Paulo (CEAGESP) a respeito do consumo de alface no Estado de São Paulo, Estado com maior produção (137 mil t) e consumo, revela que a tipo americana tem 26,89% da preferência e já ultrapassou o consumo da tipo lisa (14,57%), enquanto a tipo crespa se encontra no topo com 57,63% das vendas. O mercado também abre espaço para tipos como a tipo Romana, que tem a preferência de 0,9% dos consumidores. Um dos principais motivos para o aumento do consumo do tipo americana, 10,5% comparado a 2005, é a conservação maior no período de pós-colheita, permitindo a produção em regiões mais distantes.

De acordo com dados do Instituto de Economia Agrícola o preço médio da planta de alface no varejo variou de R\$ 1,24 em agosto de 2010 para R\$ 1,50 em agosto de 2011, tendo alguns altos e baixos entre esses meses (SÃO PAULO, 2011b).

O preço médio semanal recebido pelos produtores de alface na região de Londrina-Pr no período de 12/09/2011 a 16/09/2011 foi de R\$ 6,00 / 9 Kg⁻¹ do produto fresco (PARANÁ, 2011a). Quando se analisa o preço médio mensal recebido pelo agricultor, observa-se que no período de agosto de 2010, este recebia cerca de R\$ 4,49 na caixa de nove kg⁻¹ de alface, já no mês de agosto de 2011 o valor pago era cerca de R\$ 7,43, tendo certas oscilações entre estes períodos (PARANÁ, 2011b).

Em relação aos dados obtidos pela Secretaria da Agricultura e do Abastecimento do Paraná, em meados de 2009, a produção de alface convencional no Paraná era cerca de 70 toneladas/ano, em uma área plantada de 3.608 ha. Há aproximadamente 5.155 produtores no Estado, a maioria concentra-se nas regiões metropolitanas das maiores cidades como Curitiba, Maringá e Cascavel (PARANÁ, 2011c).

2.1.2 A Alface na Nutrição Humana

A alface apresenta importância relativamente grande na alimentação humana. Juntamente com o tomate é a hortaliça preferida para as saladas por ser refrescante, de sabor agradável e de fácil preparo. De acordo com Hanif et al. (2006) analisando a quantidade dos compostos da alface concluíram que o vegetal apresentava, para cada 100g de matéria seca, aproximadamente 93,8g de umidade; 1,2g de proteína; 0,25g de gorduras; 3,0g de carboidratos; 0,7g de fibra; 0,8g de cinzas e 17 calorias de energia. Além do mais, quando esses autores quantificaram o teor de macro e micro nutrientes presentes em 100g de alface, relataram que a planta acumulou cerca de 45 mg de Ca; 34 mg de P; 4,5 mg de Na; 58,5 mg de K; 0,005 mg Cr e 1,1 mg de Fe. Os teores de vitaminas também foram analisados, e para cada 100g de alface, foram encontrados 0,06 mg de Vitamina B1; 0,1 mg de Vitamina B2; 0,5 mg de Vitamina B5 e 10 mg de Vitamina C. Contudo, esses autores relataram que a alface e outros vegetais são alimentos nutritivos que fornecem quantidade suficiente de nutrientes necessários para a manutenção normal do corpo, função e reprodução. Sendo a alface importante na dieta de pessoas obesas, devido ao baixo acúmulo de gordura. Apresentando-se também como uma boa fonte de fibras, podendo com isso, diminuir a concentração de colesterol no organismo.

Nicolle et al. (2003) utilizando alface na dieta de ratos constataram que o consumo do vegetal aumentou a excreção de colesterol total final e melhorou a capacidade antioxidante, devido à riqueza em antioxidantes (vitaminas C, E e carotenóides). Além do mais, ressaltaram que a alface traz efeitos benéficos sobre o metabolismo lipídico e sobre a oxidação dos tecidos. Portanto, o consumo regular de alface pode contribuir para melhorar a proteção contra doenças cardiovasculares.

A alface romana apresenta níveis relativamente baixos de compostos fenólicos e capacidade antioxidante variável, o que permite uma significativa atividade antineurodegenerativa devido seu alto consumo. Há tendência de aumentar o consumo de alface romana fresca, devido ao benefício protetor que dela pode ser esperado (IM et al., 2010).

2.1.3 Clima e Época de Plantio

De acordo com Filgueira (1982), a temperatura máxima do ar tolerada pela alface é de 30°C e a mínima é de 6°C. A temperatura diurna favorável para o crescimento da

alface situa-se entre 17 e 28°C (JOURBERT; COERTZE, 1982). O crescimento e desenvolvimento da cultura podem ser cessados com temperaturas máximas de 21°C e mínimas de 4°C (SANCHES, 1989). Temperaturas elevadas podem provocar queima das bordas das folhas externas e a formação de cabeças pouco compactas, assim como contribuir para a ocorrência de deficiência de cálcio, desordem fisiológica conhecida como “tipburn” (JACKSON; MILLER, 1999).

A alface é uma planta anual, que floresce sob dias longos e temperaturas quentes na etapa reprodutiva do ciclo da cultura, que se inicia com o pendoamento. A fase vegetativa é favorecida por dias curtos e temperaturas amenas ou baixas. Esta cultura pode resistir a baixas temperaturas e geadas leves. As condições climáticas em que as mudas são produzidas afetam sobremaneira o comportamento da planta adulta. A alface era típica de outono-inverno, porém devido ao melhoramento genético, com cultivares adaptadas para cultivo em outras épocas do ano, pode ser cultivada durante o ano todo. (FILGUEIRA, 2003).

Araújo et al. (2010) trabalhando em ambiente protegido e natural, com o objetivo de avaliar o desenvolvimento e quantificar a ação dos elementos meteorológicos e graus-dia (414, 480, 510 e 557), sobre o crescimento da alface tipo americana no período de inverno e primavera, concluíram que o ambiente protegido proporcionou um micro-clima favorável ao desenvolvimento da cultura, antecipando a colheita em oito dias. Além do cultivo protegido, o período de inverno ofereceu melhores condições para crescimento e desenvolvimento das plantas. Já os maiores valores de graus-dia acarretaram redução do ciclo e da fitomassa seca total da alface.

Silva, Leal e Maluf (1999) utilizando quatro cultivares de alface, Vitória, Brasil 303, Elisa e Babá a fim de avaliar dias para pendoamento, dias para florescimento e ciclo, em três épocas de plantio: (julho a outubro-95), (abril e julho-96) e (setembro-96 a janeiro-97), concluíram que a ‘Vitória’ e ‘Elisa’ foram significativamente mais tardias em relação às demais, quanto a dias para pendoamento, dias para florescimento e ciclo. As cultivares Babá e Brasil 303 apresentaram menor número de dias para pendoamento e para florescimento, com tendência ao pendoamento e florescimento precoce. Não foram detectadas interação significativa de cultivares com épocas de cultivo.

Segundo Nespoli et al. (2009) utilizando 14 cultivares de alface crespa sob altas temperaturas em Cáceres-MT, a fim de avaliar a produção total e o comprimento do caule, verificaram que as cultivares Cinderela, Marisa e Elba são promissoras para o cultivo na região no período de outubro a novembro, apesar de terem apresentado uma leve tendência ao alongamento do caule. Outra cultivar interessante foi a Simpson Elite, pois apresentou boa

produção de matéria fresca total e comercial, além de um menor tamanho do caule, mostrando tolerância a temperaturas mais elevadas. Em relação à característica comprimento do caule, que indica tolerância ao pendoamento, concluiu-se que as cultivares que apresentaram melhor desempenho foi 'Vanda' e 'Isabela', já que puderam ser mantidas por um período maior no campo.

De acordo com Resende, Yuri e Souza (2008) objetivando avaliar a época de plantio (outono e inverno) sobre o rendimento da alface tipo americana, utilizando a 'Raider', concluíram que a maior massa fresca total, comercial e circunferência da cabeça foram observadas no plantio de inverno e o maior comprimento do caule no plantio de outono.

2.1.4 Cultivares

As cultivares, disseminadas entre os olericultores do centro-sul, originaram-se de trabalhos de melhoramento genético nacionais e internacionais. Um dos principais objetivos dos fitomelhoristas brasileiros tem sido desenvolver cultivares que apresentem maior resistência ao pendoamento precoce e ao mosaico-da-alface, algumas também são resistentes à queima-da-saia. Tais cultivares podem ser cultivadas durante o ano todo, inclusive no período de primavera-verão (FILGUEIRA, 2003).

A maioria das cultivares utilizada no Brasil é de coloração verde, aquelas com margens arroxeadas são aceitas apenas em alguns mercados. As cultivares podem ser agrupadas considerando-se as características das folhas, bem como o fato de formarem ou não cabeças. Com isso, obtêm-se seis grupos diferenciados:

-Tipo Repolhuda-Manteiga: apresentam folhas lisas, tenras, de coloração verde-amarelada e aspecto amanteigado, formando uma típica cabeça compacta. A cultivar típica é a norte-americana White Boston, que já foi considerada padrão de excelência em alface, porém ocorreu diversificação nos hábitos de consumo;

-Tipo Americana: as folhas são crespas, consistentes e crocantes, com nervuras destacadas, formando uma cabeça compacta. Altamente resistente ao transporte e adequada para integrar sanduíches, resistindo melhor ao contato com o ovo estalado ou bife quente;

-Tipo Solta-Lisa: com folhas macias, lisas e soltas, não há formação de cabeça. A cultivar típica é a tradicional Babá de Verão;

-Tipo Solta-Crespa: as folhas são consistentes, crespas e soltas, não formando cabeça. A cultivar típica é a norte-americana Grand Rapids;

-Tipo Mimosa: apresenta folhas delicadas e com aspecto “arrepido”. Bons exemplos são as cultivares Salad Bowl e Greenbowl;

-Tipo Romana: com folhas alongadas e consistentes, com nervuras bem protuberantes, formando cabeças fofas. Este grupo apresenta pouca importância econômica quando comparado aos demais, pois sua aceitação é restrita pelos consumidores brasileiros. (FILGUEIRA, 2003).

Plantas de alface do grupo americana, ‘Lucy Brown’ apresentam ciclo de aproximadamente 75 dias a partir da sementeira e 48-50 dias a partir do transplante, porém as condições climáticas e o manejo podem influenciar esses números. Além do mais, apresentam coloração verde clara, são plantas grandes, com alta tolerância ao pendoamento, possuem folhas grossas, dando ótima proteção à cabeça. Apresentam cabeças de tamanhos grandes, com excelente compacidade e peso (PROPLANTA, 2011). Da mesma maneira, a ‘Vanda’, do grupo solta-crespa, apresenta porte grande, com folhas claras. São plantas que geralmente, se dispõem de maneira uniforme no campo, além de apresentarem boa resistência ao mosaico da alface, uma das principais doenças da cultura, causada pelo vírus LMV (*Lettuce mosaic virus*) (SAKATANEWS, 2005).

As diferentes cultivares de alface diferem-se entre si em relação à absorção e acúmulo de nutrientes. Mahmoudi et al. (2011) utilizando duas cultivares de alface, Verte e Romana, cultivadas em sistema hidropônico e suplementadas com 0, 100 ou 200 mM de NaCl, observaram que as duas cultivares responderam diferencialmente em relação ao aumento das concentrações de NaCl, sendo que a ‘Verte’ mais sensível no estágio de germinação, foi mais tolerante a 100mM NaCl do que a ‘Romana’, supostamente por restringir cátions nas raízes, limitando o acúmulo de malondialdeído e aumentando o acúmulo de carotenóides antioxidantes fenólicos.

De acordo com Mendonça et al. (2008), avaliando os teores de carboidratos solúveis totais e proteína solúvel em folhas de alface, cultivares Verdinha de Vitória e Babá de Verão, cultivadas hidroponicamente em diferentes soluções nutritivas, observaram que estas apresentaram acúmulo diferente de nutrientes, tendo a ‘Verdinha de Vitória’ acumulado em média mais carboidratos solúveis totais e proteína solúvel do que a ‘Babá de Verão’. De outra maneira, Arruda Júnior et al. (2003), trabalhando com duas cultivares de alface, Hortência e Karla, em diferentes soluções nutritivas, com o objetivo de avaliar absorção de nitrogênio, fósforo e potássio, concluíram que não houve diferença significativa entre os

genótipos, nem na absorção de nitrogênio nem de potássio. No entanto ‘Karla’ absorveu mais fósforo do que ‘Hortênci’.

Segundo Wagner Júnior et al. (2006) avaliando a influência da relação K:N no acúmulo de nutrientes em três cultivares de alface, Lucy Brown, Babá de Verão e Regina, em sistema hidropônico, notaram que ‘Regina’ apresentou maior concentração de K e, juntamente com ‘Babá de Verão’, maior concentração de P. Já as cultivares Regina e Lucy Brown apresentaram maior concentração de S.

2.1.5 Solo e Adubação

Solo

A cultura de alface se adapta melhor em solos de textura média, com boa capacidade de retenção de água. A faixa de pH 6,0 a 6,8 se mostra como a mais propícia. Sempre que necessário efetuar a calagem para elevar a saturação por base para 70% (FILGUEIRA, 2003).

O solo ideal para o cultivo dessa hortaliça é o areno-argiloso, rico em matéria orgânica e com boa disponibilidade de nutrientes, para se conseguir um aumento na produtividade deve-se fazer a utilização de insumos para melhorar as condições químicas, físicas e biológicas do solo (VIDIGAL et al., 1995).

Adubação

A alface é uma cultura exigente em nutrientes, mesmo absorvendo em poucas quantidades, quando comparada a outros tipos de plantas. O período de maior exigência em nutrientes é no final da produção, devido ao ciclo curto (TERRA et al., 2001).

A intensificação de absorção de macronutrientes, está relacionada principalmente com a produção de matéria seca, como no início do ciclo essa produção é lenta, provavelmente a absorção também será, e conforme a planta vai se desenvolvendo a demanda por nutrientes aumenta. Há uma aceleração no processo a partir do trigésimo dia do ciclo cultural, chegando a valores elevados na época da colheita (GARCIA et al., 1982).

Martins et al. (2009) utilizando alface do grupo solta-crespa ‘Isabela’ em cultivo hidropônico, com o objetivo de determinar as curvas de absorção de macronutrientes, observaram que a cultivar apresentou um crescimento lento nos primeiros 12 dias após o transplante das mudas, e com isso, baixo acúmulo de nutrientes. O maior acúmulo ocorreu

entre 24 e 30 dias após o transplante. Além do mais, concluíram que as quantidades de nutrientes acumuladas ao longo do ciclo são 295,4 g planta⁻¹; para o nitrogênio, 31,9 g planta⁻¹ para o fósforo e 641,7 g planta⁻¹ para o potássio. Corroborando com os autores citados anteriormente Verdade et al. (2003) e Aquino et al. (2007) citam que a extração de nutrientes em plantas de alface segue a seguinte ordem decrescente: K>N>Ca>P>Mg>S.

O nutriente mais exigido na cultura de alface é o potássio, embora não faça parte de nenhuma substância é o mais importante elemento em quantidade absorvida. Este elemento age na planta principalmente como ativador enzimático, regulador da abertura e fechamento dos estômatos, resistência dos vegetais às geadas, regulador do turgor celular e responsável pela qualidade dos produtos de uma maneira geral.

Furlani et al. (1978) destacam a alface dentre as folhosas, a que apresenta teores mais elevados de N, K, Fe, Mn e Zn.

O nitrogênio é o nutriente que mais interfere no crescimento vegetativo da alface, sendo que sua falta inibe a absorção de cálcio (SHEAR, 1975). Devido ao fato da alface ser composta basicamente por folhas, faz com que a cultura tenha alta resposta à adubação nitrogenada. Porém a fisiologia da planta não é eficiente na utilização deste macronutriente, tendo uma taxa de utilização sempre menor do que 50% (ALEXANDER, 1965).

O cálcio é fundamental para a estrutura e funcionamento das membranas celulares e absorção iônica, sua falta na cultura de alface pode causar “tip burn” (queima dos bordos das folhas) (MALAVOLTA et al., 1997).

Os mesmo autores citados no parágrafo anterior consideram o fósforo fundamental para o crescimento das plantas, principalmente do sistema radicular. Além de destacar o magnésio como sendo extremamente importante para a fotossíntese, pois é constituinte da molécula de clorofila e o enxofre essencial para as plantas e seres humanos, constituindo vários aminoácidos, além de estar presente em algumas proteínas.

2.1.6 Implantação da Cultura

A cultura pode ser iniciada com a semeadura em bandeja de isopor e posterior transplante para o canteiro, quando as mudas apresentarem quatro folhas definitivas. Esta técnica é utilizada por olericultores de alto nível, com a formação de mudas dentro de casas de vegetação. As mudas com as raízes protegidas por torrão são facilmente

transplantadas. O plantio por sementeira é utilizado, porém o transplante de mudas com raiz nua não é recomendado (FILGUEIRA, 2003).

Segovia et al. (1997) ao comparar o crescimento e desenvolvimento das cultivares de alface Brasil-202, White Boston e Regina, no interior e exterior de uma estufa de polietileno durante o período de inverno em Santa Maria-RS, concluíram que as plantas cultivadas dentro da estufa apresentaram curvas de crescimento similares às cultivadas no exterior, porém com maiores crescimento de área foliar, massa verde da parte aérea, massa seca das folhas, do caule e das raízes, além do mais, a 'Brasil-202' apresentou maior precocidade e acúmulo de massa seca quando comparada com as outras.

Segundo Radin et al. (2004) avaliando alguns indicadores de crescimento das cultivares de alface Verônica, Marisa e Regina, através de experimento realizado em estufa de plástico e a campo, concluíram que as plantas cultivadas em estufa, apresentaram aumento de matéria fresca e seca, na massa da área foliar e no número de folhas. Além disso, o ciclo da cultura foi reduzido, quando comparada àquela cultivada a campo. As cultivares não apresentaram diferenças entre si quando cultivadas em ambiente de estufa, mas, em condições de campo, a 'Regina' apresentou maior número de folhas e maior índice de área foliar do que as cultivares Marisa e Verônica.

Estudos comparando o comportamento das cultivares de alface Vera e Verônica em dois espaçamentos 20 x 20 cm e 20 x 30 cm amostraram que 'Vera' apresentou maior massa da matéria fresca da parte aérea e produtividade média, no menor espaçamento. Para a massa seca da parte aérea 'Vera' foi superior, independentemente do espaçamento (LIMA et al., 2004).

2.1.7 Tratos Culturais

A planta de alface é altamente exigente em água, portanto, as irrigações devem ser freqüentes e abundantes, devido à ampla área foliar e à evapotranspiração intensa, bem como ao sistema radicular superficial e à elevada capacidade de produção. A produtividade, o peso unitário da planta e a qualidade das folhas aumentam, com a quantidade de água aplicada, desde que dentro de certos limites. O teor de água disponível no solo deve estar entre 80% e 100% da capacidade de campo durante todo o ciclo da cultura, inclusive durante a colheita (FILGUEIRA, 2003).

De acordo com Andrade Júnior e Klar (1997) objetivando avaliar o efeito de diferentes níveis de irrigação, baseados em frações da evaporação do Tanque Classe A (0,25;

0,50; 0,75 e 1,00) sobre o comportamento produtivo da cultura da alface ‘Mesa 659’ (tipo americana), conduzida em uma estufa plástica e irrigada por gotejamento, concluíram que a matéria fresca e a produtividade aumentaram com o aumento das lâminas de irrigação aplicadas até o nível 0,75 da evaporação do Tanque Classe A, apresentando valores máximos de 818,72g e 90,97 t.ha⁻¹, respectivamente. Os dados relativos à eficiência do uso da água revelaram que à medida que os níveis de irrigação aumentam ocorre uma diminuição na eficiência do uso da água.

Hamada e Testezlaf (1995) ao analisarem diferentes lâminas de água aplicadas por gotejamento e baseadas em porcentagem (120%, 100%, 80% e 60%) da evaporação do Tanque Classe A, no crescimento e na produção comercial de alface ‘Floresta’, em condições de campo, não encontraram diferenças entre os tratamentos. Porém, foi possível observar que o desenvolvimento da cultura foi afetado pelas diferentes lâminas de água aplicadas, principalmente na fase final do ciclo de crescimento. O tratamento com a maior aplicação de água foi o que proporcionou os melhores resultados de massa fresca total, número de folhas por planta e área foliar. Além do mais, a maior produtividade média (3.582,6g/m²) e melhor qualidade comercial foram obtidas nesse tratamento.

2.1.8 Colheita e Comercialização

Para melhor produtividade o ideal é colher a planta cortando-se o pequeno caule, logo que ela atinja o máximo desenvolvimento, porém com folhas tenras, com bom sabor e sem nenhum sinal de pendoamento, pois este torna o produto sem valor comercial, inclusive pelo sabor amargo que ocasiona. Fatores como: volume de colheita, situações de mercado, fazem com que a colheita seja antecipada. No campo, o ciclo pode variar de 65 a 80 dias, da semeadura a colheita. Em estufa, o ciclo é reduzido, de 45-50 dias. Algumas folhas exteriores podem ser eliminadas por ocasião da colheita (FILGUEIRA, 2003).

