

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL

**ABSORÇÃO E MOBILIDADE DO BORO EM PLANTAS DE
REPOLHO E DE COUVE-FLOR**

Adriana Ursulino Alves

Mestre em Agronomia - Fitotecnia

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL
Setembro de 2009

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL

**ABSORÇÃO E MOBILIDADE DO BORO EM PLANTAS DE
REPOLHO E DE COUVE-FLOR**

Adriana Ursulino Alves

Orientador: Prof. Dr. Renato de Mello Prado

Co-Orientador: Prof. Dr. Arthur Bernardes Cecílio Filho

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

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

Setembro de 2009

A474a Alves, Adriana Ursulino
Absorção e mobilidade do boro em plantas de repolho e de
couve-flor / Adriana Ursulino Alves -- Jaboticabal, 2009
x, 64 f. : il. ; 28 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias, 2009

Orientador: Renato de Mello Prado

Banca examinadora: Cassio Hamilton Abreu Junior, Francisco
Maximino Fernandes, Mara Cristina Pessoa da Cruz, Leila Trevizan
Braz.

Bibliografia

1. *Brassica oleracea* var. *capitata*. 2. *Brassica oleracea* var.
botrytis. 3. Micronutriente. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 635.34:631.81

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

unesp



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CÂMPUS DE JABOTICABAL
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: ABSORÇÃO E MOBILIDADE DO BORO EM PLANTAS DE REPOLHO E DE COUVE-FLOR.

AUTORA: ADRIANA URSULINO ALVES

ORIENTADOR: Dr. RENATO DE MELLO PRADO

Co-Orientador(a): Dr. ARTHUR BERNARDES CECÍLIO FILHO

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

Dr. RENATO DE MELLO PRADO

Dr. CASSIO HAMILTON ABREU JUNIOR

Dr. FRANCISCO MAXIMINO FERNANDES

Dra. MARA CRISTINA PESSÓA DA CRUZ

Dra. LEILA TREVIZAN BRAZ

Data da realização: 18 de setembro de 2009.

Presidente da Comissão Examinadora
Dr. RENATO DE MELLO PRADO

DADOS CURRICULARES DA AUTORA

ADRIANA URSULINO ALVES - nascida em Areia - PB no dia 27 de junho de 1978, filha de João Ursulino Alves e Maria de Lourdes dos Santos Alves. Em novembro de 2003, graduou-se em Engenharia Agrônômica pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB), em Areia, Paraíba, sendo bolsista de Iniciação Científica pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (PIBIC/CNPq). Em março de 2004, ingressou no programa de pós-graduação, em nível de Mestrado, pela mesma instituição que se graduou, concluindo o Mestrado em fevereiro de 2006. Em março de 2006, ingressou no programa de pós-graduação, em nível de Doutorado, pela Produção Vegetal na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Câmpus de Jaboticabal, SP, concluindo o Doutorado em setembro de 2009.

Desperte para as verdades superiores.

Não se iluda com as conquistas fáceis, com os prazeres transitórios, com as sensações efêmeras. Busque intensamente as coisas sólidas e duradouras, e para isso espalhe em volta de você alegria e otimismo, bondade e amor, que são as bases firmes e eternas da felicidade que jamais termina.

Só o amor constrói para a eternidade.

Carlos Torres Pastorino

Aos meus pais **João Ursulino Alves**
À minha mãe **Maria de Lourdes dos Santos Alves**
Aos meus avós **Antônio Ursulino Alves** e **Maria Cícera da Conceição** (“*in memoriam*”)
por todo amor, confiança e por serem exemplos de vida

DEDICO...

Aos meus irmãos, **Leonardo, Josinaldo, Leandro, Emília, Edna, Maria Cícera e Anarlete**
por todo incentivo, carinho e momentos de alegria;
Aos meus sobrinhos **Gysllayde, Mateus, Taís, Tales, Lucas e Maria Eduarda**
por me mostrarem a alegria de viver;
Ao **Edson de Almeida Cardoso**
por todo amor, apoio e companheirismo.
Amo vocês.

OFEREÇO...

Agradecimentos

A Deus por permitir a realização de mais um sonho.

A Universidade Estadual Paulista, Câmpus de Jaboticabal, ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia e aos Departamentos de Produção Vegetal e Solos e Adubos, pelo apoio e oportunidade concedidos na realização desse curso.

Ao meu orientador Prof. Dr. Renato de Mello Prado, pela orientação e apoio durante a execução deste trabalho.

Ao meu co-orientador Prof. Dr. Arthur Bernardes Cecílio Filho, pela orientação, ensinamentos e apoio do início ao fim deste trabalho.

À banca examinadora: Professores Doutores Cassio Hamilton Abreu Junior, Francisco Maximino Fernandes, Mara Cristina Pessôa da Cruz, Leila Trevizan Braz, pelas valiosas sugestões e correções.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão de Bolsa de Doutorado e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo auxílio à pesquisa processo nº 2007/53241-4.

Ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA-USP), em especial ao Prof. Dr. Antônio Enedi Boaretto, pela doação do ^{10}B e ao Prof. Dr. Cassio Hamilton Abreu Junior pelas análises no ICP-MS.

À FINEP, ao Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas, CENA/USP, de Piracicaba, SP, e ao projeto LARAFERT (projeto FINEP/MCT processo número 01.04.0389.00.), por possibilitar as análises isotópicas do ^{10}B por ICP-MS.

Ao Prof. Dr. José Carlos Barbosa, pelo auxílio nas análises dos dados, que muito contribuíram para execução deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Edson Luiz Mendes Coutinho, por ceder suas estufas para secagem do material vegetal.

A todos os profissionais que fizeram parte da minha vida acadêmica durante toda minha trajetória estudantil, em especial ao Prof. Dr. Ademar Pereira de Oliveira, por todos os ensinamentos, incentivos e exemplo de vida.

À Dona Maria Batista dos Santos por toda proteção, conselhos, orações e carinho, sendo fundamentais durante minha vida em Jaboticabal.

Ao Marcus André Ribeiro Correia e ao Ancélio Ricardo de Oliveira Gondim, pela amizade, convivência e intenso trabalho.

Ao anjo da minha vida, Anarlete Ursulino Alves, por todo amor, dedicação e sempre me acalmar nos momentos difíceis.

A Nádia por seus conselhos, preocupações e carinho, sendo uma mãe nos momentos em que a minha estava ausente.

Aos funcionários do Departamento de Solos e Adubos, em especial à Célia, à Cláudia e ao Dejair, pelo carinho, amizade e pela grande ajuda.

Aos funcionários do Departamento de Produção Vegetal, em especial à Sidinéia e ao Wagner, pela agradável convivência durante meu curso.

Aos funcionários do Setor de Olericultura e Plantas Aromático-Medicinais, Inauro, Sr. João, Tiago e Cláudio, pelo auxílio na execução dos experimentos.

As amigas de república: Thaís, Lúcia, Jaqueline, Tatiana e Amanda, e aos amigos da pós-graduação: Liliane, Cíntia, Danilo, Diego, Ivana, Flávia, Henrique, Thiago, Uliana, Milaine, Carlos, Sammy, Hamilton, Anderson, Renata, Juan, Gilson, Gilvaneide, Jean, Adriane, Laura, Ludmilla, por tornarem meus dias mais felizes.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho, meus sinceros agradecimentos.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	IX
SUMMARY.....	X
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 Importância da cultura do repolho e da couve-flor.....	3
2.2 Importância do boro na nutrição das plantas.....	4
2.3 Aplicação foliar de boro e tempo de absorção.....	8
2.4 Transporte e mobilidade do boro nas plantas.....	10
2.5 Espectrometria de massas com fonte de plasma.....	13
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	15
3.1 Localização dos experimentos.....	15
3.2 Caracterização dos híbridos.....	15
3.2.1 Híbrido 'Astrus' Plus.....	15
3.2.2 Híbrido 'Verona' 184.....	15
3.3 Descrição dos Experimentos.....	15
3.3.1 Experimentos 1 - Omissão de boro em plantas de repolho e de couve-flor.....	16
3.3.2 Experimentos 2 - Dose de boro via foliar, no desenvolvimento e no teor de B de plantas de repolho e de couve-flor.....	18
3.3.3 Experimentos 3 - Tempo de absorção de boro, aplicado via foliar, em plantas de repolho e de couve-flor.....	20

3.3.4 Experimentos 4 - Absorção foliar e radicular de B.....	21
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	25
4.1 Experimentos 1 - Omissão de boro em plantas de repolho e de couve-flor.....	25
4.1.1 Repolho.....	25
4.1.2 Couve-flor.....	30
4.2 Experimentos 2 - Dose de boro, via foliar, no desenvolvimento e no teor de B em plantas de repolho e de couve-flor.....	35
4.2.1 Repolho.....	35
4.2.2 Couve-flor.....	38
4.3 Experimentos 3 - Tempo de absorção de boro, via foliar, em plantas de repolho e de couve-flor.....	42
4.3.1 Repolho.....	42
4.3.2 Couve-flor.....	45
4.4 Experimentos 4 - Absorção foliar e radicular de B.....	48
4.4.1 Repolho.....	48
4.4.2 Couve-flor.....	51
5 CONCLUSÕES.....	55
6 REFERÊNCIAS.....	56