Após a colheita a alface se conserva e mantém suas qualidades nutricionais, de forma mais elevada, se não for lavada, caso esse procedimento ocorra, deve-se utilizar água limpa de alta qualidade ou tratar, adequadamente, com cloro. Além do mais, caixas de dimensões padronizadas de laminado de madeira ou papelão devem ser empregadas para reduzir a perda de água, os amassamentos e as quebras de folhas, que desvalorizam o produto. Estima-se que as perdas causadas pelo descarte das folhas estragadas e feridas, representam mais de 20% do volume de alface produzido no Brasil. Em relação ao transporte e

comercialização a alface não deve ser exposta ao etileno, que causa o aparecimento de manchas escuras, principalmente próximas as nervuras (PÁGINA RURAL, 2003).

A disponibilidade de várias cultivares melhoradas, cultivo sob casa de vegetação, no solo ou em hidroponia, faz com que a oferta do produto se estabilize ao longo do ano. Porém há meses, como janeiro, março e abril que ocorre maior sazonalidade do produto no mercado. Nos meses de fevereiro, junho e julho a quantidade é menor, contudo há oscilação de preço no mercado devido à oferta e procura (SÃO PAULO, 2011c).

2.2 SILÍCIO

Por volta de 1840, foram conduzidos estudos em laboratório, estufa e experiências de campo, que naquela época mostravam os benefícios da aplicação de silicatos para as culturas de arroz, milho, trigo, cevada e cana-de-açúcar. O silício pode ajudar na proteção de plantas contra doenças, ataques de inseto e condições climáticas desfavoráveis, além do mais, pode melhorar a fertilidade do solo e promover a correção da acidez dos solos.

O famoso agrônomo e químico alemão, Justus von Liebig sugeriu o efeito benéfico do silício, adubando beterraba dentro de estufa com silicato de sódio como fonte de silício. Os cientistas japoneses foram os primeiros a desenvolverem tecnologias para o uso prático de fertilizantes silicatos para arroz nos anos 1950 e 1960. Em 1856, uma experiência de campo na Estação de Rothamsted (Inglaterra), demonstrou o efeito do silicato de sódio na produtividade de grama. Estes são alguns exemplos que mostram que o uso do silício na agricultura não é recente (KORNDÖRFER; OLIVEIRA, 2010).

2.2.1 Aspectos Gerais e Ciclo do Silício

O silício apresenta propriedades elétricas e físicas de um semi-metal, apresenta importância no reino mineral semelhante ao carbono nos reinos vegetal e animal. É o segundo elemento mais abundante da crosta terrestre, 27 % em massa, ficando atrás apenas do oxigênio (JACKSON, 1964). Encontrado em formas combinadas, como a sílica e minerais silicatos. Os silicatos são sais nos quais a sílica é combinada com oxigênio ou outros elementos como Al, Mg, Ca, K, Fe e Na em mais de 95% das rochas terrestres, em águas, meteoritos, atmosfera (na forma de pó silicoso) vegetal e animal (SAVANT; DATNOFF; SNYDER, 1997; JACKSON, 1964).

O quartzo, os feldspatos alcalinos e os plagioclásios são os minerais silicatados mais comuns, sendo os dois últimos aluminossilicatos, contribuindo significativamente com o conteúdo de Al na crosta terrestre. O ácido monossilícico, forma que o silício é absorvido pelas plantas, ocorre na solução do solo, nas águas doces e nos oceanos de todo o mundo (EXLEY, 1998).

De acordo com Birchall (1995), o ácido monossilícico tem solubilidade baixa, em torno de 2mM, em pH próximo da neutralidade. Acima desta concentração, ocorre a policondensação, produzindo ácido silícico oligomérico e, eventualmente, partículas coloidais de sílica hidratada ($\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$).

2.2.2 Silício no Solo

O silício pode ser encontrado no solo de várias formas, tais como: cristalina, das quais o quartzo é a forma mais comum, ou Si - amorfa, presente principalmente em substâncias inorgânicas e orgânicas amorfas assim como alofanos e sílica hidratada ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), geralmente conhecido como fitólitos, que é o resultado de decomposição de plantas (PEREIRA; ASSIS; KORNDÖRFER, 2010).

O silício encontra-se na solução do solo principalmente na forma de ácido monossilícico, a maior parte na forma não dissociada, o qual é prontamente absorvido pelas plantas (RAVEN, 1983; WERNER; ROTH, 1983; WILD, 1988).

As principais fontes de ácido monossilícico presentes na solução do solo são: decomposição de resíduos vegetais; liberação de silício dos óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio; dissolução de minerais cristalinos e não cristalinos; dissociação do ácido silícico polimérico; água de irrigação e adição de fertilizantes silicatados (WERNER; ROTH, 1983). Embora haja vários fatores que disponibilizam silício na solução do solo, a drenagem deste elemento também deve ser considerada, onde seus principais drenos são: precipitação do silício em solução, formando minerais; a polimerização do ácido monossilícico; lixiviação; adsorção em óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio e a absorção pelas plantas. De acordo com estudos de Matychenkov, Pinsky e Bocharnikova (1995), a compactação do solo também pode reduzir a quantidade de silício disponível para as plantas, pois aumenta o nível de ácidos polissilícicos, diminuindo o teor de ácido monossilícico.

Solos tropicais e subtropicais sujeitos à intemperização e lixiviação, com a implantação de cultivos sucessivos, tendem a apresentar baixos níveis de silício trocável, devido à desilicificação (FRIESEN et al., 1994). De acordo com Snyder (1991), solos que

apresentam teores de silício menores do que 10 mg dm^{-3} devem receber algum tipo de adubação silicatada, por outro lado, solos com teores iguais ou maiores do que 15 mg dm^{-3} não necessitariam de adubação com silício. Para Korndörfer et al. (1999a), os valores de silício no solo, extraídos com ácido acético $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ inferiores a 20 mg dm^{-3} ou, ainda, de 6 a 8 mg dm^{-3} extraídos em CaCl_2 $0,05 \text{ mol L}^{-1}$, em geral, indicam a necessidade de adubação com Si. De acordo com os mesmos autores, estes solos apresentam boa resposta à aplicação de silício, por outro lado, solos com valores acima dos citados anteriormente, tendem a apresentar baixa resposta a adubação silicatada.

Segundo Korndörfer et al. (1999b) avaliaram 28 experimentos de campo no período que se estendeu do ano de 1992 a 1996 com a cultura do arroz, sendo assim, sugeriram os níveis de silício no solo como baixo, menor do que 6 mg dm^{-3} , médio entre 6 a 24 mg dm^{-3} , e alto acima de 24 mg dm^{-3} . De acordo com estudos de Tisdale et al. (1993) concluíram que regiões que apresentam altos índices pluviométricos e intensa intemperização apresentam baixos teores de silício no solo.

De acordo com Lima Filho, Lima e Tsai (1999) a utilização intensiva dos solos, principalmente com culturas que apresentam boa capacidade de acumularem silício, pode fazer com que esses solos apresentem deficiência em Si, pois a exportação deste elemento para as plantas não é compensada via de regra com fertilizações silicatadas.

A forma presente na maioria dos produtos contendo silício no Brasil para aplicação via solo, é o silicato de cálcio (CaSiO_3), sendo o teor de SiO_2 variável de acordo com a fonte do material.

A eficiência da adubação com silício depende da natureza dos silicatos utilizados (PEREIRA; VITTI; KORNDÖRFER, 2003). A dose de Si a ser aplicada no solo depende do poder de reatividade do adubo utilizado, a cultura que será implantada e da quantidade de Si presente no solo. Estudos realizados por De Datta (1981), indicam que doses de silicato de cálcio variando de 1,5 a $2,0 \text{ t ha}^{-1}$ foram adequadas para uma boa produção de arroz no Japão, na Coreia e em Taiwan. Em contra partida, solos que já foram corrigidos com Si, não devem apresentar uma adubação silicatada superior a 800 kg ha^{-1} .

2.2.3 Tipos de Adubos com Silício e Métodos de Aplicação

Há vários produtos contendo silício no mercado, porém a eficiência agrônômica destes, depende muito mais da reatividade no solo, do que o conteúdo total de Si propriamente dito. Existem diversos materiais orgânicos ricos em silício, tais como: resíduos

de colheita; casca de arroz e subprodutos da agroindústria da cana-de-açúcar que podem ser usados como fonte de Si embora tenha que ser usados em grande quantidade para atender as necessidades do solo e das plantas. Alguns minerais que ocorrem naturalmente como a Wollastonita (CaSiO_3), as olivinas (MgSiO_3) e as terras de diatomáceas possuem teor de Si totais de aproximadamente 23%, 15% e >35% Si, respectivamente. Esses produtos são de uso limitado, pois apresentam baixa disponibilidade e baixa reatividade. Contudo, as formas mais comuns de Si para uso agrícola são os silicatos derivados de vários subprodutos da indústria do ferro e do aço e o subproduto da produção do fósforo elementar (PEREIRA; ASSIS; KORNDÖRFER, 2010)

Os silicatos encontram-se como as principais fontes de silício para a agricultura. Uma boa fonte de silício para utilização agrícola deve apresentar as seguintes características: alta concentração de silício solúvel; boas propriedades físicas; facilidade para aplicação mecanizada; pronta disponibilidade para as plantas; boa relação e quantidades de cálcio (Ca) e magnésio (Mg); baixa concentração de metais pesados e baixo custo. De maneira geral, a aplicação de silicatos no solo faz com que aumente o pH; os teores de Al^{+3} diminuem; a saturação por bases aumenta e a saturação por Al diminui. Isto acontece porque os silicatos promovem a reação dos ânions SiO_3^{-2} com os prótons de hidrogênio. A aplicação dos silicatos ocorre principalmente na forma sólida (pó ou granulado), podendo também ser aplicados na forma líquida (via solo ou via foliar). Contudo, os silicatos em pó são incorporados em área total, os silicatos granulados são normalmente aplicados em linha juntamente com outras matérias primas na composição de adubos NPK. A utilização de silicato granulado juntamente com o NPK é capaz de fornecer o silício próximo ao sistema radicular favorecendo assim a absorção deste elemento pelas plantas (KORNDÖRFER; OLIVEIRA, 2010).

De acordo com os mesmos autores citados anteriormente, há um número grande de materiais utilizados como fonte de silício para as plantas, como: escórias de siderurgia; wollastonita; subprodutos da produção de fósforo elementar; silicato de cálcio; silicato de sódio; cimento; termofosfato; silicato de magnésio e silicato de potássio. Além do mais, a granulometria do produto deve ser observada, pois quanto mais fina for, maior reatividade no solo, tanto nos arenosos como nos argilosos.

2.2.4 Interação Silício x Outros Nutrientes na Planta

Embora não seja considerado um elemento essencial, o silício tem apresentado diversos benefícios para as plantas, dentre estes pode ser citado a interação benéfica entre Si e outros elementos essenciais. Watanabe et al. (2001) cultivando arroz em soluções nutritivas com e sem Si, observaram que a nutrição com Si exerceu efeitos sobre a assimilação de nitrogênio e carbono pelas plantas. Por outro lado, Ávila et al. (2010), utilizando soluções nutritivas, com e sem silício interagindo com soluções contendo nitrogênio, observaram que o teor de silício não alterou o teor de nitrogênio total das plantas, porém os teores de nitrato nas raízes foram modificados.

Shen et al. (2009), trabalhando com plantas de soja em meio hidropônicos, tratadas com e sem Si, observaram que as plantas supridas com este elemento absorveram maior quantidade de P e Mg em relação às não tratadas. De outra maneira, Carvalho et al. (2000), avaliando a dessorção de fósforo por silício nas camadas superficiais de um Latossolo Vermelho-Escuro e de um Cambissolo, concluíram que foi possível dessorver o fósforo do solo pela ação do silício aplicado como silicato numa etapa posterior à fertilização fosfatada.

De acordo com Lanzarini, Dias e Vahl (2004), utilizando plantas de arroz com e sem adubação silicatada, na forma de silicato de sódio, observaram que o tratamento com Si diminuiu as absorções de fósforo e ferro e aumentou as de manganês e zinco.

Miranda et al. (2002), avaliando o efeito da aplicação de silício em plantas de moringa submetidas ao estresse salino, observaram que a adição de Si elevou os teores de K e de Ca nas folhas e reduziu os de Na e Cl.

A presença de silício na solução pode alterar as concentrações de cálcio. Silva e Bohnen (2001), observaram que plantas de arroz não tratadas com silício obtiveram maior quantidade de cálcio em relação às tratadas. Giongo e Bohnen (2011) utilizando adubação silicatada em genótipos de milho, concluíram que o silício afetou a absorção e a translocação de cálcio, sendo que a presença de silício aumentou a concentração de cálcio na parte aérea.

2.2.5 Interação Silício x Metais Pesados

Além de o Si interagir de maneira benéfica na absorção de alguns nutrientes essenciais para as plantas, este pode amenizar o efeito maléfico de metais pesados. Kaya et al. (2009) trabalhando com milho em meio contendo zinco com e sem adição de silício,

observaram que o silício pode aumentar a capacidade das raízes e brotos das plantas para inativar o excesso de Zn na planta, sugerindo com isso, que o silício pode estar envolvido na atividade metabólica ou fisiológica em plantas expostas ao estresse de zinco. Outras pesquisas em plantas de cevada, apresentaram redução nos sintomas de toxicidade de Mn, após adição de Si na solução nutritiva. Notando-se que na presença e ausência de Si no tratamento, a concentração de Mn nos tecidos foliares foi semelhante, porém na presença de silício o Mn apresentou distribuição mais homogênea na lâmina foliar (WILLIANS; VLAMIS, 1957).

Segundo Paim et al. (2006), avaliando a eficiência combinada de silício e do fósforo na disponibilidade de Zn, Cu, Pb, Cd em uma área contaminada com esses metais pesados, observaram que as doses crescentes de silício e fósforo reduziram os teores de Cd, Pb, Cu e Zn no solo contaminado, além do mais, o fósforo e silício foram mais eficientes em amenizar a poluição do solo por Pb e Cu do que por Cd e Zn. Sendo a ação do silício devido ao poder alcalinizante do silicato de cálcio e a sua capacidade de formar silicatos insolúveis. Além do mais, Feng et al. (2010), observaram que a aplicação de Si em plantas de pepino contaminadas com Cd, fez com que as plantas apresentassem menos clorose, além de ter a taxa fotossintética melhorada em relação às plantas não tratadas com Si.

De acordo com Cunha e Nascimento (2009), utilizando doses de silício (0, 50, 100, 150 e 200 mg kg⁻¹), na forma de silicato de cálcio, em plantas de milho, cultivadas em solo enriquecido com Cd e Zn, observaram que as plantas tratadas com Si apresentaram não só biomassa crescente, mas também maior acúmulo de metal. Contudo, concluíram que a deposição de sílica na endoderme e periciclo das raízes parece desempenhar um papel importante sobre a tolerância de milho para o estresse de Cd e Zn. Neumann e Neide (2001), consideraram a ocorrência de precipitados de silicato de Zn no vacúolo e parede celular de folhas de *Cardaminopsis halleri*, um mecanismo de tolerância a metais pesados.

Rogalla e Römheld (2002), utilizando silicato de sódio em plantas de *Cucumis sativus* L., cultivadas em solução nutritiva contendo Mn (0,5 – 1000 µM), afirmaram que apesar do teor total de Mn nas folhas ter sido semelhantes entre as plantas tratadas e as não tratadas com Si, as plantas não tratadas apresentaram maior quantidade de Mn no líquido de lavagem intercelular. Além disso, as plantas tratadas com Si, apresentaram menor quantidade de Mn no simplasto, tendo uma maior retenção deste elemento na parede celular, quando comparado com as plantas não tratadas. Sendo assim, o Mn em plantas tratadas ficou menos disponível, portanto menos tóxico para estas. Com isso, estes resultados comprovam a importância do Si para amenizar os problemas de elementos tóxicos para as plantas.

O Si provavelmente diminui a atividade dos íons Al^{3+} na solução do solo, fazendo com que haja um melhor desenvolvimento das raízes, aumentando a velocidade de difusão dos nutrientes da solução do solo e, conseqüentemente, provocando uma maior absorção de nutrientes pelas raízes (MALAVOLTA, 1997). Além do mais, Rodrigues et al. (2010), relataram que adubação silicatada inibiu a toxidez por alumínio na cultura do sorgo.

2.2.6 Aquisição e Essencialidade do Silício para as Plantas

O silício é considerado um elemento não essencial e não tóxico para as plantas, porém sua presença contribui favoravelmente para o desempenho de alguns cultivos elevando a produtividade; regulando a perda de água; melhorando a taxa de fotossíntese; aumentando a rigidez da estrutura dos tecidos; reduzindo o acamamento; diminuindo os danos causados pela geada; aumentando a resistência de várias espécies, principalmente as monocotiledôneas, às pragas e às doenças; diminuindo toxidez de ferro e manganês às raízes. (KORNDÖRFER; DATNOFF, 1995; DATNOFF; RODRIGUES; SEEBOLD, 2007). Este elemento é absorvido pela planta na forma de ácido monossilícico (H_4SiO_4) juntamente com a água, através do fluxo de massa e se acumula principalmente nas áreas de máxima transpiração, como é o caso de folhas, tricomas e espinhos, como ácido silícico polimerizado, na forma de sílica amorfa. Dentre as plantas cultivadas, as gramíneas como o trigo, milho, arroz, cana-de-açúcar, entre outras, são consideradas como boas acumuladoras de silício, pois possuem teor foliar acima de 1%. Quando as plantas acumulam um teor de silício menor que 0,5% são consideradas não acumuladoras (MA; MIYAKE; TAKAHASHI, 2001).

De modo geral, o silício pode ser encontrado em boas quantidades nos vacúolos como estruturas cristalizadas, em precipitados no citoplasma e sobre o tonoplasto, sendo quase sempre na forma de sílica gel. Além do mais, na cultura do trigo, por exemplo, o silício se concentra dentro da célula, no xilema na sua forma solúvel, e sua absorção é mais rápida do que a da água, este fato mostra que há um mecanismo ativo de transporte, através das membranas das células radiculares, dependentes de energia (CASEY et al., 2004).

De outra maneira, as plantas diferem bastante na capacidade de absorver o silício, podendo assim, genótipos da mesma espécie apresentar concentrações de Si que variam por um fator superior a três, como demonstrado para cevada (NABLE; LANCE; CARTWRIGHT, 1990). De acordo com os estudos de Lanning (1960), analisando cultivares de morangueiros, encontrou diferenças no teor de silício, nos diferentes órgãos das plantas analisadas. Corroborando com estes estudos, Deren, Glaz e Snyder, (1993) trabalhando com

52 genótipos de cana-de-açúcar cultivados em solos arenosos e orgânicos, obtiveram valores de 6,4 a 10 g kg⁻¹ de silício nas folhas. Concluindo assim, que há grande variabilidade entre uma cultivar e outra quanto à absorção deste elemento. Além do mais, estudos realizados por Korndörfer et al. (2000), utilizando três genótipos de cana-de-açúcar em Argissolo Vermelho-Amarelo, observando assim diferenças entre genótipos: 7,6; 10,4 e 11,4 g kg⁻¹ de silício para RB 72 454, SP 79-1011 e SP 71-6163, respectivamente.

Segundo Sávio et al. (2011) avaliando a utilização de três diferentes fontes de silício sobre as características agronômicas e conteúdos foliares de Si em *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk e *Panicum maximum* cv. Mombaça observaram que as duas espécies forrageiras testadas, diferiram quanto ao acúmulo de Si na parte aérea, tendo *B. decumbens* apresentando maiores valores, quando comparado com *P. maximum*.

Genótipos de arroz também diferem no acúmulo de Si, respondendo de modo distinto à aplicação do elemento (DEREN; DATNOFF; SNYDER, 1992). De acordo com Majumder, Rakahit e Borthankur (1985) genes aditivos e não aditivos parecem estar envolvidos no mecanismo de absorção do silício.

Estudos realizados por Carvalho et al. (2009) afim de avaliar o efeito da aplicação parcelada e total de diferentes doses de silício, na forma de silicato de potássio, na produção de girassol ornamental, produzido em vasos, em casa de vegetação, constataram que não houve interação significativa das doses de Si e de seu parcelamento para nenhuma característica avaliada. Porém, a altura das plantas aumentou com o parcelamento do Si. A produção de matéria seca das inflorescências e das raízes e o diâmetro das inflorescências foram incrementados com a aplicação do Si. Os teores desse elemento na planta também aumentaram com as doses de silicato de potássio aplicadas.

Goussain et al. (2002) avaliando o efeito da aplicação de silício, na forma de silicato de sódio, em plantas de milho no desenvolvimento da lagarta-do-cartucho, observaram que não houve efeito do silício na duração da fase larval e pupal, peso de pupa e na mortalidade de pupas. Entretanto, verificou-se maior mortalidade e aumento de canibalismo em grupos de lagartas ao final do 2º instar, e maior mortalidade de lagartas individualizadas no 2º e 6º instares, quando foram alimentadas com folhas de plantas de milho tratadas com silício, em comparação com as não tratadas. Com isso, nota-se que a aplicação de silício pode dificultar a alimentação de lagartas.

Soares et al. (2008) não obtiveram resultados positivos quando utilizaram fontes de silício na forma de silicato de sódio e Supa Potássio, sob aplicação via foliar em

plantas de orquídea. Conforme eram aumentadas as doses de silicato de sódio verificaram decréscimo nas variáveis estudadas.

De acordo com Reis et al. (2008) objetivando avaliar o efeito de doses de SiO_2 (0, 150, 300, 450, 600, 750 e 900 kg ha^{-1}) aplicados na semeadura, em dois cultivares de arroz de terras altas (IAC 201 e IAC 202), irrigados por aspersão, observaram que as doses de silício não foram suficientes para melhorar a produtividade de grãos e rendimento industrial dos cultivares utilizados.