ABSORÇÃO E MOBILIDADE DO BORO EM PLANTAS DE REPOLHO E DE COUVE-FLOR

RESUMO – Objetivou-se avaliar os efeitos da omissão de boro na solução de nutrientes e de doses de boro em aplicação foliar no crescimento e na nutrição, e estudar o tempo de absorção e a sua mobilidade em plantas de repolho ‘Astrus’ e couve-flor ‘Verona’. Para isto, foram realizados na UNESP, Câmpus de Jaboticabal, oito experimentos com as plantas do repolho ‘Astrus’ e da couve-flor ‘Verona’ no período de fevereiro de 2007 até maio de 2008. Nas duas hortaliças, estudaram-se a omissão de boro em diferentes estádios de desenvolvimento e as doses de boro (0; 0,085; 0,170; 0,255 e 0,340 g L⁻¹) via aplicação foliar. Em seguida, estudaram-se o tempo de absorção do boro aplicado via foliar (até 30 dias após aplicação) nas hortaliças e também compararam-se a mobilidade do boro marcado (¹⁰B) absorvido pelas raízes e pelas folhas, nas folhas emitidas após a sua aplicação. Em todos os experimentos, avaliaram-se as variáveis de crescimento, nutrição e de produção de matéria seca das plantas. Verificou-se, que o efeito da deficiência de boro ficou evidente no final do ciclo das hortaliças (terceiro estágio de desenvolvimento), causando maior diminuição na parte comercial das hortaliças. A adubação foliar com o micronutriente promoveu a máxima produção de matéria seca da parte comercial e da planta inteira do repolho ‘Astrus’, com pulverizações foliares de B nas doses de 0,224 e 0,240 g L⁻¹, respectivamente, e esteve associada com o teor foliar de B de 15 e 14 mg kg⁻¹. Na couve-flor ‘Verona’, a massa seca da parte comercial e da planta inteira aumentaram linearmente com as doses de boro, assim como o teor foliar que variou de 14 a 25 mg kg⁻¹. O boro é absorvido lentamente pelas folhas do repolho ‘Astrus’, absorvendo 50% do B aplicado, próximo de 15 dias após sua aplicação e na couve-flor ‘Verona’ aos três dias e 12 horas após sua aplicação. Notou-se por meio da técnica da espectrometria de massa com plasma que o boro é imóvel em plantas de repolho ‘Astrus’ e couve-flor ‘Verona’, sugerindo sua aplicação no solo.

Palavras-chave: *Brassica oleracea* var. *capitata*, *Brassica oleracea* var. *botrytis*, adubação foliar, nutrição de plantas, micronutriente, redistribuição.

Boron absorption by and mobility in cabbage and cauliflower plants

SUMMARY – The effects of boron on cabbage and cauliflower plants were analyzed under the following approaches: (1) omitting boron from the nutrient solution at different stages of plant development; (2) Foliarly application of different doses of boron: 0, 0.085, 0.170, 0.255, and 0.340 g L⁻¹; (3) Measuring the time necessary for boron to be absorbed by the plants when the boron fertilizer is foliarly applied; (4) Determining boron mobility in the plants by means of labeled boron (¹⁰B) supplied either via foliar fertilization or the fertilizer being directly applied to the soil. The effects of those procedures were evaluated in terms of plant growth, nutrition and productivity. The results showed that the effects of boron deficiency are more clearly felt at the end of the plant cycle so that the main effect is on plant commercial value. The doses of 0.224 and 0.240 g L⁻¹ were those resulting in the highest commercial and the whole plant yields, respectively. These doses were found to be related with B levels in the plants of 15 and 14 mg kg⁻¹. The commercial part and the whole plant of the ‘Verona’ cauliflower cultivar increased linearly with doses of boron. The foliar level of boron also increased linearly from 14 to 25 mg kg⁻¹. Boron is slowly absorbed by the leaves of the ‘Astrus’ cabbage cultivar: it takes almost 15 days for 50% of the total applied to be absorbed. Cauliflower plants of the ‘Verona’ cultivar, on the other hand, absorbed a similar proportion in 3 days and 12 hours. It was observed that boron is immobile both in cauliflower and cabbage plants suggesting that boron fertilizers should be applied directly to the soil.

Key words: *Brassica oleracea* var. *capitata*, *Brassica oleracea* var. *botrytis*, foliar fertilization, plant nutrition, micronutrients, redistribution.

1. INTRODUÇÃO

Os solos tropicais apresentam baixa fertilidade, e ultimamente os micronutrientes têm sido mais estudados devido à necessidade de informações da sua relação com a produtividade das culturas. O boro é um dos micronutrientes que mais limita o rendimento das culturas no Brasil, principalmente nas espécies exigentes e cultivadas em solos de textura arenosa, nos quais o micronutriente, tendo alta mobilidade pode ser perdido por lixiviação (BLEVINS & LUKASZEWSKI, 1998).

Nas hortaliças, as deficiências de micronutriente como o boro são frequentes (COUTINHO et al., 1993), em virtude do boro participar de vários processos metabólicos, tais como: síntese da parede e alongamento celular, integridade estrutural da parede celular, transporte de carboidratos, fertilidade dos grãos de pólen e alongamento do tubo polínico (MARSCHNER, 1995).

As brássicas são hortaliças exigentes em boro. Para atender a exigência nutricional dessas hortaliças em boro, o seu fornecimento pode ser via semente, solo e foliar. A aplicação do boro via foliar é amplamente utilizada pelos produtores de hortaliças. Assim, para garantir maior eficiência da adubação foliar com boro nas brássicas, é importante conhecer aspectos básicos da nutrição das plantas, desde as desordens nutricionais, até absorção e mobilidade na planta.

O conhecimento da mobilidade dos nutrientes na planta favorece a escolha do tipo de manejo que será adotado na correção ou prevenção da sua deficiência. As pesquisas realizadas com boro apenas utilizando-se adubação foliar, são ausentes ou incipientes nas brássicas. Apesar disso, existe a recomendação de adubação via aplicação foliar de B em brássicas para o Estado de São Paulo sendo de 1 g L^{-1} , em 3 vezes, com ácido bórico (TRANI & RAIJ, 1997).

Para o manejo adequado da adubação nas culturas do repolho e da couve-flor ter conhecimento dos efeitos que a omissão de boro causaria a planta e qual fase do seu ciclo seria mais afetada, são informações importantes que garantem maior eficiência da adubação.

Outro fator importante é o conhecimento da dose adequada de boro na solução, pois ela deve ser suficiente para corrigir a deficiência sem causar toxicidade. Além do conhecimento do tempo de absorção do boro pelas folhas, que mostrará a necessidade de uma reaplicação quando da ocorrência de precipitação pluvial no momento anterior à absorção do nutriente pela planta, objetivando garantir maior eficiência do uso e manejo da adubação foliar.

Outro aspecto também pouco estudado em hortaliças é a mobilidade do boro, fato que pode afetar a eficiência da adubação foliar com esse micronutriente. A maioria das culturas, o B é considerado imóvel no floema, o que implica pouca viabilidade do uso da pulverização foliar para a correção de uma possível deficiência (PRADO, 2008). Entretanto, em plantas que produzem poliois formam complexos com o boro propiciando a sua mobilidade no floema (BROWN & HU, 1994). Assim, nas plantas que o B é móvel, espera-se que as partes jovens das plantas que emergiram após a pulverização foliar tenham sua exigência nutricional atendida pela redistribuição do micronutriente, garantindo determinado efeito residual da pulverização e maior eficiência da adubação foliar. Em brássicas, o estudo sobre mobilidade de boro é ausente ou incipiente no Brasil.

Diante do exposto o presente trabalho objetivou avaliar os efeitos da omissão de boro na solução de nutrientes e de doses de boro em aplicação foliar no crescimento e nutrição, e estudar o tempo de absorção e a mobilidade do boro em plantas de repolho 'Astrus' e couve-flor 'Verona'.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Importância da cultura do repolho e da couve-flor

As brassicáceas constituem a família botânica que abrange o maior número de hortaliças, ocupando lugar proeminente na Olericultura. As espécies constituintes dessa família foram oriundas da couve silvestre (*Brassica oleracea* var. *silvestre*). Dentre elas destacam-se a couve-flor (*Brassica oleracea* var. *botrytis*), o repolho (*B. oleracea* var. *capitata*) e o brócolos (*B. oleracea* var. *italica*) por serem as espécies mais cultivadas e consumidas (FILGUEIRA, 2008).

Dentre as hortaliças o repolho constitui-se em alimento de excelente qualidade, apresentando teores apreciáveis de β -caroteno, cálcio e de vitamina C (FERREIRA et al., 2002). Além das diversas propriedades nutritivas, é alimento muito versátil à mesa e na indústria, podendo ser consumido *in natura*, cozido, na forma de chucrute, pickles e desidratado (FILGUEIRA, 2008).

O repolho apresenta como região de origem à Costa Norte do Mediterrâneo, Ásia Menor e Costa Ocidental Européia. Em sua forma silvestre, o repolho era utilizado pelos egípcios, sendo que o seu uso generalizou-se com as invasões arianas entre 2000 e 2500 anos antes de Cristo. Acredita-se que o repolho tenha sido introduzido na Europa pelos celtas no século IX. Na América, o repolho foi trazido pelos conquistadores europeus por volta do século XV. A planta é herbácea, formada por inúmeras folhas que se imbricam, dando origem a uma "cabeça", que constitui a parte comestível da planta (TIVELLI & PURQUERIO, 2009).

A couve-flor (*Brassica oleracea* var. *botrytis*) é cultivada em todas as partes do mundo. É uma hortaliça delicada e tenra, constitui saborosa iguaria quando bem preparada; é rica em sais de ferro e vitaminas B₁, possuindo ainda, cálcio e vitaminas A e C. Esta hortaliça é uma inflorescência imatura túrgida que se desenvolve sobre um caule curto, constituindo uma "cabeça" de coloração branca ou creme que é muito sujeita a senescência. Tanto o repolho, como a couve-flor são hortaliças originalmente

de clima temperado, plantas bienais, indiferentes ao fotoperiodismo, sendo a temperatura o fator agroclimático limitante. Estas hortaliças apresentam pequenas variações no que se refere ao seu ciclo e produtividade. O ciclo do repolho varia de 80 a 100 dias e sua produtividade geralmente supera 50 t ha^{-1} , enquanto, a couve-flor apresenta variação de 80 a 130 dias, conforme a precocidade da cultivar, e sua produtividade pode superar 30 t ha^{-1} (FILGUEIRA, 2008).