2.2.7 Corpos Silicosos (Fitólitos)

Fitólitos, corpos silicosos ou opala biogênica são terminologias usadas para designar compostos de sílica hidratada ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), com formas e tamanhos característicos, formados pelas plantas (PIPERNO, 2006) e animais (GARRONE; SIMPSON; POTTU-BOUMENDIL, 1981). A sílica solúvel da solução do solo é a matéria prima utilizada pelas plantas na formação destes biominerais, esta é proveniente da solubilização dos aluminossilicatos e do quartzo contidos no solo (COSTA et al., 2010).

Algumas plantas superiores absorvem sílica da solução do solo, onde esta se deposita dentro e fora das células. Esta sílica absorvida, denominada de fitólitos ou corpos silicosos, apresentam tamanhos microscópicos amorfos aos raios X (COSTA et al., 2005).

A deposição dos fitólitos em vegetais pode ocorrer em folhas, sementes, frutos, raízes e madeira, dentro das células ou na parede celular (SENDULSKY; LABOURIAU, 1966; RUNGE, 1999).

Há plantas que apresentam silício em seu tecido, porém esse acúmulo não pode ser confundido com os fitólitos contidos nas plantas (COSTA et al., 2010).

A família Poacea pode ser considerada como a principal acumuladora destes corpos silicosos, porém outras famílias de monocotiledôneas e algumas dicotiledôneas também podem acumular uma quantidade expressiva de sílica (RUNGE, 1999).

A deposição de corpos silicosos nos vegetais é influenciada pela idade, tipo e localização dos tecidos, e o conteúdo de sílica em gramíneas aumenta com o avanço da idade (JONES; HANDRECK, 1967). Em acordo parcial com os autores citados anteriormente Piperno (1988) relata que as condições climáticas, a variabilidade dos solos, a disponibilidade de água e a idade das plantas afetam o desenvolvimento dos corpos silicosos, considerando-se que tais condições regulam a concentração do silício na solução do solo.

Em relação à morfologia dos fitólitos, estes apresentam formas muito diversificadas, mesmo que seja em uma única espécie. Sendo assim, uma amostra analisada pode apresentar diferentes formas desses biominerais. Todavia, existem formas comuns em determinados grupos de plantas. Com isso, algumas morfologias de fitólitos são únicas para possibilitar a identificação das plantas produtoras no nível de família e às vezes de gênero (SENDULSKY; LABOURIAU, 1966; CAMPOS; LABOURIAU, 1969; SILVA; LABOURIAU, 1970).

A sílica se concentra em quantidades diferentes em relação às superfícies das folhas, pois de acordo com Hayward e Parry (1973) trabalhando com folhas de *Hordeum sativum* L., encontraram maiores conteúdos de silício na superfície abaxial, enquanto na superfície adaxial o silício foi encontrado nos tricomas, esclerênquimas e ao longo das nervuras, e nada foi encontrado nas áreas fotossintéticas.

Plantas adubadas com Si podem apresentar um acúmulo diferenciado de corpos silicosos em relação as não adubadas, quando cultivadas em um mesmo substrato. Corroborando com esta afirmação, Pozza et al. (2004) ao comparar variedades de café sem adubação com silício e com adubação de silicato de cálcio, concluíram que as variedades adubadas apresentavam maior quantidade de corpos silicosos na superfície inferior da folha. Além do mais, as variedades tratadas mostraram distribuição uniforme deste elemento na superfície foliar. Na testemunha, que não recebeu tratamento, o silício foi encontrado de forma localizada.

2.2.8 Silício na Alface

Segundo Resende, Yuri e Souza (2007) trabalhando com a alface tipo americana, 'Raider', analisando diferentes doses de silício (0,0; 0,9; 1,8; 2,7 e 3,6 L ha⁻¹), e a influência de épocas de plantio (inverno e verão), concluíram que maior massa fresca total, comercial e circunferência da cabeça foram obtidas no plantio de inverno. Além do mais, estimou as doses 2,0 e 2,7 L ha⁻¹, como as que proporcionaram os maiores rendimentos de massa fresca total e comercial, respectivamente.

Luz, Guimarães e Korndörfer (2006) avaliando o efeito do silício sobre o desempenho das cultivares de alface (Vera, Verônica, Elisa, Regina, Aurélia, Tainá, Lucy Brown, Uberlândia 10000 e Mimosa Salad Bowl), cultivadas em solução nutritiva no sistema hidropônico NFT; e duas soluções nutritivas, uma contendo silício – 1,5 mmol L⁻¹ e outra sem silício, observaram que plantas de alface que receberam silício apresentaram um menor

tamanho quando comparadas às plantas cultivadas em solução sem silício. Entretanto, as plantas tratadas com silício apresentaram menor incidência da anomalia fisiológica queima dos bordos.

Resende et al. (2003) objetivando avaliar a adubação foliar na alface americana em cultivo de verão, com diferentes doses de silício (0; 0,9; 1,8; 2,7 e 3,6 kg.ha⁻¹), aplicadas em três diferentes épocas, via foliar (14, 21 e 28 dias após o transplântio), no município de Três Pontas - MG, concluíram que a massa fresca total apresentou efeito quadrático na qual a dose 1,7 kg.ha⁻¹ de silício resultou em maior rendimento. Para épocas de aplicação, praticamente não se verificou diferenças, tendo a aplicação aos 14 dias sobressaído com 706,0 g/planta. Para massa fresca comercial, constatou-se que a aplicação de 2,1 kg.ha⁻¹ de silício possibilitou o maior retorno. Para aplicação aos 21 e 28 dias após o transplântio evidenciou-se efeitos quadráticos onde as doses de 0,8 e 1,5 kg.ha⁻¹ de silício propiciaram a melhor conservação pós-colheita da alface. A circunferência da cabeça e o comprimento de caule não apresentaram efeitos significativos entre os tratamentos.

De acordo com Ferreira et al. (2010) com o objetivo de avaliar a produtividade, estado nutricional e qualidade (classe de tamanho) de cultivares de alface (Raider, Regina e Vera) cultivadas com doses de silicato de cálcio (0, 410, 1000 e 2000 mg dm⁻³) sob casa-de-vegetação, concluíram que a aplicação da fonte silicato de cálcio não aumentou o crescimento das plantas e não aumentou o teor dos nutrientes nas plantas de alface, mas melhorou a nutrição das plantas para Si e aumentou a porcentagem de plantas saudáveis. Sendo assim, as três cultivares de alface comportaram-se como plantas não acumuladoras de Si.

A utilização de Silifétil®, adubo contendo silício, nas dosagens de (0, 1, 2 e 4 t ha⁻¹), sobre três cultivares de alface, sendo elas: Raider (grupo americana); Regina (grupo solta-lisa) e Vera (grupo solta-crespa) não aumentaram a produtividade e teor de Si na parte aérea das cultivares tratadas com o produto, em relação as não tratadas. Porém aumentou o valor do índice DRIS para Si, não afetando os teores da maioria dos outros nutrientes analisados, com exceção dos teores de K e Zn. Além do mais, a adubação com Silifétil®, não promoveu um melhor estado nutricional para a alface cultivada (FERREIRA et al., 2009).

Dios-Delgado (2006), afim de observar a relação de ataque do fungo *Bremia lactucae* Regel, causador do míldio, em plantas de alface com aplicação foliar de cálcio (0; 0,5 e 1%) e silício (0; 2 e 4 mg L⁻¹), observou que a combinação de pulverizações foliares com cálcio (0,5%) e silício 4 mg L⁻¹ diminuiu os danos causados pelos fungos nas folhas. Corroborando com os dados do autor citado anteriormente, Garibaldi et al. (2011), utilizando

silicato de potássio na cultura de alface, conseguiram diminuir a incidência do míldio em relação às plantas não tratadas com o produto.

3 ARTIGO A: AVALIAÇÃO DE CULTIVARES DE ALFACE ADUBADAS COM SILICATO DE CÁLCIO.

3.1 RESUMO

O presente trabalho teve como objetivos avaliar o efeito de diferentes doses de silicato de cálcio, da marca Vetec® (teor de CaO 14-18%, teor de SiO₂ 60-68%), sobre o rendimento das cultivares de alface. Procurou-se, também, estabelecer a relação entre a aplicação destas doses com os teores de silício, macro e micronutrientes. O experimento foi conduzido em casa de vegetação da Universidade Estadual de Londrina – UEL, durante os meses de março a maio de 2011, em substrato, marca comercial Tropstrato Hortaliças HA®. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados em esquema fatorial 2 x 5 com quatro repetições para avaliação do rendimento e duas repetições para avaliação da relação das doses de silicato de cálcio com os teores de macro e micronutrientes, sendo: duas cultivares de alface: Lucy Brown (grupo Americana) e Vanda (grupo Solta-Crespa) e cinco doses de silicato de cálcio (0; 0,67; 1,35; 2,67 e 4 t.ha⁻¹). A máxima produção de massa fresca comercial da parte aérea para ‘Vanda’ foi obtida na dose de 4 t.ha⁻¹ de silicato de cálcio. A ‘Lucy Brown’ apresentou maior produção de massa fresca comercial da parte aérea na dose de 2,67 t.ha⁻¹. Com base nas doses de silicato de cálcio em relação aos teores de silício, macro e micronutrientes entre as duas cultivares, notou-se que a ‘Lucy Brown’ apresentou maiores teores de P, K, Si, N e o aumento nas doses de silicato de cálcio não favoreceu a absorção de nutrientes para esta cultivar. A ‘Vanda’ apresentou maiores teores de Mg, Ca e Zn e o aumento nas doses de silicato de cálcio diminuiu o teor de Cu e aumentou Mn e B.

Palavras-chave: *Lactuca sativa* L. Produção. Nutrição de Plantas. Adubação silicatada.

Abstract

The present work aimed to evaluate the effect of different doses of calcium silicate, trademark Vetec® (content of CaO 14-18%, content of SiO₂ 60-68%); on the performance of lettuce. We sought to also establish the relationship between the application of these doses the silicon content, macro and micronutrients. The experiment was conducted in a greenhouse of Londrina University - UEL, from March to May of 2011, on substrate trademark Tropstrato hortaliças HA® .The experimental delimitation used was in randomized blocks in factorial scheme 2x5 with four repetitions for evaluation of performance and two repetitions for evaluation of the relation of doses of calcium silicate with the levels of macro and micronutrients: two lettuce cultivars: Lucy Brow (American group) and Vanda (Loose-Curly group), and five doses of calcium silicate (0; 0,67; 1,35; 2,67 and 4t.ha⁻¹). The maximum production of commercial fresh weight of airy part to ‘Vanda’ was obtained in the dose of 4 t.ha⁻¹ of calcium silicate. The ‘Lucy Brown’ showed larger production of commercial fresh weight from airy part in the dose of 2,67 t. ha⁻¹. Based on the calcium silicate doses in relation to silicon content, macro and micronutrients between the both cultivars of lettuce in study, it was noted that ‘Lucy Brown’ showed higher levels of P, K, Si, N and the increase in the calcium silicate doses didn’t helped the nutrients absorption for this group. The ‘Vanda’ showed higher levels of Mg, Ca and Zn and the increase in the calcium silicate doses decreased the content of Cu and increased Mn and B.

Keywords: *Lactuca sativa* L.. Production. Nutrition plants. Silicated fertilization.

3.2 INTRODUÇÃO

A alface (*Lactuca sativa* L.) é cultivada em todo território nacional, sendo sensível às condições adversas de temperatura e umidade (RODRIGUES; MARTINS; ARAÚJO, 1997), com isso o cultivo em casa de vegetação apresenta uma produção mais estável e precoce (BONNECARRÈRE et al., 2000). Além de ser considerada a hortaliça folhosa mais importante na alimentação dos brasileiros, é juntamente com o tomate preferida para as saladas, por ser refrescante, de fácil preparo e sabor agradável. No Brasil são cultivados seis grupos desta cultura, quais sejam, tipo repolhuda-manteiga; tipo repolhuda-crespa; tipo solta-lisa; tipo solta-crespa; tipo mimosa e tipo romana (FILGUEIRA, 2003).

Dentro destes grupos cultivados, há diversas cultivares, e estas apresentam teores diferentes em relação à absorção e acúmulo de nutrientes (WAGNER JÚNIOR et al., 2006; MAHMOUDI et al., 2011).

O silício é considerado um elemento não essencial e não tóxico para as plantas. Sua presença, no entanto, contribui favoravelmente para o desempenho de alguns cultivos, elevando a produtividade; regulando a perda de água; melhorando a taxa de fotossíntese; aumentando a rigidez dos tecidos; reduzindo o acamamento; diminuindo os danos causados pela geada; aumentando a resistência de várias espécies às pragas e às doenças; diminuindo toxidez de ferro e manganês às raízes (KORNDÖRFER; DATNOFF, 1995; DATNOFF; RODRIGUES; SEEBOLD, 2007). Dentre as plantas cultivadas, as gramíneas como o trigo, milho, arroz, cana-de-açúcar, entre outras, são consideradas como boas acumuladoras de silício, pois possuem teor foliar acima de 1%. Quando acumulam um teor de silício menor que 0,5% são consideradas não acumuladoras (MA; MIYAKE; TAKAHASHI, 2001).

A falta de informação sobre o uso do silício na cultura da alface, justificou o presente trabalho, que teve como objetivos avaliar o efeito de diferentes doses de silicato de cálcio, sobre o rendimento e a relação entre a aplicação destas doses com os teores de silício, macro e micronutrientes nas cultivares Vanda (grupo Solta-Crespa) e Lucy Brown (grupo Americana).

3.3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Universidade Estadual de Londrina, no período de março a maio de 2011, em substrato da marca comercial

Tropstrato Hortaliças HA[®]. O substrato da área experimental apresentou as seguintes características químicas: pH (CaCl₂) = 5,5; K = 0,62 cmol_c/dm³; Ca = 21,1 cmol_c/dm³; Mg = 4,6 cmol_c/dm³; Al = 0,05 cmol_c/dm³; H + Al = 5,35 cmol_c/dm³; P = 53,1 mg/dm³; Si = 73320,00 mg/kg; Densidade seca = 200 kg/m³.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema Fatorial 2 x 5, com quatro repetições para avaliação do rendimento e duas repetições para avaliação da relação da aplicação das doses de silicato de cálcio com os teores de silício, macro e micronutrientes. Nesses experimentos foram utilizadas duas cultivares de alface: Lucy Brown (grupo Americana) e Vanda (grupo Solta-Crespa) e cinco doses de silicato de cálcio (0; 0,67; 1,35; 2,67 e 4 t.ha⁻¹). O silicato de cálcio utilizado é da marca comercial Vetec[®] (teor de CaO 14-18%, teor de SiO₂ 60-68%).

As mudas, obtidas em bandejas de isopor com substrato comercial, foram transplantadas 23 dias após a semeadura (d.a.s) para vasos plásticos com capacidade de quatro litros, com uma planta por vaso. A irrigação foi feita diariamente para manter o substrato com umidade adequada para o desenvolvimento da cultura. No momento do transplante todas as plantas foram adubadas com 0,3 kg de 4-14-8 (N-P-K) para cada 25 kg do substrato utilizado. Aos 35 dias após o transplante das mudas, realizou-se adubação de cobertura em todas as plantas na dose de 312,5 kg.ha⁻¹ de uréia.

Quando as plantas atingiram o tamanho comercial, aos 83 d.a.s, foi realizada a colheita do experimento e avaliação das massas frescas, secas e teores de silício, macro e micronutrientes da parte aérea.

Em seguida às medições das massas frescas da parte aérea das duas cultivares, as plantas foram submetidas a uma secagem em estufa a 65° C até atingir massa constante para avaliação das massas secas da parte aérea, o que ocorreu após 96 horas de secagem.

Após avaliação das massas secas, essas amostras foram moídas em moinho “tipo Willey” para a análise dos teores de silício, macro e micronutrientes. Na determinação dos teores de silício, realizou-se digestão nitroperclórica das amostras, que após 24 horas foram avaliadas por espectrometria de emissão atômica por plasma. Na determinação dos teores de macro e micronutrientes utilizou-se a metodologia de Carmo et al. (2000).

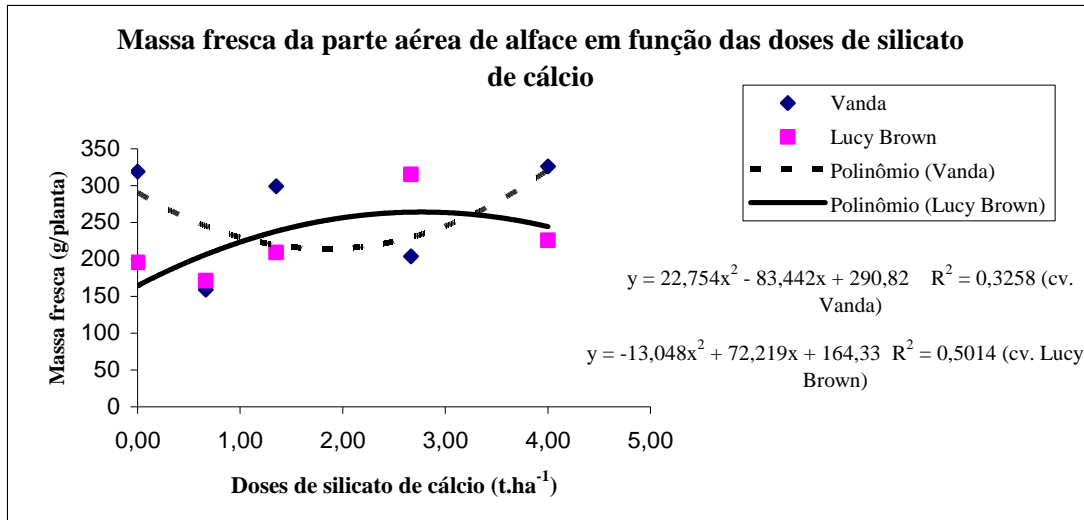
Na avaliação da aplicação de silicato de cálcio em relação ao rendimento das plantas, as doses foram comparadas por regressão polinomial ao nível de 5% de probabilidade. Para avaliar a relação entre as doses de silicato de cálcio aplicadas no experimento com os teores de silício, macro e micronutrientes os dados relativos ao ensaio

foram analisados pela ACP (Análise de Componentes Principais), tendo o primeiro eixo da ACP explicando 51% e o segundo 21% da variação dos dados.

3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a ‘Vanda’, a dose de 4 t.ha⁻¹ de silicato de cálcio proporcionou maior rendimento de massa fresca da parte aérea. Em relação à ‘Lucy Brown’, o maior rendimento de massa fresca comercial da parte aérea foi na dose 2,67 t.ha⁻¹ (Figura 3.1). Os aumentos nas doses de silicato de cálcio não aumentaram proporcionalmente as produções de massa fresca comercial da parte aérea em ambas as cultivares estudadas. Quando se comparam, no entanto, as doses que apresentaram maiores produções de massa fresca comercial da parte aérea com as testemunhas, que não receberam adubação silicatada, tanto para a ‘Vanda’ quanto para a ‘Lucy Brown’, observa-se que houve aumento de 2,15% e 37,78%, respectivamente, em relação à massa fresca comercial da parte aérea. Gerrero, Borges e Fernandes (2011) trabalhando com doses de silicato de sódio (272 g.kg⁻¹ de SiO₂) em rúcula, observaram que não houve efeito significativo para as características de altura, área foliar, fitomassa fresca total, fitomassa seca total, razão de área foliar, peso específico da folha e quantidade de água na parte aérea para as plantas estudadas em relação às doses (0; 0,075 ml/vaso; 0,150 ml/vaso; 0,225 ml/vaso e 0,300 ml/vaso) de silício aplicadas. Lana et al. (2003) estudando aplicação de silicato de cálcio, nas dosagens de 0; 500; 1000; 3000 e 4000 kg.ha⁻¹ na cultura do tomate, cv. “Débora-Plus”, observaram que as diferentes doses não apresentaram diferenças significativas em relação à produção da cultura.

Figura 3.1 – Massa fresca comercial da parte aérea das cultivares de alface Vanda (grupo Solta-Crespa) e Lucy Brown (grupo Americana) em função do uso de doses de silicato de cálcio (médias de quatro repetições). Londrina, UEL, 2012.



De acordo com Ferreira et al. (2009) aplicando-se no solo até 4,0 t.ha⁻¹ de silifétil (resíduo industrial contendo 42% de SiO₂ e outros micro e macronutrientes), não ocorreram aumentos significativos no rendimento da alface. Por outro lado, quando compararam a testemunha, que não recebeu adubação contendo silício, com o uso da maior dose (4,0 t.ha⁻¹), verificaram que houve um incremento de 19% no peso comercial da alface do grupo Americana (cv. Raider).

A utilização de silício na cultura da alface não apresenta papel metabólico definido. No entanto, sua ação provoca efeitos indiretos na cultura, como por exemplo, maior estruturação de parede celular das raízes e folhas, o que pode aumentar sua produtividade (BALDEON, 1995).

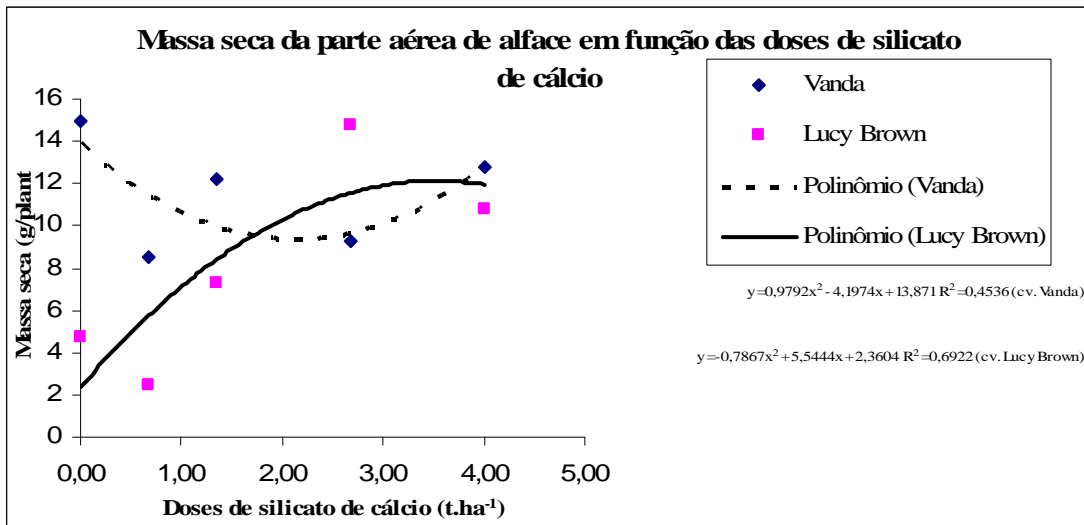
Luz, Guimarães e Korndörfer (2006) avaliando o efeito do silício sobre o desempenho das cultivares de alface (Vera, Verônica, Elisa, Regina, Aurélia, Tainá, Lucy Brown, Uberlândia 10000 e Mimosa Salad Bowl), cultivadas em solução nutritiva no sistema hidropônico NFT; e duas soluções nutritivas, uma contendo silício – 1,5 mmol L⁻¹ e outra sem silício, observaram que plantas de alface que receberam silício apresentaram menor tamanho quando comparadas às plantas cultivadas em solução sem silício. Entretanto, as plantas tratadas com silício apresentaram menor incidência da anomalia fisiológica descrita como queima dos bordos. Este fato pode ser explicado pelo acúmulo do silício nas células epidérmicas e nas paredes dos estômatos, onde se encontra na forma de H₄SiO₄ (ácido monossilícico) e quando a planta começa a perder água a forma monomérica se transforma em

formas poliméricas, ou seja, o Si começa a formar cadeias mais pesadas de ácido polisilícico. Quando o silício se polimeriza, a flexibilidade da parede dos estômatos diminui, com isto, estes tendem a permanecer fechados. Com os estômatos fechados, a perda de água e a transpiração diminuem (LUZ; GUIMARÃES; KORNDÖRFER, 2006). Com isso, ocorre diminuição da fotossíntese, menor desenvolvimento das plantas e, conseqüentemente, menor produção da cultura (FARIA, 2000).

Resende et al. (2003) objetivando avaliar a adubação foliar na alface americana em cultivo de verão, utilizaram diferentes doses de silício (0; 0,9; 1,8; 2,7 e 3,6 kg.ha⁻¹), aplicadas em três épocas (14, 21 e 28 dias após o transplântio) e concluíram que a massa fresca total apresentou efeito quadrático na qual a dose 1,7 kg.ha⁻¹ de silício resultou em maior rendimento. Para épocas de aplicação, praticamente não se verificou diferenças, tendo a aplicação aos 14 dias sobressaído com 706,0 g/planta. Para massa fresca comercial, constatou-se que a aplicação de 2,1 kg.ha⁻¹ de silício possibilitou o maior retorno. Para aplicação aos 21 e 28 dias após o transplântio evidenciou-se efeitos quadráticos onde as doses de 0,8 e 1,5 kg.ha⁻¹ de silício propiciaram a melhor conservação pós-colheita. A circunferência da cabeça e o comprimento de caule não apresentaram efeitos significativos entre os tratamentos.

Com relação à massa seca da parte aérea, neste trabalho ajustou-se um modelo quadrático, no qual se observou na 'Lucy Brown' que a dose 2,67 t.ha⁻¹ de silicato de cálcio, proporcionou maior rendimento de massa seca, ou seja, a mesma dose que apresentou maior rendimento de massa fresca comercial da parte aérea para esta cultivar. Em relação à 'Vanda', a testemunha, que não recebeu adubação silicatada, apresentou maior rendimento de massa seca da parte aérea (Figura 3.2). Este resultado pode ser explicado pelas condições em que o experimento se desenvolveu, ou seja, sem a ocorrência de estresse de ordem nutricional ou ambiental, os quais normalmente têm papel preponderante em cultivos no campo. Neste caso, o silício incrementa a produção como elemento benéfico capaz de reduzir esses estresses.

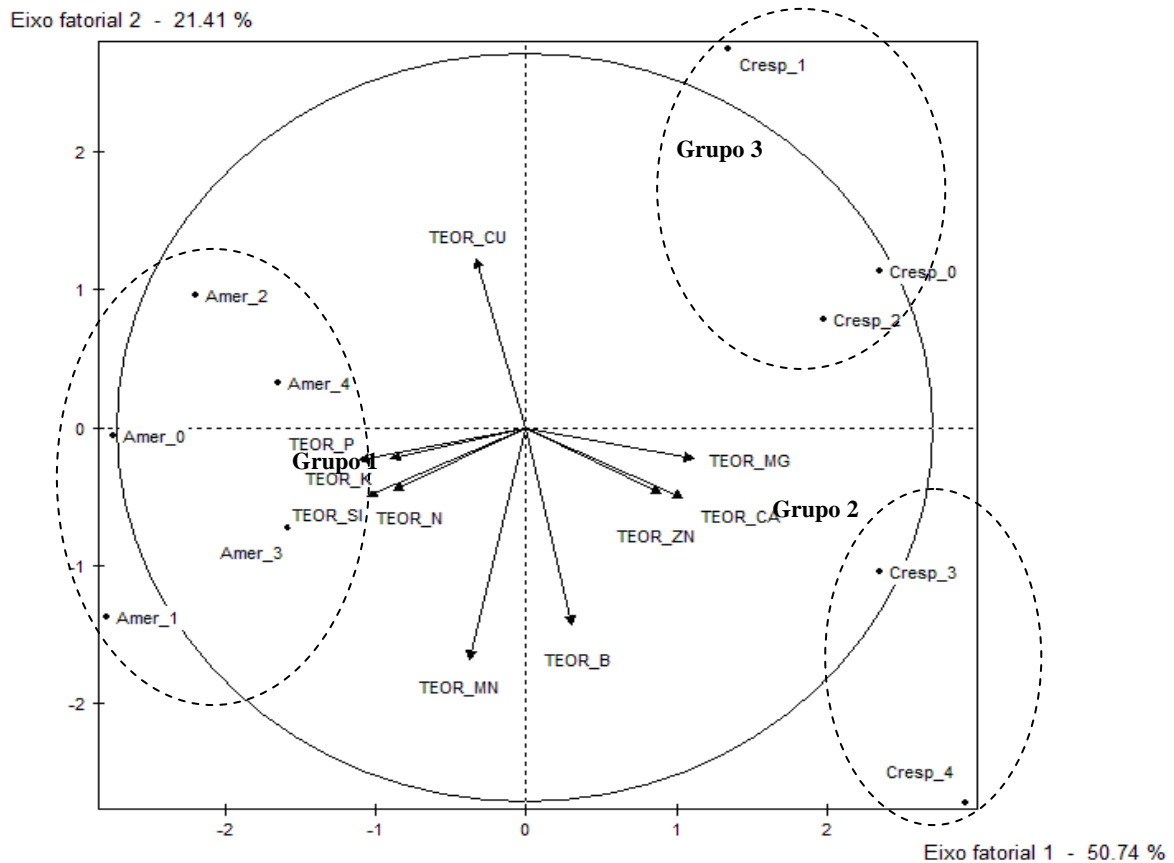
Figura 3.2 – Massa seca da parte aérea das cultivares de alface Vanda e Lucy Brown em função do uso de doses de silicato de cálcio (médias de quatro repetições). Londrina, UEL, 2012.



Com base na avaliação da aplicação de silicato de cálcio nas dosagens 0; 0,67; 1,35; 2,67 e 4 t.ha⁻¹ em relação aos teores de silício, macro e micronutrientes, verifica-se que 51% da variação ocorrida entre as amostras foi explicada pelo primeiro eixo (Componente Principal 1) (Figura 3.3).

Os Componentes Principais 1 e 2 explicam juntos 72% da variação ocorrida entre as amostras. Contudo, observa-se que no Grupo 1, as cultivares Lucy Brown do grupo Americana adubadas com doses de 0; 0,67; 1,35; 2,67 e 4 t.ha⁻¹ de silicato de cálcio estão fortemente relacionadas entre si. Esta relação também foi obtida com o Grupo 2, em cultivares Vanda, do grupo Solta-Crespa, que receberam doses de 2,67 e 4 t.ha⁻¹ de silicato de cálcio e no Grupo 3 com cultivares Vanda, do grupo Solta-Crespa, tratadas com 0; 0,67; 1,35 t.ha⁻¹ de silicato de cálcio. As plantas de alface do Grupo 1 (cv. Lucy Brown) apresentam maiores teores de P, K, Si e N, em relação aos Grupos 2 e 3 (cv. Vanda). As cultivares Vanda mostram maiores teores de Mg, Ca e Zn em relação às cultivares Lucy Brown (Figura 3.3).

Figura 3.3 – Análise de componentes principais de variáveis relacionadas com acúmulo de silício, macro e micronutrientes em duas cultivares de alface, ‘Lucy Brown’(grupo Americana) e ‘Vanda’ (grupo Solta-Crespa) em função de doses de silicato de cálcio. Londrina, UEL, 2012.



Grupo 1 = ‘Lucy Brown’ (grupo Americana). Amer_0 = ‘Lucy Brown’ tratada com 0 t.ha⁻¹ de silicato de cálcio; Amer_1 = ‘Lucy Brown’ tratada com 0,67 t.ha⁻¹ de silicato de cálcio; Amer_2 = ‘Lucy Brown’ tratada com 1,35 t.ha⁻¹ de silicato de cálcio; Amer_3 = ‘Lucy Brown’ tratada com 2,67 t.ha⁻¹ de silicato de cálcio; Amer_4 = ‘Lucy Brown’ tratada com 4 t.ha⁻¹ de silicato de cálcio.

Grupo 2 = ‘Vanda’ (grupo Solta-Crespa). Cresp_3 = ‘Vanda’ tratada com 2,67 t.ha⁻¹ de silicato de cálcio; Cresp_4 = ‘Vanda’ tratada com 4 t.ha⁻¹ de silicato de cálcio.

Grupo 3 = ‘Vanda’ (grupo Solta-Crespa). Cresp_0 = ‘Vanda’ tratada com 0 t.ha⁻¹ de silicato de cálcio; Cresp_1 = ‘Vanda’ tratada com 0,67 t.ha⁻¹ de silicato de cálcio; Cresp_2 = ‘Vanda’ tratada com 1,35 t.ha⁻¹ de silicato de cálcio.

Este fato pode ser explicado graças às características genéticas que cada grupo tem de absorver e acumular nutrientes. Além do mais, as doses de silicato de cálcio não favoreceram a absorção de nutrientes para as cultivares Lucy Brown (grupo Americana). Por outro lado, as maiores doses de silicato de cálcio (2,67 e 4 t.ha⁻¹) aumentaram os teores de Mn e B e diminuíram o teor de Cu nas cultivares Vanda (grupo Solta-Crespa). Horst e Marschner (1978) observaram maior acúmulo de Mn nos tecidos de plantas de feijão após o tratamento

com Si. Estes autores mostraram que na ausência de Si o nível tóxico de Mn foi de 100 mg.kg⁻¹, e após adição de Si na solução nutritiva, esse nível foi elevado para mais de 1000 mg.kg⁻¹. Assim, o silício pode contribuir para uma melhor distribuição de metais entre os compartimentos celulares das plantas.

O suprimento de Si na solução nutritiva alivia a toxicidade de Mn por aumentar a adsorção de Mn na parede celular das plantas e, conseqüentemente, diminuir a concentração de Mn solúvel no apoplasma (IWASAKI et al., 2002a,b). Em relação ao B, Marschner (1995) demonstrou a existência de similaridades químicas do ácido silícico e do ácido bórico em solução, além do fato de que o B, juntamente com o Ca, participam da síntese e estruturação da parede celular e que ambos apresentam demanda inversamente proporcional à capacidade da planta absorver silício, quando se compara espécies monocotiledôneas com dicotiledôneas. Com isso, o fato do teor de boro no presente trabalho ter aumentado com o aumento das doses de silício nas cultivares Vanda (grupo Solta-Crespa), pode ser explicado pelo comportamento da cultura em relação à absorção do elemento. Isso se deve, possivelmente, ao modo como foi aplicado o silicato de cálcio (via solo) e ao tipo de silicato utilizado.

Pozza et al. (2009) compararam a eficiência nutricional de variedades de cafeeiro (Catuaí, Mundo Novo e Icatu) em resposta à adubação silicatada, utilizando seis doses de silicato de cálcio 0; 0,063; 0,125; 0,25; 0,5 e 1 g.dm⁻³. Esses autores observaram diferença significativa na eficiência de absorção de Cu nas mudas da variedade Icatu com as doses de Si, tendo havido redução até a dose 0,48 g.dm⁻³ de silicato de cálcio. O aumento das doses de Si também reduziu a eficiência de absorção de Cu para a variedade Mundo Novo, exceto para a dose 0,25 g.dm⁻³. Silva e Bohnen (2001) trabalhando com arroz em solução nutritiva com e sem aplicação de silício, observaram que a adição de silício na solução nutritiva diminuiu os teores de boro e fósforo nas raízes, e os teores de boro, cálcio, ferro e manganês, na casca, não havendo efeito significativo do Si nos teores de macro e micronutrientes no colmo + folhas e grãos.

3.5 CONCLUSÕES

A ‘Lucy Brown’ alcançou maior massa fresca e seca da parte aérea na dose de 2,67 t.ha⁻¹ de silicato de cálcio.

A ‘Vanda’ obteve maior massa seca e fresca da parte aérea com as doses de 0 e 4 t.ha⁻¹ de silicato de cálcio, respectivamente.

A ‘Lucy Brown’ apresentou maiores teores de P, K, Si e N em relação à ‘Vanda’.

A ‘Vanda’ apresentou maiores teores de Mg, Ca e Zn em relação à ‘Lucy Brown’.

O silicato de cálcio não favoreceu a absorção de nutrientes para a ‘Lucy Brown’.

As doses 2,67 e 4 t.ha⁻¹ de silicato de cálcio aumentaram os teores de Mn e B e diminuíram o teor de Cu na ‘Vanda’.

3.6 REFERÊNCIAS

BALDEON, J. R. M. **Efeito da ação alcalinizante e da competição entre silicato e fosfato na eficiência do termofosfato magnésiano em solos ácidos**. 1995. 85 p. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.

BONNECARRÈRE, R. A. G.; LONDERO, F. A. A.; SANTOS, O. S. dos; SCHIMIDT, D. Desempenho de cultivares de alface em hidroponia no inverno. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.18, n.2, p.289-291, 2000. Suplemento.

CARMO, C. A. F. S.; ARAÚJO, W. S.; BERNARDI, A. C. C.; SALDANHA, M. F. C. Métodos de análise de tecidos vegetais utilizados na Embrapa Solos. **Circular Técnica 6**, 2000.

DATNOFF, L. E.; RODRIGUES, F. A.; SEEBOLD, K. W. Silicon and Plant Nutrition. In: DATNOFF LE, ELMER WH, HUBER DM (Ed.) **Mineral Nutrition and Plant Disease**. Saint Paul MN. APS Press, 2007. p. 233-246.

FARIA, R. J. **Influência do silicato de cálcio na tolerância do arroz de sequeiro ao déficit hídrico do solo**. 2000. 47p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2000.

FERREIRA, R. L. F.; SOUZA, R. J.; CARVALHO, J. G.; ARAÚJO NETO, S. E.; YURI, J. E. Avaliação de cultivares de alface adubadas com Silifétil®. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 22, n. 2, p. 5-10, abr./jun. 2009.

FILGUEIRA, F.A.R. **Novo Manual de Olericultura: Agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 2.ed. Viçosa: UFV, 2003.

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

HORST, W. J.; MARSCHNER, H. Effect of silicon on manganese tolerance of bean plants (*Phaseolus vulgaris* L.). **Plant Soil**, v. 50, n. 2, p. 287-304, 1978.

- IWASAKI, K.; MAIER, P.; FECHT, M.; HORST, W. J. Leaf apoplastic silicon enhances manganese tolerance of cowpea (*Vigna unguiculata*). **Journal of Plant Physiology**. v. 159, n. 2, p. 167-173, 2002a.
- IWASAKI, K.; MAIER, P.; FECHT, M.; HORST, W. J. Effects of silicon supply on apoplastic manganese concentrations in leaves and their relation to manganese tolerance in cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). **Plant Soil**. v. 238, n. 2, p. 281-288, jan. 2002b.
- KORNDÖRFER, G. H.; DATNOFF, L. E. Adubação com silício: uma alternativa no controle de doenças da cana de açúcar e do arroz. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n.70, p.1-3, 1995.
- LANA, R. M. Q.; KORNDÖRFER, G. H.; ZANÃO JÚNIOR, L. A.; SILVA, A. F.; LANA, A. M. Q. Efeito do silicato de cálcio sobre a produtividade e acumulação de silício no tomateiro. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 19, n. 2, p. 15-20, maio/ago. 2003.
- 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, jul./set. 2006.
- MA, J. F.; MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Silicon as a beneficial element for crop plant. In: DATNOFF, L. E.; KORNDÖRFER, G. H., SNYDER, G. **Silicon in Agriculture**. New York: Elsevier science, 2001. p. 17-39.
- MAHMOUDI, H.; KODDOUR, R.; HUANG, J.; NASRI, N.; OLFA, B.; M'RAH, S.; HANNOUFA, A.; LACHAÂL, M.; OUERGUI, Z. Varied tolerance to NaCl salinity is related to biochemical changes in two contrasting lettuce genotypes. **Acta Physiology Plant**, v. 33, p. 1613-1622, 2011
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2.ed. San Diego: Academic Press, 1995. 889p.
- POZZA, A. A. A.; CARVALHO, J. G.; GUIMARES, T. G.; FIGUEIREDO, F. C.; ARAÚJO, A. R. Suprimento do silicato de cálcio e a eficiência nutricional de variedades de cafeeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1705-1714, 2009.
- RESENDE, G. M.; YURI, J. E.; MOTA, J. H.; FREITAS, S. A. C.; RODRIGUES, J. C.; SOUZA, R. J.; CARVALHO, J. G. Adubação foliar com silício em alface americana (*Lactuca sativa* L.) em cultivo de verão. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 2, jul. 2003.
- RODRIGUES, A. B.; MARTINS, M. I. E. G.; ARAÚJO, J.A.C. de. Avaliação econômica da produção de alface em estufa. **Informações Econômicas**, São Paulo, v.27, n.3, p.27-35, mar. 1997.
- 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 Ciência do Solo**, v. 25, p. 771-777, 2001.

WAGNER JÚNIOR, A.; DINIZ, E. R.; SANTOS, C. B.; GOMES, S. A.; NEGREIROS, J. R. S.; LAVIOLA, B. G.; MARTINEZ, H. E. P. ; PEREIRA, P. R. G.; FONTES, P. C. R. Influência da relação K:N na produtividade e concentração de nutrientes de três cultivares de alface em cultivo hidropônico. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 53, n. 306, p. 156-163, 2006.

4 ARTIGO B: RENDIMENTO E ACÚMULO DE NUTRIENTES EM QUATRO CULTIVARES DE ALFACE EM CULTIVO COM E SEM APLICAÇÃO DE SILICATO DE CÁLCIO

4.1 RESUMO

O presente trabalho teve como objetivos avaliar a influência do silício da fonte de silicato de cálcio, marca comercial Vetec® (teor de CaO 14-18%, teor de SiO₂ 60-68%), no rendimento, no estado nutricional e verificar se há presença de silício, na forma de corpos silicosos, na cultura da alface, utilizando o microscópio eletrônico de varredura. O experimento foi conduzido em casa de vegetação da Universidade Estadual de Londrina – UEL, durante os meses de julho a setembro de 2011, em substrato, marca comercial Tropstrato Hortaliças HA®. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados em esquema fatorial 4 x 2 com quatro repetições para avaliação do rendimento e três repetições para avaliação do estado nutricional, sendo: quatro cultivares de alface: Lucy Brown (grupo Americana); Vanda (grupo Solta-Crespa); Elisa (grupo Solta-Lisa) e Romana (grupo Romana) e duas doses de silicato de cálcio (0 e 4 t.ha⁻¹). A máxima produção de massa fresca comercial da parte aérea, massa seca da parte aérea e altura foram obtidas pela cultivar Romana. Em relação ao diâmetro da cabeça comercial as cultivares não diferiram entre si. Com base nas doses de silicato de cálcio (0 e 4 t.ha⁻¹) em relação aos teores de macronutrientes, não houve diferenças nos teores desses nutrientes tanto para as plantas que receberam adubação silicatada quanto para as plantas que não receberam, exceto para a ‘Romana’, que apresentou maior teor de P nas plantas não tratadas com silicato de cálcio. Para micronutrientes observou-se que a ‘Lucy Brown’ apresentou maior teor de B com adubação silicatada. A ‘Romana’ apresentou maior teor de Mn em plantas não adubadas com silicato de cálcio. Os maiores teores de silício apareceram nas cultivares Elisa e Romana. Imagens obtidas pelo MEV ilustram que não há formação de corpos silicosos em alface.