Dentre as espécies da família Brassicaceae, o repolho e a couve-flor podem ser considerados as hortaliças de maior expressão. No Estado de São Paulo são as principais brássicas em cultivo, tendo sido comercializado, na CEAGESP, em 2007, 46.735 toneladas de repolho e 10.899 toneladas de couve-flor (AGRIANUAL, 2009).

2.2. Importância do boro na nutrição das plantas

O boro possui número atômico 5 e massa atômica de 10,811 u.m.a., tendo dois isótopos estáveis de massas 10 e 11, com abundância natural média de $^{10}\text{B} = 19,9\%$ e $^{11}\text{B} = 80,1\%$ (BIEVRE & BARNES, 1985). Na tabela periódica, o B é o único não metal pertencente à família do grupo IIIA e possui número de valência +3.

O B é amplamente distribuído tanto na litosfera quanto na hidrosfera, apresentando pequena quantidade na crosta terrestre. A quantidade de B aumenta com a acidificação das rochas magmáticas, enquanto nas rochas sedimentares, o elemento está associado à fração de argila. As maiores quantidades de B estão concentradas em regiões que já foram oceanos e em sedimentos marinhos argiláceos, portanto a quantidade de B pode servir como indicador de paleossalinidade (KABATA-PENDIAS & PENDIAS, 1984).

O B é demasiado reativo para ocorrer no seu estado livre. Contudo, pode ser encontrado combinado em diversos minerais, de que são exemplos, a colemanita ($\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), a ulexita ($\text{CaNaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$), o bórax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) e a boracita ($\text{Mg}_3\text{B}_7\text{O}_{13}\text{Cl}$). Também pode ser encontrado na forma de ácido bórico- H_3BO_3 (BOARETTO, 2006).

BERGMAN (1984) relatou que os primeiros estudos dos efeitos de B nas plantas iniciaram a partir de 1876. Na literatura existem discordâncias quanto ao autor que demonstrou a essencialidade do B para as plantas. A prova inicial foi publicada por Warington em 1923 (POWER & WOODS, 1997), e há muito já se estabeleceu que o B é um elemento essencial ao desenvolvimento das plantas superiores, apesar de sua função primária não ter sido totalmente esclarecida (MATOH, 1997).

Em revisão realizada por LOOMIS & DURST (1992), os autores relataram que Agulhon, em 1910, demonstrou a presença de B em diversas espécies de plantas. Entretanto, não demonstrou a essencialidade do elemento para as plantas. MAZÉ (1915; 1919) demonstrou a essencialidade de B para o milho. Contudo, os seus experimentos não foram realizados em condições bem controladas e o autor também definiu no mesmo trabalho que o alumínio, o flúor e o iodo eram benéficos para o desenvolvimento das plantas. Por estas razões, a essencialidade do B como nutriente é creditada para WARINGTON (1923).

Nas culturas de forma geral, entre os micronutrientes, a deficiência de B é a que ocorre em maior frequência (GUPTA, 1979; BLEVINS & LUKASZEWSKI, 1998). Os principais fatores que interferem na disponibilidade do B presente no solo para as plantas, segundo GOLDBERG (1997) seriam: a) a textura do solo, e quanto mais arenoso o solo, menor é a disponibilidade do nutriente; b) a umidade do solo sendo que, a disponibilidade de B geralmente diminui com a redução da umidade do solo; c) a temperatura, que quando aumenta causa maior adsorção de B, entretanto, isso pode ser devido à interação entre o efeito da temperatura com a umidade do solo; d) a matéria orgânica e, quanto maior a quantidade de matéria orgânica, maior é a disponibilidade de B para as plantas.

De todos os nutrientes, a função do B é a menos entendida. O que se conhece sobre a exigência do nutriente provém de estudos sobre o que acontece na planta na ausência de B ou na aplicação do nutriente após condições de deficiência da planta (MARSCHNER, 1995).

O B é o único nutriente que satisfaz apenas o critério indireto de essencialidade, sendo que ainda não foi demonstrada a participação do B na constituição de enzimas e nem como ativador enzimático (MARSCHNER, 1995). Ainda, segundo esse mesmo autor,

o B está relacionado a uma série de processos fisiológicos das plantas tais como: transporte de açúcar; síntese da parede celular; lignificação; estrutura da parede celular; respiração; metabolismo de carboidratos; metabolismo de RNA; metabolismo de ácido indolacético; metabolismo de compostos fenólicos; metabolismo de ascorbato; fixação de nitrogênio; e diminuição da toxicidade de alumínio. Entretanto, pode ser que alguns dos efeitos nos processos fisiológicos em que a ausência de B esteja relacionada não ocorram de forma direta e sim sejam efeitos secundários ou “efeitos cascatas”.