Palavras-chave: *Lactuca sativa* L. Nutrição de plantas. Produção. Adubação silicatada. Microscopia eletrônica de varredura.

Abstract

The present work aimed to evaluate the influence of silicon from calcium, trademark Vetec® (content of CaO 14-18%, content of SiO₂ 60-68%) in the performance and nutritional condition and to verify if there is silicon presence in the form of silica bodies, in the lettuce culture. The experiment was conducted in a greenhouse of Londrina University-UEL, during the months July to September of 2011, on substrate trademark Tropstrato hortaliças HA®. The experimental design used was in randomized blocks in factorial scheme 4x2 with four repetitions for evaluation of performance and three repetitions for evaluation of nutritional condition, as follows: four lettuce cultivars: Lucy Brown (American group); Vanda (Loose-Curly group); Elisa (Smooth-Loose group) and Roman (Roman group) and two calcium silicate doses (0 and 4t.ha⁻¹). The maximum production of commercial fresh weight of airy part, dry mass height of airy part, was obtained by ‘Roman’. In relation to commercial head diameters the cultivar didn’t differ each other. Based on the doses of calcium silicate (0 and 4 t.ha⁻¹) in relation to the levels of macronutrients, it didn’t have difference in the levels of these nutrients, both the plants that received fertilization as the plants that didn’t receive fertilization, except for the ‘Roman’, that showed higher content of P in the plants that weren’t treated with calcium silicate. When we analyzed micronutrient content we saw that

the plants of the 'Lucy Brown' showed higher contents of B when received silicate fertilization. The 'Roman' showed higher content of Mn when the plants weren't fertilized with calcium silicate. The highest levels of silicon showed in 'Roman' and 'Elisa'. Images obtained by microscope (SEM) illustrates that there isn't accumulation of silicon in the form of silica bodies in lettuces.

Key-words: *Lactuca Sativa* L.. Nutrition plants. Production. Silicated Fertilization. Scanning electronic microscopy.

4.2 INTRODUÇÃO

A alface (*Lactuca sativa* L.) é cultivada em todo território nacional, sendo sensível às condições adversas de temperatura e umidade (RODRIGUES; MARTINS; ARAÚJO, 1997). É considerada a hortaliça folhosa mais importante na alimentação dos brasileiros. Em nosso país as cultivares desta cultura encontram-se divididas em seis grupos: repolhuda-manteiga; americana; solta-lisa; solta-crespa; mimosa e romana (FILGUEIRA, 2003). Estes grupos apresentam teores diferentes em relação à absorção e acúmulo de nutrientes. (WAGNER JÚNIOR et al., 2006; MAHMOUDI et al., 2011).

O silício é considerado um elemento benéfico às plantas, sua presença pode contribuir favoravelmente para o desempenho das culturas, como por exemplo, elevar produtividade; regular a perda de água; melhorar a taxa de fotossíntese; aumentar rigidez da estrutura dos tecidos; reduzir acamamento; diminuir danos causados pela geada; aumentar a resistência de várias espécies às pragas e às doenças; diminuir toxidez de ferro e manganês às raízes. (KORNDÖRFER; DATNOFF, 1995; DATNOFF; RODRIGUES; SEEBOLD, 2007).

As diferentes espécies de plantas diferem entre si na capacidade de acumularem silício nos tecidos, com isso, podem ser classificadas em plantas acumuladoras, que incluem muitas gramíneas como o arroz, as quais contêm de 10% a 15% de SiO₂; intermediárias, com teores de SiO₂ variando de 1% a 5% (cereais, cana-de-açúcar) e não acumuladoras com teores menores do que 0,5% de SiO₂ (TAKAHASHI; MIYAKE, 1997; FAQUIN, 1997).

Além disso, as plantas diferem bastante na capacidade de absorver o silício, podendo assim, genótipos da mesma espécie apresentar diferentes concentrações e acúmulos deste elemento. (NABLE; LANCE; CARTWRIGHT, 1990; ANDRADE; ANDRADE; MIGLIORANZA, 2012).

De outra maneira, algumas plantas superiores absorvem sílica da solução do solo, e esta se deposita dentro e fora das células. Esta sílica absorvida, denominada de corpos

silicosos ou fitólitos, apresentam tamanhos microscópicos amorfos aos raios X (COSTA et al., 2005). A deposição dos fitólitos em vegetais podem ocorrer em folhas, sementes, frutos, raízes e madeira, dentro das células ou na parede celular (SENDULSKY; LABOURIAU, 1966; RUNGE, 1999).

Corpos silicosos, fitólitos ou opala biogênica são terminologias usadas para designar compostos de sílica hidratada ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), com formas e tamanhos característicos, formados pelas plantas (PIPERNO, 2006) e animais (GARRONE; SIMPSON; POTTU-BOUMENDIL, 1981). A sílica solúvel da solução do solo é a matéria prima utilizada pelas plantas na formação destes biominerais, esta é proveniente da solubilização dos aluminossilicatos e do quartzo contidos no solo. Há plantas que apresentam silício em seu tecido, porém esse acúmulo de silício não pode ser confundido com os corpos silicosos contidos no tecido vegetal (COSTA et al., 2010).

Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência do silício da fonte de silicato de cálcio no rendimento, estado nutricional e verificar se há presença de silício, na forma de corpos silicosos, na cultura da alface, utilizando o microscópio eletrônico de varredura.

4.3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Universidade Estadual de Londrina, no período de julho a setembro de 2011, em substrato da marca comercial Tropstrato Hortaliças HA®. O substrato da área experimental apresentou as seguintes características químicas: pH (CaCl_2) = 5,5; K = 0,62 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$; Ca = 21,1 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$; Mg = 4,6 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$; Al = 0,05 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$; H + Al = 5,35 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$; P = 53,1 mg/dm^3 ; Si = 73320,00 mg/kg ; Densidade seca = 200 kg/m^3 .

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema Fatorial 4x2, com quatro repetições para avaliação no rendimento e três repetições para avaliar o estado nutricional. Nesse experimento foram utilizadas quatro cultivares de alface: Lucy Brown (grupo Americana); Vanda (grupo Solta-Crespa); Elisa (grupo Solta-Lisa) e Romana (grupo Romana) e duas doses de silicato de cálcio (0 e 4 $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$). O silicato de cálcio utilizado é da marca Vetec® (teor de CaO 14-18%, teor de SiO_2 60-68%). A obtenção de imagens, para constatação de corpos silicosos foram realizadas através da microscopia eletrônica de varredura.

As mudas, obtidas em bandejas de isopor com substrato comercial, foram transplantadas 23 dias após a semeadura (d.a.s.) para vasos plásticos com capacidade de quatro litros, com uma planta por vaso. A irrigação foi feita diariamente para manter o substrato com umidade adequada para o desenvolvimento da cultura. No momento do transplante todas as plantas foram adubadas com 0,3 kg de 4-14-8 (N-P-K) para cada 25 kg do substrato utilizado. Aos 35 dias após o transplante das mudas, realizou-se adubação de cobertura em todas as plantas na dose de 312,5 kg.ha⁻¹ de uréia por vaso.

Quando as plantas atingiram o tamanho comercial, aos 73 d.a.s., realizou-se a colheita do experimento e momentos antes da colheita foram retiradas amostras das plantas para verificação em microscópio eletrônico de varredura (MEV) se existe formação de corpos silicosos na cultura, e avaliação das massas frescas e secas da parte aérea, altura das plantas, diâmetro da cabeça comercial, teores de silício, macro e micronutrientes da parte aérea.

Em seguida às medições das massas frescas da parte aérea, altura das plantas e diâmetro da cabeça comercial, as plantas foram submetidas a uma secagem em estufa a 65° C até atingir massa constante para avaliação das massas secas da parte aérea, o que ocorreu após 96 horas de secagem.

Após avaliação das massas secas das folhas, essas amostras foram moídas em moinho “tipo Willey” para a análise dos teores de silício, macro e micronutrientes. Para a determinação dos teores de silício, realizou-se digestão nitroperclórica das amostras, que após 24 horas foram avaliadas por espectrometria de emissão atômica por plasma. Para determinação dos teores de macro e micronutrientes utilizou-se a metodologia de Carmo et al. (2000).

Os materiais retirados instantes antes da colheita do experimento foram colocados em solução fixadora, contendo 5% de formol, 90% de álcool etílico e 5% de ácido acético (F.A.A), onde permaneceram 24 horas imersos no fixador à temperatura ambiente. Foram retiradas nove amostras de cada planta, sendo estas: retirou-se da folha que não apresentasse sinal de deterioração e estivesse localizada na parte mais baixa da planta, e desta folha foram retirados três fragmentos, dois nas extremidades (em cima, em baixo) e um no meio; em seguida retirou-se da folha, sem sinais de deterioração, localizada no meio da planta, e desta, retiraram-se três fragmentos das extremidades (em cima, em baixo) e o outro no meio, e por fim, fragmentos da folha sem sinais de deterioração, localizada na parte superior da planta, foram retirados como os demais citados anteriormente.

Utilizou-se uma planta de cada cultivar e de cada tratamento para obtenção destes fragmentos. Com isso, as imagens que apresentaram detalhes significativos, obtidos pelo MEV foram utilizadas no presente trabalho.

Para obtenção das imagens os materiais fixados foram desidratadas em séries crescentes de etanol (70%, 80%, 90%, 100%) e secos ao ponto crítico em CO₂ (Bal Tec CPD 030). Em seguida, as amostras foram coladas nos “stubs” com a superfície adaxial voltada para cima e foram recobertas com carbono, utilizando-se o Sputter coater Bal-Tec SCD 050. Para a detecção da presença de silício, as amostras foram analisadas por espectroscopia de energia dispersiva (EDS-Oxford), software INCA, acoplado ao MEV - FEI Quanta 200.

Para avaliação do rendimento e do estado nutricional das plantas os dados relativos ao ensaio foram submetidos a análise de variância, sendo as médias comparadas entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

4.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância mostrou haver diferença significativa entre as cultivares de alface nas características: massa fresca da parte aérea (MFPA); massa seca da parte aérea (MSPA) e altura (Tabela 4.1). Os tratamentos com 0 e 4 t.ha⁻¹ de silicato de cálcio, com exceção da ‘Lucy Brown’, não apresentaram diferenças significativas para as variáveis analisadas (Tabela 4.2). As diferenças encontradas entre as cultivares podem ser decorrentes das características genéticas de cada uma, principalmente por serem de grupos diferentes e não pelas dosagens de silicato de cálcio utilizadas. Esses resultados são semelhantes aos obtidos por Ferreira et al. (2010) que não encontraram diferenças significativas quando avaliaram a produtividade, estado nutricional e qualidade (classe de tamanho) de cultivares de alface tratadas com doses de silicato de cálcio.

Tabela 4.1 – Comparação entre as cultivares de alface em relação à massa fresca da parte aérea (MFPA), massa seca da parte aérea (MSPA), diâmetro da cabeça comercial (DCC) e altura. Londrina, UEL, 2012.

	MFPA(g)		MSPA (g)		DCC (cm)		Altura (cm)	
Cultivares								
Lucy Brown	340,00	b	15,75	c	45,44	a	22,25	c
Vanda	353,00	b	22,50	b	46,81	a	23,88	b
Elisa	213,75	c	16,50	c	46,31	a	22,31	bc
Romana	425,50	a	29,50	a	48,06	a	30,06	a
C.V. (%)	11,54		15,58		4,51		4,76	
D.M.S.	52,88		4,51		2,89		1,61	

Médias seguidas por letras minúsculas iguais, na coluna, não diferem entre si no nível de 5% de significância pelo teste de Tukey
D.M.S. – Diferença mínima significativa para as médias nas colunas

Luz, Guimarães e Korndörfer (2006) avaliando o efeito do silício sobre o desempenho de cultivares de alface, observaram que as plantas tratadas com silício apresentaram menor tamanho quando comparadas às plantas cultivadas em solução sem silício. Segundo estes autores, este fato pode ser explicado pois o silício que se acumula nas células epidérmicas e nas paredes dos estômatos encontra-se na forma de H_4SiO_4 (ácido monossilícico) e quando a planta começa a perder água a forma monomérica se transforma em formas poliméricas, ou seja, o silício começa a formar cadeias mais pesadas de ácido polisilícico. Quando o silício se polimeriza, tende a diminuir a flexibilidade da parede dos estômatos, com isto, estes tendem a permanecer fechados. Com os estômatos fechados a transpiração e a perda de água diminuem. Nestas condições, Faria (2000) concluiu que a fotossíntese diminui, e isto pode levar ao menor desenvolvimento e conseqüentemente menor massa das plantas. Sonobe et al. (2009) demonstraram que concentrações de $50mg.L^{-1}$ de silício, além do acúmulo, o silício foi eficiente em diminuir o stresse hídrico das plantas de sorgo, aumentando a condutância estomática, a taxa fotossintética e de transpiração e o peso seco quando comparadas com plantas que não foram tratadas com Si.

A cultivar Romana apresentou maior massa fresca e seca da parte aérea, possivelmente devido às plantas apresentarem maior porte em relação às demais cultivares estudadas. A ‘Elisa’, apresentou menor massa fresca e seca da parte aérea, juntamente com a ‘Lucy Brown’, que apresentou menor peso de massa seca. Esses resultados podem ser explicados pelas características agronômicas de cada cultivar de alface. Em relação ao diâmetro da cabeça comercial as cultivares não obtiveram diferenças significativas entre elas. Quando se comparou a altura entre estas, observou-se que houve diferenças significativas, tendo a ‘Romana’, apresentado maior valor em relação às outras (Tabela 4.1). Fato que pode

ter ocorrido pois esta cultivar apresenta características genéticas que lhe proporciona maior crescimento em altura durante a fase vegetativa em relação às demais.

Tabela 4.2 – Massa fresca da parte aérea (MFPA), massa seca da parte aérea (MSPA), diâmetro da cabeça comercial (DCC) e altura de plantas de alface produzidas em casa de vegetação, em função dos tratamentos com silicato de cálcio. 0 t.ha⁻¹ de silicato de cálcio (Sem Si) e 4 t.ha⁻¹ de silicato de cálcio (Com Si). Londrina, UEL, 2012.

Cultivares	MFPA(g)		MSPA (g)		DCC (cm)		Altura (cm)	
	Com Si	Sem Si	Com Si	Sem Si	Com Si	Sem Si	Com Si	Sem Si
Lucy Brown	372,00 aA	308,00 bB	17,00 bA	14,50 cA	46,63 aA	44,25 aA	22,63 bA	21,88 cA
Vanda	355,50 aA	350,50 bA	22,50 abA	22,50 bA	45,75 aA	47,88 aA	23,38 bA	24,38 bA
Elisa	213,00 bA	214,50 cA	16,00 bA	17,00 bcA	47,50 aA	45,13 aA	22,13 bA	22,50 bcA
Romana	403,50 aA	447,50 aA	29,00 aA	30,00 aA	48,13 aA	48,00 aA	30,00 aA	30,13 aA
C.V. (%)	11,73		15,90		4,52		4,84	
D.M.S.1	76,26		6,53		4,12		2,33	
D.M.S.2	57,04		4,88		3,08		1,74	

Médias seguidas por letras minúsculas iguais, na coluna, não diferem entre si no nível de 5% de significância pelo teste de Tukey

Médias seguidas por letras maiúsculas iguais, na linha de cada variável, não diferem entre si no nível de 5% de significância

D.M.S.1 – Diferença mínima significativa para as médias nas colunas; D.M.S. 2 – Diferença mínima significativa para as médias nas linhas

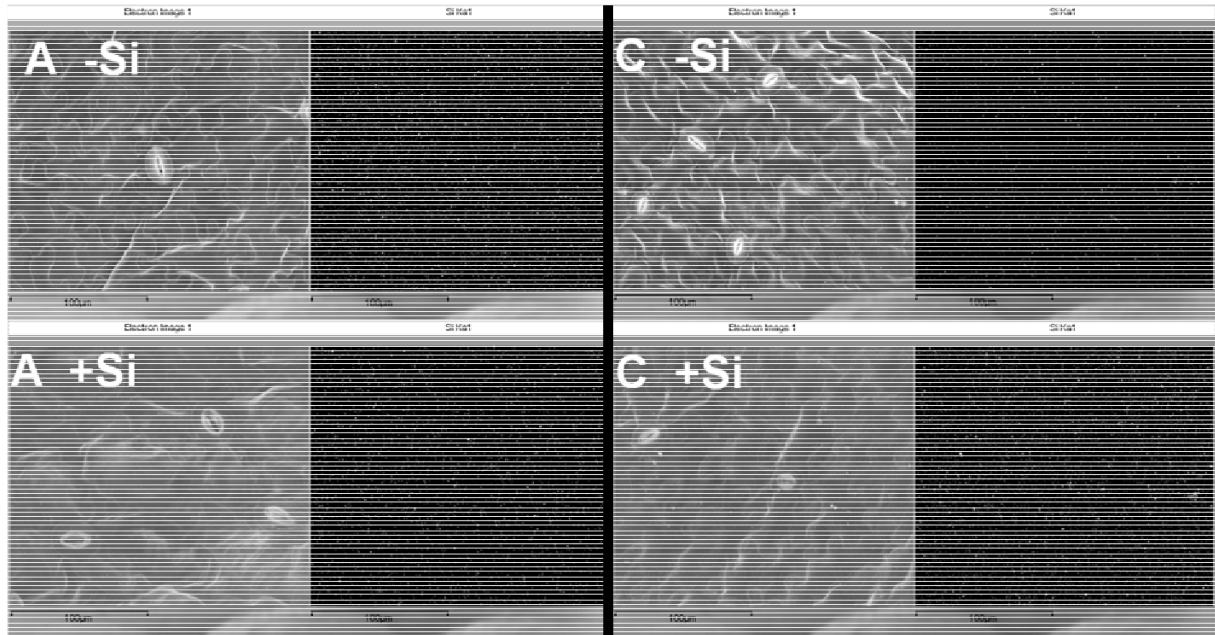
As cvs. Romana e Elisa apresentaram maiores teores foliar de silício em relação às demais. O silício se transloca nos vegetais por fluxo de massa e acumula-se principalmente em maiores quantidades nas áreas de máxima transpiração. Desta maneira, o fato da ‘Romana’ e ‘Elisa’ apresentarem arquitetura foliar que proporciona a estas maiores transpiração em relação às outras, pode ter contribuído para maior teor de Si. Não se obteve diferenças significativas quando o teor foliar de silício foi comparado dentro de cada cultivar, em relação às doses 0 e 4 t.ha⁻¹ de silicato de cálcio. (Tabela 4.3). Fato que pode ter ocorrido provavelmente devido à cultura da alface não ser acumuladora de silício (Figura 4.1).

Voogt e Sonneveld (2001), trabalhando com alface no sistema NFT, observaram que, apesar do claro efeito da aplicação de silício na redução da toxicidade de Mn, a absorção de silício pela alface foi pequena, e o conteúdo de silício nas plantas que receberam o tratamento era levemente maior em comparação ao tratamento zero de silício. Em outros estudos, Lana et al. (2002), utilizando doses crescentes de silicato de cálcio na cultura do tomateiro verificaram que os teores de silício nas raízes, caule e folhas da cultivar Débora Plus, não diferiram estatisticamente em relação ao aumento das doses.

A cultura de alface não apresenta acúmulo de silício, na forma de corpos silicosos (Figura 4.1). O silício detectado pelo MEV é proveniente do teor de Si encontrado no tecido foliar da cultura. Resultados que corroboram com os estudos de Ferreira et al.

(2009) que demonstram que a alface não é acumuladora de silício. A maioria das plantas, principalmente as dicotiledôneas, são incapazes de acumular altos níveis de Si em seus tecidos. A diferença no acúmulo de silício entre as espécies pode ser atribuída às diferenças de absorção desse elemento pelas raízes (MA; TAKAHASHI, 2002).

Figura 4.1 – Eletromicrografias ilustrando mapeamento do elemento químico silício na epiderme superior de folhas de alface. Londrina, UEL, 2012.



- (A -Si) ‘Lucy Brown’ sem aplicação de silicato de cálcio;
- (A +Si) ‘Lucy Brown’ com aplicação de 4 t.ha⁻¹ de silicato de cálcio;
- (C -Si) ‘Elisa’ sem aplicação de silicato de cálcio;
- (C +Si) ‘Elisa’ com aplicação de 4 t.ha⁻¹ de silicato de cálcio.

De acordo com Luz, Guimarães e Korndörfer (2006) houve diferenças significativas no teor foliar de silício na parte aérea de plantas de alface em relação à quantidade aplicada deste elemento. Na solução nutritiva sem a aplicação de silício notaram que a ‘Uberlândia 10000’, do grupo Solta-Lisa, apresentou 0,30% a mais no teor foliar de silício em relação às outras cultivares testadas. Em relação à solução nutritiva contendo silício, a ‘Uberlândia 10000’ se sobressaiu novamente em relação ao teor foliar de silício, porém não obteve diferença estatística quando comparada com as cultivares Mimosa, do grupo Mimosa e Verônica, do grupo Solta-Crespa. As plantas de alface podem apresentar silício em seus tecidos mesmo sem terem recebido tratamento com este elemento, pois o Si é muito abundante na crosta terrestre, estando presente em toda parte, inclusive na água utilizada para irrigar o experimento.

Tabela 4.3 – Comparação do teor foliar de silício (mg/kg^{-1}) entre as cultivares de alface tratadas com silicato de cálcio, nas dosagens de 4 t.ha^{-1} (Com silício) e 0 t.ha^{-1} (Sem silício). Londrina, UEL, 2012.

	Sem silício		Com silício	
Cultivares				
Lucy Brown	64,74	bA	95,05	bA
Vanda	62,36	bA	70,71	bA
Elisa	207,30	aA	210,60	aA
Romana	167,97	aA	164,90	aA
C.V. (%)	22,05			
D.M.S.1	67,23			
D.M.S.2	49,80			

Médias seguidas por letras minúsculas iguais, na coluna, não diferem entre si no nível de 5% de significância pelo teste de Tukey

Médias seguidas por letras maiúsculas iguais, na linha de cada variável, não diferem entre si no nível de 5% de significância

D.M.S.1 – Diferença mínima significativa para as médias nas colunas; D.M.S. 2 – Diferença mínima significativa para as médias nas linhas

No presente trabalho a aplicação de silicato de cálcio, como fonte de silício, não influenciou no teor foliar de macronutrientes, com exceção do P, na cultivar Romana, que na dose 0 t.ha^{-1} apresentou maior teor foliar em relação às plantas tratadas com a dose 4 t.ha^{-1} (tabela 4.4). Este resultado pode ter ocorrido por causa das características genéticas deste grupo em relação à absorção e acúmulo de P. A forma como foi aplicado o silicato de cálcio, via solo e o tipo de silicato utilizado, podem ter contribuído para que não ocorresse a interação esperada entre o silício e os macronutrientes. Leite (1997) relatou que o fósforo e silício competem entre si pelos mesmos sítios de adsorção, de maneira que o segundo pode deslocar (dessorver) o primeiro, e vice-versa, da fase sólida para líquida. Com isso, teoricamente, maior teor de silício no solo, maior disponibilidade de fósforo desorvido na solução e conseqüentemente, maior absorção deste pelas plantas. Outra situação que deve ser levada em conta nesta pesquisa é que a alface foi cultivada em substrato, podendo este apresentar comportamento diferente do solo em relação à competição de fósforo e silício pelos mesmos sítios de adsorção.

Comparando cada macronutriente individualmente em relação às cultivares de alface estudadas, o teor foliar de nitrogênio não diferiu estatisticamente em relação às plantas tratadas com as doses 0 e 4 t.ha^{-1} de silicato de cálcio (tabela 4.4). Ávila et al. (2010) observaram que houve elevação dos teores de NO_3^- nas raízes quando o silício foi adicionado na solução nutritiva, embora os teores de N-total não tenham sido alterados pela adição de Si ao meio de cultivo.

Em relação ao fósforo, conclui-se que no tratamento sem Si a ‘Romana’ teve maior teor foliar, não diferindo estatisticamente das cultivares Vanda e Elisa, porém as cultivares tratadas com silicato de cálcio não apresentaram diferenças significativas entre elas para tal elemento. O potássio quando se compara as plantas tratadas com silicato de cálcio, apresentou maior teor na ‘Lucy Brown’, não diferindo estatisticamente da ‘Romana’. As plantas sem tratamento não apresentaram diferenças significativas em relação a este elemento. Em relação ao cálcio e magnésio a ‘Elisa’ apresentou maiores teores foliar comparada às outras cultivares quando se analisa as plantas tratadas com silicato de cálcio (Tabela 4.4).

Tabela 4.4 – Comparação do teor foliar de macronutrientes (g/kg^{-1}) entre as cultivares de alface tratadas com silicato de cálcio, nas dosagens de 4 t.ha^{-1} (Com silício) e 0 t.ha^{-1} (Sem silício). Londrina, UEL, 2012.

Cultivares	N		P		K		Ca		Mg											
	Com Si	Sem Si	Com Si	Sem Si	Com Si	Sem Si	Com Si	Sem Si	Com Si	Sem Si										
Lucy Brown	24,06	aA	25,44	aA	6,48	aA	6,45	bA	78,00	aA	72,00	aA	17,14	bA	18,59	aA	5,91	bA	7,02	abA
Vanda	22,43	aA	24,43	aA	6,79	aA	6,71	abA	66,67	bA	68,66	aA	14,91	bA	15,67	aA	5,59	bA	6,03	bA
Elisa	22,38	aA	22,67	aA	7,29	aA	7,03	abA	66,00	bA	67,33	aA	26,38	aA	22,05	aA	9,22	aA	9,15	aA
Romana	27,68	aA	29,19	aA	6,70	aB	7,56	aA	72,00	abA	74,00	aA	12,77	bA	15,45	aA	4,76	bA	6,08	bA
C.V. (%)	12,04		6,82		6,87		19,00		18,17											
D.M.S.1	6,97		1,10		11,32		7,93		2,85											
D.M.S.2	5,17		0,81		8,39		5,87		2,11											

Médias seguidas por letras minúsculas iguais, na coluna, não diferem entre si no nível de 5% de significância pelo teste de Tukey

Médias seguidas por letras maiúsculas iguais, na linha de cada variável, não diferem entre si no nível de 5% de significância

D.M.S.1 – Diferença mínima significativa para as médias nas colunas; D.M.S. 2 – Diferença mínima significativa para as médias nas linhas

Com base nos micronutrientes o boro dentro da ‘Lucy Brown’, apresentou maior teor foliar nas plantas que receberam adubação silicatada. A ‘Romana’ que não recebeu tratamento contendo silício, apresentou maior teor foliar de manganês em relação às plantas tratadas (Tabela 4.5) Corroborando com os estudos de Kluthcouski e Nelson (1980) que observaram decréscimo da concentração de Mn em folhas de soja tratadas com Si, mas as raízes não foram afetadas. Segundo Silva e Bohnen (2001) objetivando avaliar o acúmulo de macro e micronutrientes pela cultura de arroz cultivado em solução nutritiva completa, com e sem adição de Si na forma de SiO_2 (em pó), observaram que o Si na solução nutritiva diminuiu os teores de boro e fósforo nas raízes, e os teores de boro, cálcio, ferro e manganês, na casca. Porém não houve efeito significativo do Si nos teores de macro e micronutrientes no colmo + folhas e grãos.

Há similaridades químicas do ácido silícico e do ácido bórico em solução e o fato de que o B, juntamente com o Ca, participa da síntese e estruturação da parede celular das células e que ambos apresentam demanda inversamente proporcional à capacidade da

planta absorver Si, quando se compara espécies monocotiledôneas com dicotiledôneas (MARSCHNER, 1995).

Os tratamentos com silicato de cálcio não influenciaram nos teores de zinco (Tabela 4.5). De outra forma, Pinto et al. (2009) objetivando avaliar o efeito do Si na amenização da toxidez de Zn sobre o crescimento e nutrição mineral de plantas de *Eucalyptus urophylla*, concluíram que a adição do silício amenizou o efeito negativo do excesso de Zn sobre o crescimento, no entanto pouco influenciou os teores dos nutrientes avaliados nos tecidos (P, K, Ca, Mg e S), embora tenha proporcionado utilização mais eficiente de P, Ca, Mg e S pelas plantas analisadas.

Tabela 4.5 – Comparação do teor foliar de micronutrientes e silício (mg/kg^{-1}) entre as cultivares de alface tratadas com silicato de cálcio, nas dosagens de 4 t.ha^{-1} (Com silício) e 0 t.ha^{-1} (Sem silício). Londrina, UEL, 2012.

Cultivares	Cu		Zn		B		Mn		Si											
	Com Si	Sem Si	Com Si	Sem Si	Com Si	Sem Si	Com Si	Sem Si	Com Si	Sem Si										
Lucy Brown	2,66	aA	3,28	aA	57,47	abA	54,37	aA	37,86	aB	33,32	aB	103,48	aA	120,46	aA	95,05	bA	64,74	bA
Vanda	2,42	aA	1,98	aA	57,59	abA	55,75	aA	35,25	aA	34,36	aA	140,53	aA	133,93	aA	70,71	bA	62,36	bA
Elisa	2,70	aA	2,51	aA	78,05	aA	76,44	aA	37,14	aA	36,06	aA	193,40	aA	165,40	aA	210,60	aA	207,30	aA
Romana	2,22	aA	3,53	aA	48,97	bA	57,36	aA	35,82	aA	34,18	aA	117,40	aB	214,13	aA	164,90	aA	167,97	aA
C.V. (%)	32,10		16,16		6,74		27,02		22,05											
D.M.S.1	2,00		22,94		5,59		93,81		67,23											
D.M.S.2	1,48		16,99		4,14		69,49		49,80											

Médias seguidas por letras minúsculas iguais, na coluna, não diferem entre si no nível de 5% de significância pelo teste de Tukey

Médias seguidas por letras maiúsculas iguais, na linha de cada variável, não diferem entre si no nível de 5% de significância

D.M.S.1 – Diferença mínima significativa para as médias nas colunas; D.M.S. 2 – Diferença mínima significativa para as médias nas linhas

De maneira geral, em relação ao acúmulo de macronutrientes entre as plantas de alface, a ‘Romana’ apresentou maior teor foliar de nitrogênio quando comparado às demais cultivares, porém não diferiu estatisticamente da ‘Lucy Brown’. Em relação ao P, as cultivares não diferiram estatisticamente entre si. A ‘Lucy Brown’ destacou-se em relação ao teor foliar de K, porém não diferiu estatisticamente das cultivares Vanda e Romana. O maior acúmulo de cálcio e magnésio ocorreu na ‘Elisa’. Os teores foliar de macronutrientes encontrados nas cultivares de alface apresenta valores decrescentes na seguinte ordem: $\text{K} > \text{N} > \text{Ca} > \text{P} > \text{Mg}$, com exceção da ‘Elisa’ que apresentou valor de Ca maior do que de N e valor de Mg maior do que de P (Tabela 4.6). Resultados que corroboram com os estudos de Verdade et al. (2003) e de Aquino et al. (2007) que observaram a extração de nutrientes em plantas de alface seguindo tal ordem decrescente: $\text{K} > \text{N} > \text{Ca} > \text{P} > \text{Mg} > \text{S}$. Portanto, o potássio é o nutriente mais exigente na cultura da alface, embora não faça parte de nenhuma substância é o

mais importante elemento em quantidade absorvida. Este elemento age na planta principalmente como ativador enzimático, regulador da abertura e fechamento dos estômatos, resistência dos vegetais às geadas, regulador do turgor celular e responsável pela qualidade dos produtos de maneira geral.

Tabela 4.6 – Comparação do teor foliar de macronutrientes (g/kg^{-1}) entre as cultivares de alface. Londrina, UEL, 2012.

	N	P	K	Ca	Mg
Cultivares					
Lucy Brown	24,75 ab	6,47 a	75,00 a	17,87 b	6,47 b
Vanda	23,43 b	6,75 a	67,67 ab	15,29 b	5,81 b
Elisa	22,53 b	7,16 a	66,67 b	24,22 a	9,19 a
Romana	28,44 a	7,13 a	73,00 ab	14,11 b	5,42 b
C.V. (%)	12,04	6,82	6,87	19	18,17
D.M.S.	4,93	0,77	8,01	5,61	2,02

Médias seguidas por letras minúsculas iguais, na coluna, não diferem entre si no nível de 5% de significância pelo teste de Tukey
D.M.S. – Diferença mínima significativa para as médias nas colunas

No aspecto geral de cada cultivar, as plantas não apresentaram diferenças significativas no teor de cobre e boro. A ‘Elisa’ sobressaiu-se em relação às demais quanto ao teor de Zn e Mn, não diferindo estatisticamente das cvs. Vanda e Romana em relação ao Mn (Tabela 4.7).

Tabela 4.7 – Comparação do teor foliar de micronutrientes e silício (mg/kg^{-1}) entre as cultivares de alface. Londrina, UEL, 2012.

	Cu	Zn	B	Mn	Si
Cultivares					
Lucy Brown	2,97 a	55,92 b	35,59 a	111,97 b	79,90 b
Vanda	2,20 a	56,67 b	34,81 a	137,23 ab	66,54 b
Elisa	2,61 a	77,24 a	36,60 a	179,40 a	208,95 a
Romana	2,88 a	53,16 b	35,00 a	165,77 ab	166,43 a
C.V. (%)	32,1	16,16	6,74	27,02	22,05
D.M.S.	1,41	16,22	3,95	66,34	47,54

Médias seguidas por letras minúsculas iguais, na coluna, não diferem entre si no nível de 5% de significância pelo teste de Tukey
D.M.S. – Diferença mínima significativa para as médias nas colunas

4.5 CONCLUSÕES

O teor de silício na alface dependeu da cultivar e não da dose de silicato de cálcio aplicada.

A ‘Lucy Brown’ apresentou maior massa fresca da parte aérea nas plantas adubadas com silicato de cálcio

A ‘Lucy Brown’ tratada com silicato de cálcio apresentou maior teor foliar de B, em relação às plantas da mesma cultivar não tratadas com este produto.

As cultivares Lucy Brown, Vanda e Romana acumularam macronutrientes na seguinte ordem decrescente: $K > N > Ca > P > Mg$.

A ‘Elisa’ acumulou macronutrientes na seguinte ordem decrescente: $K > Ca > N > Mg > P$.

Não há formação de corpos silicosos em alface.

4.6 REFERÊNCIAS

ANDRADE, F. A.; ANDRADE, C. G. T. J.; MIGLIORANZA, E. Detecção de sílica em folha bandeira de trigo. **Sêmima: Ciências Agrárias** . No prelo 2012.

AQUINO, L. A.; PUIATTI, M.; ABAURRE, M. E. O.; CECON, P. R.; PEREIRA, P. R. G.; PEREIRA, F. H. F.; CASTRO, M. R. S. Produção de biomassa, acúmulo de nitrato, teores e exportação de macronutrientes da alface sob sombreamento. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 25, n. 3, jul./set., 2007

ÁVILA, F. W.; BALIZA, D. P.; FAQUIN, V.; ARAÚJO, J. L.; RAMOS, S. J. Interação entre silício e nitrogênio em arroz cultivado sob solução nutritiva. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 2, p. 184-190, abr./jun. 2010.

CARMO, C. A. F. S.; ARAÚJO, W. S.; BERNARDI, A. C. C.; SALDANHA, M. F. C. Métodos de análise de tecidos vegetais utilizados na Embrapa Solos. **Circular Técnica 6**, 2000.

COSTA, L. M.; GUEDES, I. M. R.; MORRIS, L. A.; WEST, L.; OLIVEIRA, A. P. Biogeochemistry of silica phytoliths in agriculture. In: **Silicon in Agriculture Conference**, 3., Uberlândia, 2005. Proceedings... Uberlândia, Universidade Federal de Uberlândia, 2005. p.23-25.

COSTA, L. M. ; TRONTO, J. ; MOREAU, M. S. ; MOREAU, A. M. S. S. Estabilidade Físico-Química e Fracionamento da Sílica Biogênica. In: RODRIGUES, F. A. (Org.). **Silício na Agricultura**. 1. ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2010. v. 1. p. 89-109.

DATNOFF, L. E.; RODRIGUES, F. A.; SEEBOLD, K. W. Silicon and Plant Nutrition. In: DATNOFF, L. E.; ELMER, W.H., HUBER, D.M. (Ed.) **Mineral Nutrition and Plant Disease**. Saint Paul MN. APS Press, 2007. p. 233-246.

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras: FAEPE. 1997. 227 p.

FARIA, R. J. 2000. **Influência do silicato de cálcio na tolerância do arroz de sequeiro ao déficit hídrico do solo**. 47p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

FERREIRA, R. L. F.; SOUZA, R. J.; CARVALHO, J. G.; ARAÚJO NETO, S. E.; MENDONÇA, V.; WADT, P. G. S. Avaliação de cultivares de alface adubadas com silicato de cálcio em casa-de-vegetação. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 5, set./out. 2010.

FERREIRA, R. L. F.; SOUZA, R. J.; CARVALHO, J. G.; ARAÚJO NETO, S. E.; YURI, J. E. Avaliação de cultivares de alface adubadas com Silifértil®. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 22, n. 2, p. 5-10, abr./jun. 2009

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo Manual de Olericultura: Agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2003.

GARRONE, R.; SIMPSON, T. L.; POTTU-BOUMENDIL, J. Ultrastructure and deposition of silica in sponges. In: SIMPSON, T.L.; VOLCANI, B.E., (Ed.). **Silicon and siliceous structure in biological systems**. New York, Springer-Verlag, 1981. p.453-493.

KLUTHCOUSKI, J.; NELSON, L. E. The effect of silicon on the manganese nutrition of soybeans (*Glycine max* (L.) Merrill). **Plant Soil**, v. 56, p. 157-160, 1980.

KORNDÖRFER, G. H.; DATNOFF, L. E. Adubação com silício: uma alternativa no controle de doenças de cana-de-açúcar e do arroz. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 70, p. 1-5, jun. 1995.

LANA, R. M. Q. et al. Efeito do silicato de cálcio sobre a produtividade e acumulação de silício no tomateiro. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 20, 2002. Suplemento 2.

LEITE, P. C. **Interação silício-fósforo em Latossolo Roxo cultivado com sorgo em casa de vegetação**. 1997. 87p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997.

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, jul./set. 2006.

MA, J. F.; TAKAHASHI, E. Soil, Fertilizer, and Plant Silicon Research in Japan. **Elsevier Science**. 2002.

MAHMOUDI, H.; KODDOUR, R.; HUANG, J.; NASRI, N.; OLFA, B.; M'RAH, S.; HANNOUFA, A.; LACHAÂL, M.; OUERGUI, Z. Varied tolerance to NaCl salinity is related to biochemical changes in two contrasting lettuce genotypes. **Acta Physiology Plant**, v. 33, p. 1613-1622, 2011.

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

NABLE, R. O.; LANCE, R. C. M.; CARTWRIGHT, B. Uptake of boron and silicon by barley genotypes with differing susceptibilities to boron toxicity. **Annals of Botany**, Oxford, v. 66, p. 83-90, 1990.

PINTO, S. I. C.; RAMOS, S. J.; ARAÚJO, J. L.; FAQUIN, V.; NOVAIS, C. B.; SILVA, K.; FURTINI NETO, A. E. Silício como amenizador da fitotoxicidade de zinco em plantas jovens de *Eucalyptus urophylla* cultivadas em solução nutritiva. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 33, n. 6, p. 1005-1014, 2009.

PIPERNO, D. R. **Phytolith: A comprehensive guide for archaeologists and paleocologists**. Lanham, AltaMira Press, 2006. 238 p.

RODRIGUES, A. B.; MARTINS, M. I. E. G.; ARAÚJO, J.A.C. de. Avaliação econômica da produção de alface em estufa. **Informações Econômicas**, São Paulo, v.27, n.3, p.27-35, mar. 1997.

RUNGE, F. The opal phytolith inventory of soils in Central Africa – Quantities, shapes, classification, and spectra. **Review of Paleobotany Palynol.**, v. 107, p. 23-53, 1999.

SENDULSKY, T.; LABOURIAU, L. G. Corpos silicosos de gramíneas dos Cerrados - I. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, n. 38, p. 159-185, 1966

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 Ciência do Solo** v. 25, p. 771-777, 2001.

SONOBE, K.; HATTORI, T.; A. N. P.; TSUJI, W.; ENEJI, E.; TANAKA, K.; INANAGA, S. Diurnal variations in photosynthesis, stomatal conductance and leaf water relation in sorghum grown with or without silicon under water stress. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 32, n. 3, p. 433-442, 2009.

TAKAHASHI, E.; MIYAKE, Y. **Silica and plant growth**. In: Proceedings International Seminar on Soil Environment and Fertilty Managment in Intensive Agriculture. Tokio: Nippon Dojohiryō Gakkai, 1997. p.603-611.

VERDADE, S. B.; BOLONHEZI, D.; FURLANI, P. R.; OLIVEIRA, M. V. Estimativa de consumo de água e extração de nutrientes em cultivares de alface no sistema hidropônico NFT. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29, 2003, Ribeirão Preto. **Anais...** CD-ROM.

VOOGT, W.; SONNEVELD, C. 2001. Silicon in horticultural crops grown in soilless culture. In: DATNOFF LE; SNYDER GH; KORNDORFER GH (Ed.). **Silicon in Agriculture**. London: Elsevier Science B.V. p.115-131.

WAGNER JÚNIOR, A.; DINIZ, E. R.; SANTOS, C. B.; GOMES, S. A.; NEGREIROS, J. R. S.; LAVIOLA, B. G.; MARTINEZ, H. E. P.; PEREIRA, P. R. G.; FONTES, P. C. R. Influência da relação K:N na produtividade e concentração de nutrientes de três cultivares de alface em cultivo hidropônico. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 53, n. 306, p. 156-163, 2006.

5 CONCLUSÕES GERAIS

A ‘Lucy Brown’ alcançou maior massa fresca e seca da parte aérea na dose de 2,67 t.ha⁻¹ de silicato de cálcio.

A ‘Vanda’ obteve maior massa seca e fresca da parte aérea com as doses de 0 e 4 t.ha⁻¹ de silicato de cálcio, respectivamente.