Existem inúmeros compostos biológicos, no citoplasma ou na parede celular, que podem formar complexos de B (ácido bórico): açúcares, fenóis, ácidos orgânicos e polímeros (DEMBITSKY et al., 2002). MATOH (1997) constatou que o B pode ocorrer nas plantas superiores tanto em formas solúveis em água (localizado na região apoplástica na forma de ácido bórico) quanto em formas insolúveis. O B insolúvel em água está associado com rhamnogalacturona II (RG-II), que é composto de ácido bórico com duas cadeias do monômero GR-II.

KOBAYASHI et al. (1997) propuseram que a localização do B na célula parece ser um pré-requisito para a identificação das suas funções. Entretanto, os locais onde o ácido bórico está localizado podem ser consequência das ligações de di-éster do ácido bórico com grupos de cis-diol de açúcares e fenóis.

O boro é absorvido pelas plantas como ácido bórico (GUPTA, 1979). Há incerteza se a absorção do B é um processo ativo ou passivo (MENGEL & KIRKBY, 2001). GUPTA (1979), HU & BROWN (1997) sugerem que a absorção de B pelas plantas superiores é um processo passivo, não-metabólico, que age em resposta à concentração externa de ácido bórico, à permeabilidade da membrana, à formação de complexos dentro da célula e à taxa de transpiração. BROWN & HU (1994) observaram em diversas culturas que a absorção do boro é um processo não metabólico, controlado pela formação de complexos de boro não trocáveis no citoplasma e na parede celular.

Entre os fatores ambientais não edáficos, a taxa de transpiração é a que mais influencia a absorção de B. O aumento da transpiração promove o aumento na absorção de B, que é influenciada pela umidade relativa, temperatura e intensidade luminosa (HU & BROWN, 1997).

Quando há deficiência de B, inicialmente, ocorre redução dos tecidos meristemáticos (extremidades da raiz e ramos) que, em seguida, tornam-se desorganizados e morrem. No entanto, COHEN & LEPPER (1977) consideraram que o alongamento de raízes de abóbora cessou quando as mesmas foram submetidas à omissão de boro, e foi causada pela falta de divisão das células meristemáticas e não por falta de alongamento celular, sugerindo que esse micronutriente age como um regulador da divisão celular. O B participa da síntese da base nitrogenada uracil e como esta é componente do RNA, têm-se diminuição na síntese do RNA e conseqüentemente na síntese protéica. Como a síntese de RNA, ribose e proteína são os processos mais importantes nos tecidos meristemáticos, a divisão e a diferenciação celular é seriamente prejudicada e, portanto, o crescimento das partes jovens das plantas é afetado (MENGEL & KIRKBY, 2001).

Assim, o B atua na biossíntese da parede celular, auxiliando o Ca na deposição e formação de pectatos que formam parte dessas estruturas (SANTOS et al., 1990). Cabe salientar que as plantas que apresentam maior exigência em B são aquelas que contêm maior quantidade de B complexado na parede celular. Quando o B está presente em concentrações baixas na planta, a maior parte do nutriente contido nas células, mais de 95% do micronutriente, está localizado na parede celular, associado a pectinas (POWER & WOODS, 1997; HU et al., 1997). Para CAKMAK & RÖMHELD (1997), outra importante função do B é a manutenção da integridade da membrana plasmática, que está associada a sua habilidade em se ligar a componentes com configuração cis-diol, tais como glicoproteínas e glicolipídios. CAKMAK et al. (1995), analisando folhas de girassol deficientes e com níveis suficientes em boro, observaram que o efluxo de potássio, sacarose e aminoácidos em folhas deficientes em boro foi, respectivamente, 35, 45 e 7 vezes maior quando comparados com folhas com níveis suficientes de boro. POWER & WOODS (1997) argumentam que o transporte de alguns nutrientes (K e P) pela membrana é inibido na ausência de B. Além dessas funções, o B também está relacionado com transporte de açúcares, lignificação, metabolismo de carboidratos, metabolismo de RNA, respiração, metabolismo de ácido indol acético (AIA), metabolismo de fenol e de ascorbato (CAKMAK & RÖMHELD, 1997).

AMBERGER (1988) relata que o crescimento radicular pode ser paralisado após 48 horas de omissão de B. Além disso, a deficiência de B promove rápido endurecimento da parede celular, pois o mesmo formando complexos com carboidratos controla a disposição de micelas de celulose, o que não permite o aumento normal no volume da célula (MALAVOLTA, 1980). O alongamento da planta é também prejudicado pelo fato que o B tem efeito direto na formação de vasos xilemáticos (crescimento e diferenciação). Cabe ressaltar que concentrações de B acima do normal protegem o crescimento radicular em situações em que altos teores de Al normalmente seriam inibidores (LENOBLE et al., 2000).