A ‘Lucy Brown’ apresentou maiores teores de P, K, Si e N em relação à ‘Vanda’.

A ‘Vanda’ apresentou maiores teores de Mg, Ca e Zn em relação à ‘Lucy Brown’.

O silicato de cálcio não favoreceu a absorção de nutrientes para a ‘Lucy Brown’.

As doses 2,67 e 4 t.ha⁻¹ de silicato de cálcio aumentaram os teores de Mn e B e diminuíram o teor de Cu na ‘Vanda’.

O teor de silício na alface dependeu da cultivar e não da dose de silicato de cálcio aplicada.

A ‘Lucy Brown’ apresentou maior massa fresca da parte aérea nas plantas adubadas com silicato de cálcio

A ‘Lucy Brown’ tratada com silicato de cálcio apresentou maior teor foliar de B, em relação às plantas da mesma cultivar não tratadas com este produto.

As cultivares Lucy Brown, Vanda e Romana acumularam macronutrientes na seguinte ordem decrescente: K>N>Ca>P>Mg.

A ‘Elisa’ acumulou macronutrientes na seguinte ordem decrescente: K>Ca>N>Mg>P.

Não há formação de corpos silicosos em alface.

REFERÊNCIAS

- AGRIANUAL. **Anuário Estatístico da Agricultura Brasileira**. São Paulo: FNP Consultoria e Comércio, p. 128, 2004.
- AGRIANUAL. **Anuário da agricultura brasileira**. São Paulo: AgraFNP, 2010. p. 348.
- ALEXANDER, M. Nitrification. In: BARTHOLOMEN, W.V.; CLARK, F.E. (Ed.). **Soil Nitrogen**. Madison: American Society of Agronomy, 1965. p.307-343.
- ANDRADE JÚNIOR, A.S.; KLAR, A.E. Manejo da irrigação da cultura da alface (*Lactuca sativa* L.) através do Tanque Classe A. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 54, n.1-2, jan./ago. 1997.
- AQUINO, L. A.; PUIATTI, M.; ABAURRE, M. E. O.; CECON, P. R.; PEREIRA, P. R. G.; PEREIRA, F. H. F.; CASTRO, M. R. S. Produção de biomassa, acúmulo de nitrato, teores e exportação de macronutrientes da alface sob sombreamento. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 25, n. 3, jul./set. 2007.
- ARAÚJO, T. S.; FIDELIS FILHO, J.; KUMAR, K. K.; RAO, T. V. R. Crescimento de alface-americana em função dos ambientes, épocas e graus-dias. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 5, n. 4, p. 441-449, out./dez. 2010.
- ARRUDA JÚNIOR, S. J. ; MARROCOS, N. R. M. ; BEZERRA NETO, E. **Absorção de N, P e K por duas variedades de alface cultivadas hidroponicamente..** In: 43 Congresso Brasileiro de Olericultura, 2003, Recife. CD-ROM do Evento, 2003. v. 21.
- ÁVILA, F. W.; BALIZA, D. P.; FAQUIN, V.; ARAÚJO, J. L.; RAMOS, S. J. Interação entre silício e nitrogênio em arroz cultivado sob solução nutritiva. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 2, p. 184-190, abr./jun. 2010.
- BIASI, L. A.; LIMA, M. R.; GABARDO, N. P.; SCHMID, M. L.; MARTHAUS, P. S.; ZAMBON, F. R. A. Competição de cultivares de alface na região metropolitana de Curitiba. **Horticultura Brasileira**, v.9, n.1, p.14-15, 1991.
- BIRCHALL, J. D. The essentiality of silicon in biology. **Chemical Society Reviews**, Cambridge, v. 24, n. 5, p. 351-357, oct. 1995.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas. **Horticultura**. 2007. Disponível em: <<http://www.gpp.pt/pbl/diagnosticos/subfileiras/Horticultura.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2011.
- CAMARGO, A. M. M. M. P.; CAMARGO, F. P.; CAMARGO FILHO, W. P. Distribuição geográfica da produção de hortaliças no estado de São Paulo: participação no País, concentração regional e evolução no período 1996-2006. **Informações Econômicas-IEA**, São Paulo, v. 38, n. 1, jan., 2008.
- CAMARGO FILHO, W. P.; MAZZEI, A. R. Hortaliças prioritárias no planejamento da produção orientada: estacionalidade da produção e dos preços. **Informações Econômicas-IEA**, São Paulo, v.24, n.12, 1994.

CAMARGO FILHO, W. P.; CAMARGO, F. P. Planejamento da produção sustentável de hortaliças folhosas: organização das informações decisórias ao cultivo. **Informações Econômicas-IEA**, São Paulo, v.38, n.3, mar. 2008.

CAMPOS, A. C.; LABOURIAU, L. G. Corpos silicosos de gramíneas dos cerrados – II. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, n. 4, p. 143-151, 1969.

CARVALHO, R.; FURTINI NETO, A. E.; CURI, N.; FERNANDES, L. A.; OLIVEIRA JÚNIOR, A. C. Dessorção de fósforo por silício em solos cultivados com eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 1, p. 69-74, 2000.

CARVALHO, M. P.; ZANÃO JÚNIOR, L. A.; GROSSI, J. A. S.; BARBOSA, J. G. Silício melhora produção e qualidade do girassol ornamental em vaso. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 8, p. 2394-2399, nov. 2009.

CASEY, W. H.; KINRADE, S. D.; KNIGHT, C. T. G.; RAINS, D. W.; EPSTEIN, E. Aqueous silicate complexes in wheat, *Triticum aestivum* L. **Plant Cell and Environment**, Oxford, v. 27, n. 1, p. 51-54, jan. 2004.

COSTA, L. M.; GUEDES, I. M. R.; MORRIS, L. A.; WEST, L.; OLIVEIRA, A.P. Biogeochemistry of silica phytoliths in agriculture. In: Silicon in Agriculture Conference, 3., Uberlândia, 2005. **Proceedings...** Uberlândia, Universidade Federal de Uberlândia, 2005. p.23-25.

COSTA, L. M.; TRONTO, J.; MOREAU, M. S.; MOREAU, A. M. S. S. . **Estabilidade Físico-Química e Fracionamento da Sílica Biogênica**. In: Fabrício Ávila Rodrigues. (Org.). Silício na Agricultura. 1. ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2010. v. 1, p. 89-109.

CUNHA, K. P. V.; NASCIMENTO, C. W. Silicon effects on metal tolerance and structural changes in maize (*Zea mays* L.) grown on a cadmium and zinc enriched soil. **Water Air Soil Pollution**, v. 197, p. 323-330, 2009.

DATNOFF, L. E.; RODRIGUES, F. A.; SEEBOLD, K. W. Silicon and Plant Nutrition. In: DATNOFF, L.E.; ELMER W.H.; HUBER, D.M. (Ed.) **Mineral Nutrition and Plant Disease**. Saint Paul MN. APS Press, 2007. p. 233-246.

DEREN, L. W.; DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H. Variable silicon content of rice cultivars grown on everglades histosols. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 15, n. 11, p. 2363-2368, nov. 1992.

DEREN, C. W.; GLAZ, B.; SNYDER, G. H. leaf-tissue silicon content of sugarcane genotypes grown on Everglades Histosols. **Journal of Plant Nutrition**, v.16, p.2273-2280, 1993.

DE DATTA, S. K. **Principles and practices of Rice production**. New York: John Willey, 1981. 618 p.

DIOS-DELGADO, I. Aplicaciones foliares de calcio y silicio en la incidencia de mildiu en lechuga. **Terra : Organo Científico de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo**, v. 24, n. 1, p. 91-98, jan./mar. 2006.

EXLEY, C.; CHAPPELL, J. S.; BIRCHALL, J. D. A. A mechanism for acute aluminium toxicity in fish. **Journal of Theoretical Biology**, London, v. 151, n. 3, p. 417-428, ago. 1998.

FILGUEIRA, F. A. R. **Manual de Olericultura**: cultura e comercialização de Hortaliças v. 2. São Paulo: Agronômica Ceres, 1982. 357 p.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo Manual de Olericultura**: Agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. 2.ed. Viçosa: UFV, 2003.

FENG, J.; SHI, Q.; WANG, X.; WEI, M.; YANG, F.; XU, H. Silicon supplementation ameliorated the inhibition of photosynthesis and nitrate metabolism by cadmium (Cd) toxicity in *Cucumis sativus* L. **Scientia Horticulturae**, v. 123, p. 521-530, 2010.

FERREIRA, R. L. F.; SOUZA, R. J.; CARVALHO, J. G.; ARAÚJO NETO, S. E.; YURI, J. E. Avaliação de cultivares de alface adubadas com Silifétil®. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 22, n. 2, p. 5-10, abr./jun., 2009.

FERREIRA, R. L. F.; SOUZA, R. J.; CARVALHO, J. G.; ARAÚJO NETO, S. E.; MENDONÇA, V.; WADT, P. G. S. Avaliação de cultivares de alface adubadas com silicato de cálcio em casa-de-vegetação. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 5, set./out. 2010.

FRIESEN, D. K.; SANZ, J. I.; CORREA, F. J.; WINSLOW, M. D.; OKADA, K.; DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H. **Silicon deficiency of upland rice on highly weathered savanna soils in Colombia. I. Evidence of a major yield constraint**. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL DE ARROZ PARA A AMÉRICA LATINA E PARA O CARIBE, 9., 1994, Goiânia, **Anais...Goiânia**, 1994. 1 CD-ROM.

FURLANI, A. M. C.; FURLANI, P. R.; BATAGLIA, O. C.; HIROCE, R.; GALLO, J. R. Composição mineral de diversas hortaliças. **Bragantia**, Campinas, v.37, p. 33-37,1978.

GARCIA, L. L. C.; HAAG, H. P.; MINAMI, K.; DECHEN, A. R. Nutrição mineral de hortaliças. XLIX. Concentração e acúmulo de macronutrientes pela alface (*Lactuca sativa* L.) cv. Brasil 48 e Clausess Aurélia. **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, Piracicaba, v.39, n.1, p. 455-484, 1982.

GARIBALDI, A.; GILARDI, G.; COGLIATI, E. E.; GULLINO, M. L. Silicon and increased electrical conductivity reduce downy mildew of soilless grown lettuce. **European Journal of Plant Pathology**, Published online: 08 Sept. 2011.

GARRONE, R.; SIMPSON, T. L.; POTTU-BOUMENDIL, J. Ultrastructure and deposition of silica in sponges. In: SIMPSON, T.L.; VOLCANI, B.E. (Ed.). **Silicon and siliceous structure in biological systems**. New York, Springer-Verlag, 1981. p.453-493.

GENESIS AND A SCIENCE. **Observations of Science and Introduction of Agriculture Genesis 2:5**. 2009. Disponível em:

<<http://www.practicallydible.com/edible.nsf/Pages/lettuce>> Acesso em: 14 jul. 2011.

GIONGO, V.; BOHNEN, H. Relação entre alumínio e silício em genótipos de milho resistente e sensível a toxidez de alumínio. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 27, n. 3, p. 348-356, maio/jun. 2011.

GOTO, R. A cultura da alface. In: GOTO, R.; TIVELLI, S.W. (Org.) **Produção de hortaliças em ambiente protegido: condições subtropicais**. São Paulo: UNESP, 1998. p. 137-159.

GOUSSAIN, M. M.; MORAES, J. C.; CARVALHO, J. G.; NOGUEIRA, N. L.; ROSSI, M. L. Efeito da aplicação de silício em plantas de milho no desenvolvimento biológico da lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 31, n. 2, p. 305-310, abr./jun. 2002.

HAMADA, E.; TESTEZLAF, R. Desenvolvimento e produtividade da alface submetida a diferentes lâminas de água através da irrigação por gotejamento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 9, p. 1201-1209, set. 1995.

HANIF, R.; IQBAL, Z.; IQBAL, M.; HANIF, S.; RASHEED, M. Use of vegetables as nutritional food: Role in human health. **Journal of Agricultural and Biological Science, Asian**, v. 01, n. 01, p. 18-22, July. 2006.

HAYWARD, D. M.; PARRY, D. W. Electron-probe microanalysis studies of silica distribution in barley (*Hordeum sativum* L.). **Anatomy Botanic**, v. 37, p. 579-591, 1973.

IM, S. E.; YOON, H.; NAM, T. G.; HEO, H. J.; LEE, C. Y.; KIM, D. O. Antineurodegenerative Effect of Phenolic Extracts and Caffeic Acid Derivatives in Romaine Lettuce on Neuron-Like PC-12 Cells. **Journal of Medicinal Food**, v. 13, n. 4, p. 779- 784, 2010.

JACKSON, M. L. Chemical composition of soils. In: BEAR, F. E. (Ed.) **Chemistry of the soil**. 2. ed. New York: Reinhold Publishing Corporation, 1964. p. 71-141.

JACKSON, B. P.; MILLER, W. P. Soluble arsenic and selenium species in fly ash/organic waste amended soils using ion chromatography–inductively coupled plasma mass spectrometry. **Environmental Science & Technology**, v.33, n.2, p.270-275, 1999.

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

JOUBERT, T. G. G.; COERTZE, A. F. **The cultivation of lettuce**. Pretoria, Horticultural Research Institute, Pretoria, 1982. 7p.

KAYA, C.; TUNA, A. L.; SONMEZ, O.; INCE, F.; HIGGS, D. Mitigation effects of silicon on maize plants grown at high zinc. **Journal of Plant Nutrition**, v. 32, p. 1788-1798, 2009.

KORNDÖRFER, G. H.; BENEDINI, M.; PAULA, F. B.; CHAGAS, R. C. S. Cimento como fonte de silício para a cana-de-açúcar. **Stab**, v.19, p.30-33, 2000.

KORNDÖRFER, G. H.; COELHO, N. M.; SNYDER, G. H.; MIZUTANI, C. T. Avaliação de métodos de extração de silício para solos cultivados com arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 1, p. 101-106, jan./mar. 1999a.

KORNDÖRFER, G. H.; DATNOFF, L. E. Adubação com silício: uma alternativa no controle de doenças de cana-de-açúcar e do arroz. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 70, p. 1-5, jun. 1995.

KORNDÖRFER, G. H.; SNYDER, G. H.; ULLOA, M.; PERDOMO, R.; POWELL, C.; DEREN, C.; DATNOFF, L. E. **Soil and Plant silicon calibration for rice production**. Editora, p. 14-5, 1999b (Manuscript prepared for the Rice Council Meeting, Belle Glade).

KORNDÖRFER, G. H.; OLIVEIRA, L. A. Uso do silício em culturas comerciais. In: RODRIGUES, F. A. (Org.). **Silício na Agricultura**. 1. ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2010. v. 1. p. 3-25.

LANNING, F. C. Nature and distribution of silica in strawberry plants. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Geneva, v. 76, p. 349-358, 1960.

LANZARINI, R. O. ; DIAS, E. F. S. ; VAHL, L. C. Absorção de nutrientes pelo arroz em função da concentração de silício na solução nutritiva. In: XIII CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 2004, Pelotas. **Anais...** Pelotas, 2004.

LIMA, A. A. de.; MIRANDA, E. G. de.; CAMPOS, L. Z. de O.; CUSNATO JÚNIOR, W. H.; MELLO, S. da C.; CAMARGO, M. S. de. Competição das cultivares de alface Vera e Verônica em dois espaçamentos. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 22, n. 2, Abr./Jun., 2004.

LIMA FILHO, O. F.; LIMA, M. T. G.; TSAI, S. M. O silício na agricultura. **Informações agrônômicas**, n. 87, p.1-7, 1999 (Encarte técnico).

LINDQVIST, K. **On the origin of cultivated lettuce**. Hilleshög sugar beet breeding institute, Landskrona, Sweden. (Received April 5th, 1960), p.319-350.

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, July/Sept, 2006.

MA, J. F.; MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Silicon as a beneficial element for crop plant. In: DATNOFF, L. E.; KORNDÖRFER, G. H.; SNYDER, G. **Silicon in Agriculture**. New York: Elsevier science, p. 17-39, 2001.

MAHMOUDI, H.; KODDOUR, R.; HUANG, J.; NASRI, N.; OLFA, B.; M'RAH, S.; HANNOUFA, A.; LACHAÂL, M.; OUERGUI, Z. Varied tolerance to NaCl salinity is related to biochemical changes in two contrasting lettuce genotypes. **Acta Physiology Plant**, v. 33, p. 1613-1622, 2011.

MAJUMDER, N. D.; RAKAHIT, S. C.; BORTHANKUR, D. N. Genetics of silica uptake in selected genotypes of rice. **Plant Soil** v. 88, p. 449–453, 1985

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional de plantas: princípio e aplicações**. 2. ed. Piracicaba : Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 315 p.

MARTINS, C. M.; MEDEIROS, J. F.; LOPES, W. A. R.; BRAGA, D. F.; AMORIM, L. B. Curva de absorção de nutrientes em alface hidropônica. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 22, n. 4, p.123-128, out-dez. 2009.

MATYCHENKOV, V. V.; PINSKLY, D. L.; BOCHARNIKOVA, Y. A. Influence of mechanical compaction of soils on the state and form of available silicon. **Eurasian Soil Science**, Silver Spring, v. 27, n. 12, p. 58-67, Dec. 1995.

MENDONÇA, I. F.; BEZERRA-NETO, E.; BARRETO, L. P.; ANDRADE, P. K. B.; OLIVEIRA, S. K. G.; SANTOS, D. S. (2008). **Teores de carboidratos solúveis totais e proteína solúvel em plantas de alface cultivadas em diferentes soluções nutritivas.**

Disponível em:

<http://www.abhorticultura.com.br/biblioteca/arquivos/Download/Biblioteca/44_653.pdf>.

Acesso em: 23 nov. 2008.

MIRANDA, J. R. P.; CARVALHO, J. G.; SANTOS, D. R.; FREIRE, A. L. O.; BERTONI, J. C.; MELO, J. R. M.; CALDAS, A. L. Silício de cloreto de sódio na nutrição mineral e produção de matéria seca de plantas de moringa (*Moringa oleifera* LAM.). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 957-965, 2002.

NABLE, R. O.; LANCE, R. C. M.; CARTWRIGHT, B. Uptake of boron and silicon by barley genotypes with differing susceptibilities to boron toxicity. **Annals of Botany**, Oxford, v. 66, p. 83-90, 1990.

NESPOLI, A.; THEODORO, V. C. A.; SANTOS, C. L.; SEABRA JÚNIOR, S.; LALLA, J. G. Desempenho de cultivares de alface tipo crespa sob altas temperaturas. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 27, n. 2, ago. 2009. CD-ROM.

NEUMANN, D.; NIEDEN, U. Z. Silicon and heavy metal tolerance of higher plant. **Phytochemistry**, v. 56, p. 685-692, 2001.

NICOLLE, C.; CARDINAULT, N.; GUEUX, E.; JAFFRELO, L.; ROCK, E.; MAZUR, A.; AMOUROUX, P.; RÉMÉSY, C. Health effect of vegetable-based diet: lettuce consumption improves cholesterol metabolism and antioxidant status in the rat. **Clinical Nutrition**, v. 23, p. 605-614, 2004.

PÁGINA RURAL. **Alface, uma planta frágil que exige cuidados.** 2003. Disponível em: <<http://www.paginarural.com.br/artigo/660/alface-uma-planta-fragil-que-exige-cuidados>>. Acesso em: 18 de setembro 2011.

PAIM, L. A.; CARVALHO, R.; ABREU, C. M. P.; GUERREIRO, M. C. Estudo dos efeitos do silício e do fósforo na redução da disponibilidade de metais pesados em área de mineração. **Química Nova**, Lavras, v. 29, n. 1, p. 28-33, 2006.

PARANÁ. Secretaria da Agricultura e do Abastecimento do Paraná. **Preços médios semanais recebidos pelos agricultores.** 2011. Disponível em:

<<http://www.seab.pr.gov.br/arquivos/File/deral/prp.xls>>. Acesso em: 25 set. 2011a.

PARANÁ. Secretaria da Agricultura e do Abastecimento do Paraná. **Preços médios nominais mensais recebidos pelos agricultores do Paraná.** 2011. Disponível em:

<<http://www.seab.pr.gov.br/arquivos/File/deral/pmrp.xls>>. Acesso em: 25 set. 2011b

PARANÁ. Secretaria da Agricultura e do Abastecimento do Paraná. **Novas técnicas para adubar alface aumentam sua produtividade e diminuem os custos.** 2011. Disponível em:

<<http://www.seab.pr.gov.br/modules/noticias/article.php?storyid=4308>>. Acesso em: 25 set. 2011c.

PEREIRA, H. S.; ASSIS, M. H.; KORNDÖRFER, G. H. Métodos para análise de solos e fertilizantes para silício. In: Fabrício Ávila Rodrigues. (Org.). **Silício na Agricultura**. 1. ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2010. v. 1, p. 155-169.

PEREIRA, H. S.; VITTI, G. C.; KORNDÖRFER, G. H. Comportamento de diferentes fontes de silício no solo e na cultura do tomateiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 1, p. 101-108, jan./fev. 2003.

PIPERNO, D. R. Phytolith analysis: an archaeological and geological perspective. **Academic Press**, London. 1988.

PIPERNO, D. R. Phytolith: A comprehensive guide for archaeologists and paleocologists. **Lanham**, AltaMira Press, 2006. 238p.

PORTO, V. C. N. **Efeitos de fontes de matéria orgânica na produção de alface**. Mossoró: ESAM, 1996. 35 p. (monografia).

POZZA, A. A. A.; ALVES, E.; POZZA, E. A.; CARVALHO, J. G.; MONTANARI, M.; GUIMARÃES, P. T. G.; SANTOS, D. M. Efeito do silício no controle da cercosporiose em três cultivares de cafeeiro. **Fitopatologia Brasileira**. Brasília, v. 29, n. 2, mar./abr. 2004.

PROPLANTA. **Alface americana ‘Lucy Brown’**. 2011. Disponível em: <http://www.proplanta.net/pro-produtos/sementes/alf_lucy.html>. Acesso em: 30 set. 2011.

RADIN, B.; REISSER JÚNIOR, C.; MATZENAUER, R.; BERGAMAS, H. Crescimento de cultivares de alface conduzidas em estufa e a campo. **Horticultura Brasileira**, Campinas, v. 22, n. 2, p. 178-181, 2004.

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

REIS, M. A.; ARF, O.; SILVA, M. G.; SÁ, M. E.; BUZETTI, S. Aplicação de silício em arroz de terras altas irrigado por aspersão. **Acta Scientiarum Agronomy**. , Maringá, v. 30, n. 1, p. 37-43, 2008.

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

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, July/Sept. 2007.

RESENDE, G. M.; YURI, J. E.; SOUZA, R. J. Épocas de plantio e doses de zinco em alface tipo americana. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 26, n. 4, out./dez. 2008.

- RODRIGUES, A. B. C.; CAMARGOS, S. L.; SCARAMUZZA, W. L. P. M.; SCARAMUZZA, J. F.; ROCHA, F.; PAIXÃO, C. M. Doses de silício no controle da toxidez de alumínio para a produção de massa seca em sorgo. **Uniciências**, v. 14, n. 2, p. 177- 186, 2010.
- ROGALLA, H.; RÖMHELD, V. Role of leaf apoplast in silicon-mediated manganese tolerance of *Cumumis sativus* L. **Plant, Cell and Environment**, v. 25, p. 549-555, 2002.
- RUNGE, F. The opal phytolith inventory of soils in Central Africa – Quantities, shapes, classification, and spectra. **Review of Paleobotany Palynol.**, v. 107, p. 23-53, 1999.
- SAKATANEWS. **Semeando informações**. 2005. Disponível em: <<http://www.sakata.com.br/docs/sakatanews01.pdf>>. Acesso em: 25 set. 2011.
- SANCHES, C. Growth and yield of crisphead lettuce under various shade conditions. **Journal of the American Society for Horticultural Science**. v. 114, n. 6, p. 884-890, 1989.
- SAVANT, N. K.; DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H. Depletion of plantavailable silicon in soils: a possible cause of declining rice yields. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 28, n. 13/14, p. 1245-1252, 1997.
- SÃO PAULO. Associação dos produtores e distribuidores de horti-fruti do Estado de São Paulo. **Revista Brasil Hortifrutí**, julho, 2011. Disponível em: <<http://www.aphortesp.com.br/noticias/quem-e-o-consumidor-brasileiro-de-frutas-e-hortalicas.html>>. Acesso em: 15 set. 2011b.
- SÃO PAULO. Instituto de Economia Agrícola. **Informações econômicas**. 2011. Disponível em: <http://ciagri.iea.sp.gov.br/nia1/Precos_Medios.aspx?cod_sis=4>. Acesso em: 23 set. 2011a.
- SÃO PAULO. **Sazonalidade dos produtos comercializados no ETSP**. 2011. Disponível em: <http://www.ceagesp.gov.br/produtos/epoca/produtos_epoca.pdf>. Acesso em: 16 set. 2011c.
- SÁVIO, F. L.; SILVA, G. C.; TEIXEIRA, I. R.; BORÉM, A. Produção de biomassa e conteúdo de silício em gramíneas forrageiras sob diferentes fontes de silicato. **Semina: Ciências Agrárias**. Londrina, v. 32, n. 1, p. 103-110, jan./mar. 2011.
- SEGOVIA, J. F. O.; ANDRIOLO, J. L.; BURIOL, G. A.; SCHNEIDER, F. M. Comparação do crescimento e desenvolvimento da alface (*Lactuca sativa* L.) no interior e no exterior de uma estufa de polietileno em Santa Maria,RS. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 27, n. 1, p. 37-41, 1997.
- SENDULSKY, T.; LABOURIAU, L. G. Corpos silicosos de gramíneas dos Cerrados - I. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, n. 38, p. 159-185, 1966.
- SHEAR, C. B. Calcium related disorders of fruits and vegetables. **Horticultural Science**, Alexandria, v.10, n.4, p. 361-365, 1975.

- SHEN, X.; LI, J.; DUAN, L.; LI, Z.; ENEJI, E. Nutrient Acquisition by Soybean Treated with and without Silicon under Ultraviolet-B Radiation. **Journal of Plant Nutrition**, v. 32, p. 1731-1743, 2009.
- 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 Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 771-777, 2001.
- SILVA, S. T.; LABOURIAU, L. G. Corpos silicosos de gramíneas dos Cerrados - III. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, n. 5, p. 167-182.
- SILVA, E. C.; LEAL, N. R.; MALUF, W. R. Avaliação de cultivares de alface sob altas temperaturas em cultivo protegido em três épocas de plantio na região norte-fluminense. **Ciência Agrotecnologia**, Lavras, v. 23, n. 3, p. 491-499, jul./set., 1999.
- SNYDER, G. H. Development of silicon soil test for Histosol-grown rice. **Belle Glade: Univ. Florida**, 1991. (EREC Res. Report).
- SOARES, J. D. R.; PASQUAL, M.; RODRIGUES, F. A.; VILLA, F.; CARVALHO, J. G. Adubação com silício via foliar na aclimatização de um híbrido de orquídea. **Ciência Agrotecnologia**. Lavras, v. 32, n. 2, p. 626-629, mar./abr., 2008.
- TERRA, S. B.; MARTINS, S. R.; FERNANDES, H. S.; DUARTE, G. B. Exportação de macronutrientes em alface cultivada no outono-inverno e na primavera com adubação orgânica em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.19, supl. jul. 2001. CD-ROM.
- TISDALE, S. L.; NELSON, W. L.; BESTON, J. D.; HAULIN, J. L. **Soil fertility and fertilizer**. New York: Macmillan, 1993, p.634.
- VERDADE, S. B.; BOLONHEZI, D.; FURLANI, P. R.; OLIVEIRA, M. V. Estimativa de consumo de água e extração de nutrientes em cultivares de alface no sistema hidropônico NFT. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29, 2003, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto, 2003. CD-ROM.
- VIDIGAL, S. M.; RIBEIRO, A. C.; CASALI, V. W. D.; FONTES, L. E. F. 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, 1995.
- VILELA, N. J.; HENZ, G. P. Situação atual da participação das hortaliças no agronegócio brasileiro e perspectivas futuras. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v.17, n.1, p.71-89, jan./abr. 2000.
- WATANABE, S.; FUJIWARA, T.; YONEYAMA, T.; HAYASHI, H. 2001. **Effects of silicon nutrition on metabolism and translocation of nutrients in rice plants**. In: HORST W.J. et al. (Ed.) Plant nutrition-Food security and sustainability of agro-ecosystems. p. 174-175. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands.
- WAGNER JÚNIOR, A.; DINIZ, E. R.; SANTOS, C. B.; GOMES, S. A.; NEGREIROS, J. R. S.; LAVIOLA, B. G.; MARTINEZ, H. E. P.; PEREIRA, P. R. G.; FONTES, P. C. R.

Influência da relação K:N na produtividade e concentração de nutrientes de três cultivares de alface em cultivo hidropônico. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 53, n. 306, p. 156-163, 2006.

WERNER, D.; ROTH, R. Silica metabolism. In: LÄUCHLI, A., BIELESKI, R.L (Ed). **Encyclopedia of plant physiology**. Berlin: Sprienger-Verlag, v. 15B, p.682-694, 1983 (New Series).

WILD, A. **Russel's soil conditions and plant growth**. 11. ed. London: Longman, 1988. 991p.

WILLIAMS, D. E.; VLAMIS, J. The effect of silicon on yield and manganese-54 uptake and distribution in the leaves of barley plants grown in culture solutions. **Plant Physiology**, n. 32, p. 404-409, 1957.

APÊNDICES

APÊNDICE A
Instalação do experimento



APÊNDICE B

Cultivares de alface utilizadas no experimento



‘Elisa’ (grupo Solta-Lisa)

‘Vanda’ (grupo Solta-Crespa)

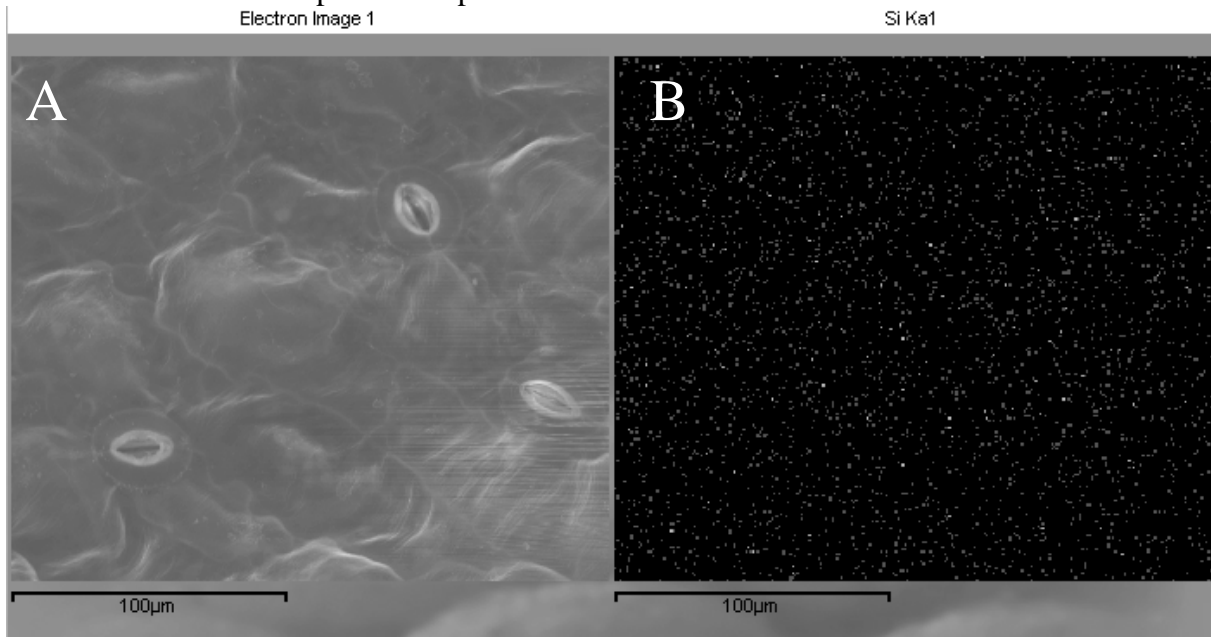


‘Lucy Brown’ (grupo Americana)

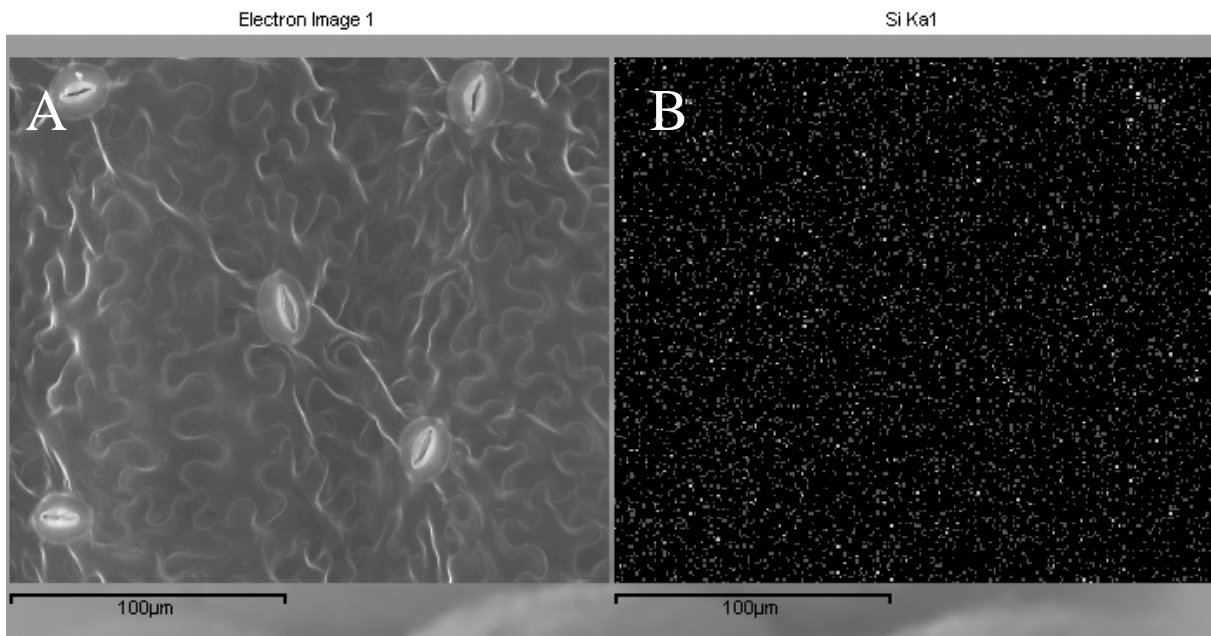
‘Romana’ (grupo Romana)

APÊNDICE C

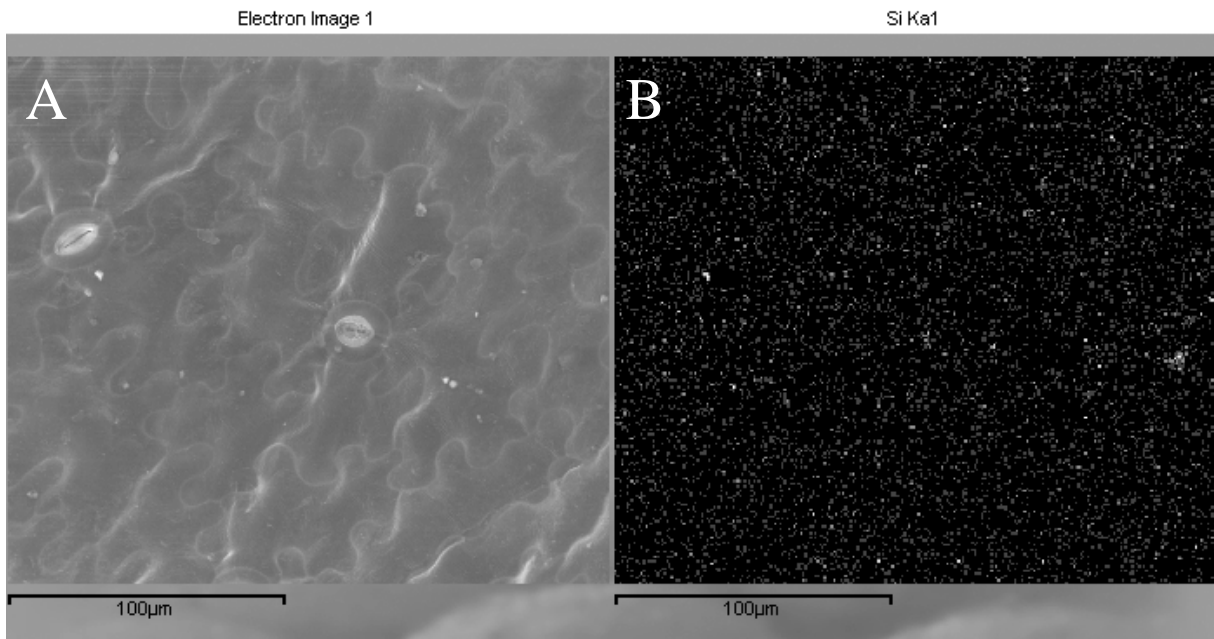
Mapeamento (Si Ka1) realizado no microscópio eletrônico de varredura do silício presente nos tecidos da epiderme superior das folhas das cultivares de alface estudadas



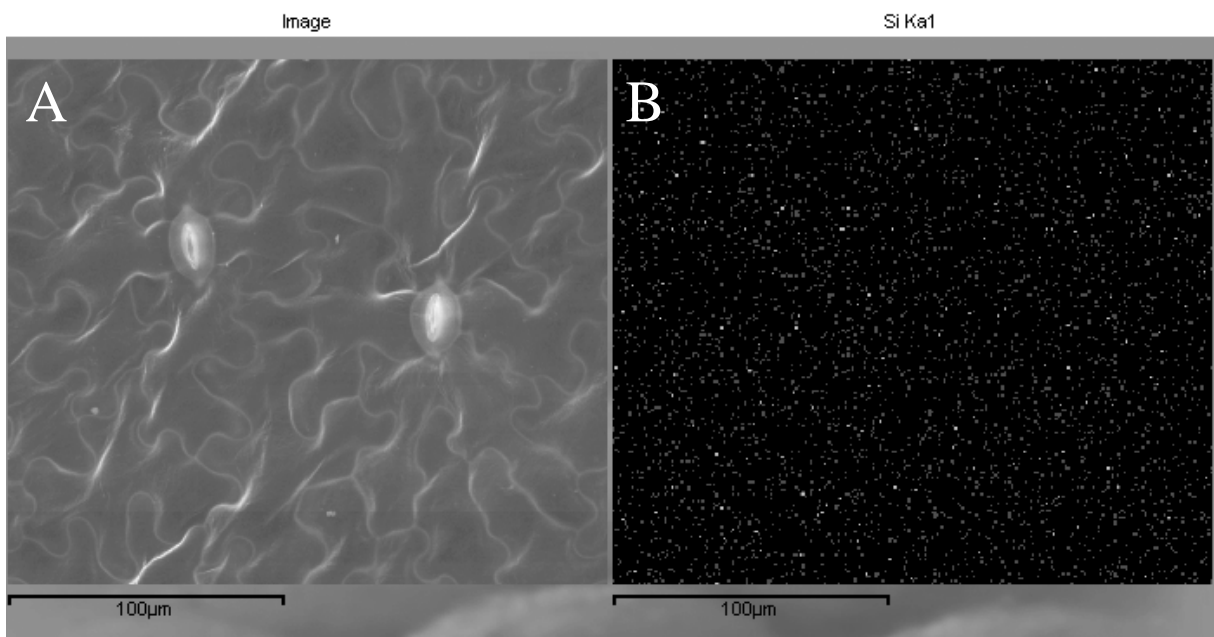
Eletromicrografia de varredura da epiderme superior da 'Lucy Brown' (A)
Eletromicrografia de varredura do mapeamento de silício na epiderme superior da 'Lucy Brown' (B)



Eletromicrografia de varredura da epiderme superior da 'Vanda' (A)
Eletromicrografia de varredura do mapeamento de silício na epiderme superior da 'Vanda' (B)



Eletromicrografia de varredura da epiderme superior da 'Elisa' (A)
Eletromicrografia de varredura do mapeamento de silício na epiderme superior da 'Elisa' (B)



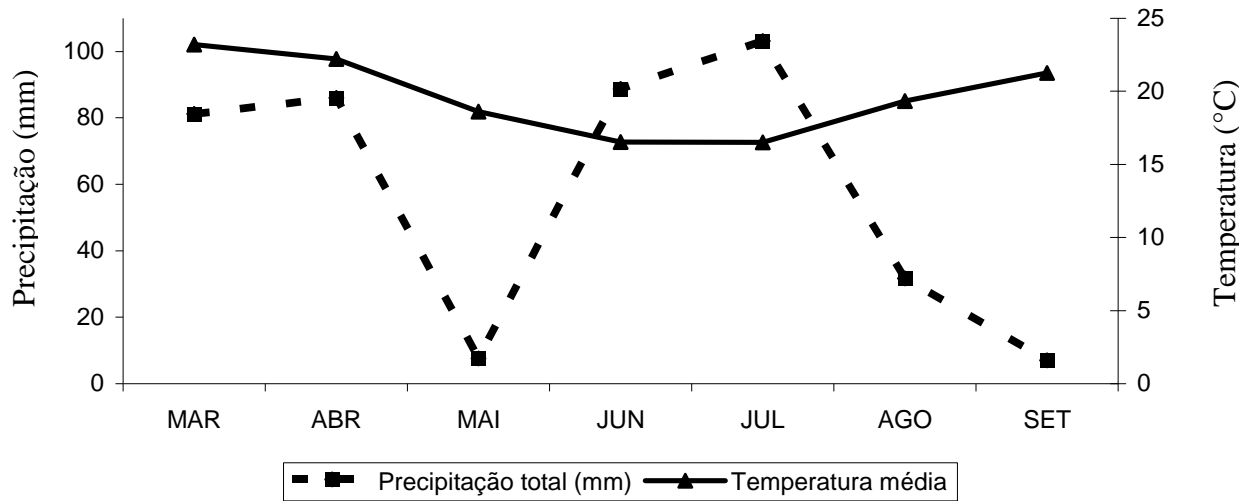
Eletromicrografia de varredura da epiderme superior da 'Romana' (A)
Eletromicrografia de varredura do mapeamento de silício na epiderme superior da 'Romana'
(B)

ANEXOS

ANEXO A

Precipitação total e temperatura média em Londrina-PR durante a condução do experimento

(Março 2011 a Setembro 2011).



Fonte: Instituto Agronômico do Paraná