A restrição no crescimento do sistema radicular é um dos sintomas mais evidentes da deficiência de B. Porém, as funções bioquímicas do B no processo de crescimento das raízes ainda não estão bem definidas. LUKASZEWSKI & BLEVINS (1996) propuseram que a ação do B no meristema radicular está associada com o metabolismo do ascorbato. O mecanismo da interação boro-ascorbato pode estar relacionado com a associação do B com o ciclo de oxi-redução do ascorbato e com o transporte de elétrons na membrana plasmática, o que pode influenciar no crescimento do tecido. Em experimento realizado em plantas de abóbora, os autores verificaram que quanto menor foi o suprimento de B à planta, menor foi a concentração de ascorbato no ápice das raízes. Quando foi adicionado ascorbato na solução nutritiva, este promoveu aumento no crescimento radicular de plantas que estavam sendo cultivadas em solução sem B ou com baixo fornecimento do nutriente.

2.3. Aplicação foliar de boro e tempo de absorção

De maneira geral, a prática da adubação foliar tem se desenvolvido rapidamente no Brasil nos últimos anos e admite-se seja feita tanto para corrigir deficiências como para complementar a adubação de solo, suplementar a adubação de solo durante todo o ciclo da cultura e suplementar a adubação de solo no estágio reprodutivo das plantas (MARSCHNER, 1995).

A aplicação foliar consiste no suprimento de nutrientes por pulverização nas partes aéreas das plantas, principalmente nas folhas. Quando o nutriente é depositado na folha pode ocorrer a sua absorção. Tal como a absorção radicular, a foliar também apresenta duas fases bem distintas que seria via processos passivos e ativos. Na primeira, o nutriente entra na planta por meio de difusão, não ocorrendo gasto de energia. Na segunda, o nutriente penetra no simplasto e se movimenta com gasto de energia. Este fenômeno ocorre geralmente em horas, enquanto a primeira fase, a passiva, é rápida, podendo ser completada em minutos (MALAVOLTA et al., 1997).

No repolho e na couve-flor existem poucos estudos que abordem o efeito da aplicação de boro via foliar e no solo no crescimento, na produção e na qualidade dessas hortaliças. SHATTUCK & SHELP (1987) em experimento empregando 3 kg ha^{-1} de boro no solo, associado a duas aplicações foliares, obtiveram aumento na produção de couve-flor. KOTUR (1998) verificou acréscimo de 76% na produção de couve-flor com aplicação de $1,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de boro no solo, associado a três aplicações foliares de solução de ácido bórico ($0,021 \text{ g L}^{-1}$ de B), e PIZETTA et al. (2005), em experimento a campo, em um Argissolo, obtiveram produtividade máxima de couve-flor com utilização de $5,1 \text{ kg ha}^{-1}$ de boro.

Na literatura existe indicação da aplicação foliar de boro em brássicas, sendo três aplicações durante o ciclo da planta (TRANI & RAIJ, 1997). Contudo, as pesquisas com boro nessas hortaliças estão restritas as aplicações do micronutriente no solo, associadas com aplicação foliar. Pesquisas sobre aplicações de boro exclusivamente por via foliar em brássicas são incipientes no Brasil.

A adubação foliar se aplica aos casos de prevenção de deficiências de micronutriente em culturas anuais ou perenes. As brássicas, como o nabo e a couve-flor, são muito exigentes em boro, sendo comum a prática das pulverizações foliares (KERBAUY, 2004).

A absorção de nutrientes pela superfície das folhas é restrita devido à presença, nas paredes externas das células da epiderme, da cutícula e da camada de ceras, sendo que a velocidade de absorção de nutrientes depende principalmente da espessura da cutícula e da camada de cera (KERBAUY, 2004).

A cutícula dificulta a penetração dos nutrientes aplicados nas folhas, tornando com frequência, necessário o uso de umectantes para aumentar a efetividade desses. A espessura e a composição da cutícula da epiderme são variáveis, sendo seus principais constituintes a cutina e as ceras cuticulares (BIRD & GRAY, 2003). Entretanto, a espessura da cutícula não parece ser um fator determinante na sua permeabilidade. Estudos recentes têm mostrado que as ceras cuticulares constituem na realidade a verdadeira barreira à entrada de solutos no tecido foliar (RIEDERER & SCHREIBER, 2001).

A absorção de nutrientes aplicados na folha é influenciada por diversos fatores externos, como, o ângulo de contato da solução e a folha, a temperatura e a umidade, a concentração e a composição da solução e a luz, além de fatores internos, como, a umidade da cutícula, a superfície da folha, a idade e o estado iônico (PRADO, 2008).

Alguns estudos com aplicação de nutrientes na folha indicam que o tempo de absorção (50% do nutriente aplicado) pode variar de poucas horas como o N que é de 36 horas, até dias como o Fe, que demora 20 dias (MALAVOLTA, 1980). Entretanto, não foram encontrados trabalhos com o boro aplicado em folhas de brássicas que estudaram a absorção do micronutriente em função do tempo após a sua aplicação.

2.4. Transporte e mobilidade do boro nas plantas

O movimento do B nas plantas ocorre pelo xilema. O B é predominantemente transportado via fluxo de transpiração, que é afetado, principalmente, pela temperatura e intensidade luminosa, pelo conteúdo de água no solo e pela umidade relativa (ASAD et al., 2001).

O transporte do boro no xilema das raízes envolve processos passivos e ativos que regulam o movimento do boro por membranas; por outro lado, a distribuição de boro em nível celular depende de extensões que permitem a passagem do transporte ativo e passivo e formação de cisdiol.

Em geral o B é considerado imóvel nas plantas. Contudo, estudos realizados, principalmente a partir da década de 80, demonstraram que esta afirmativa não devia ser

generalizada, pois se sabe que este micronutriente é móvel em algumas espécies de plantas, tais como: macieira, ameixeira (BROWN & HU, 1994) e brócolos (SHELP, 1988).

Tem-se observado que plantas cultivadas com quantidades adequadas de B apresentam diminuição da concentração de B das folhas velhas para as folhas jovens. Além disso, sintomas de deficiência de B ocorrem em tecidos meristemáticos, enquanto sintomas de toxicidade do nutriente ocorrem primeiro nas margens das folhas mais velhas (MARSCHNER, 1995; SHELP et al., 1995). Estas observações são à base da classificação histórica de B como um elemento imóvel (ZIMMERMANN, 1960; EPSTEIN, 1973).

O conhecimento da mobilidade dos nutrientes na planta favorece a escolha do tipo de manejo que será adotado na correção ou prevenção da sua deficiência. Quando o nutriente é imóvel na planta, torna-se necessário o fornecimento frequente do nutriente para atender as exigências dos novos órgãos em formação. Deste modo, as aplicações foliares do B deverão promover melhor resultado na produção nas cultivares que tenham maior mobilidade do nutriente. Por outro lado, planta em que o B é imóvel a aplicação mais viável seria via raiz que iria fornecer o nutriente continuamente por todo o ciclo da planta.

A absorção, o transporte e a redistribuição de nutrientes pelos vegetais são processos distintos. O primeiro, diz respeito à passagem do nutriente do meio externo da planta, para o espaço intercelular ou qualquer outra parte da célula. O transporte é o movimento do nutriente no órgão de absorção ou para outro órgão da planta. A redistribuição refere-se ao movimento do nutriente do local onde foi depositado, pelo movimento da água no xilema (ou onde foi depositado pela adubação foliar), para outros órgãos da planta, processo que se dá pelo floema (MALAVOLTA et al., 1997). O mecanismo de absorção do boro e os fatores que governam a distribuição do boro nas plantas são pouco conhecidos.

A utilização de isótopos tem sido uma técnica útil nas pesquisas sobre mobilidade de nutrientes nos vegetais. Grande parte das pesquisas sobre a absorção e a mobilidade de micronutrientes tem sido realizada com o auxílio de isótopos radioativos. Contudo, para o B não existe um isótopo com meia vida suficientemente longa que possibilite estas pesquisas. Para os estudos de mobilidade de nutrientes, é necessário usar uma metodologia que possibilite distinguir se o nutriente presente nas partes novas da planta

é oriundo de partes já existentes, ou se ele foi absorvido pelas raízes ou folhas. Com o desenvolvimento da espectrometria de massa com plasma (ICP-MS) tornou-se possível quantificar os isótopos estáveis de B (^{10}B e ^{11}B), o que possibilitou os estudos de mobilidade de B nos vegetais, utilizando compostos enriquecidos em ^{10}B (BOARETTO, 2006).

É conhecido que o movimento do B pelos vasos do xilema é para os locais de maiores perdas de água. Entretanto, há muitas dúvidas sobre a redistribuição do B, que ocorre pelo floema. As espécies vegetais diferem intensamente quanto à mobilidade de B, podendo classificá-las em espécies em que a redistribuição do micronutriente é restrita e espécies em que o B é altamente móvel (BROWN & SHELP, 1997).

A redistribuição de B nas plantas de repolho e de couve-flor foi pouco estudada até o momento. Esta distribuição de nutrientes pode ser explicada em termos de retranslocação, que tem sido estudada de várias maneiras: na taxa de concentração em partes jovens para velhas, frutos e folhas e em exsudato de floema e xilema; aplicação foliar de isótopos (SHELP, 1993). A retranslocação do boro está relacionada com o decréscimo da concentração do boro em folhas maduras, como ocorre em brócolos (SHELP, 1988).

Normalmente, para atender as exigências das plantas, o boro deve ser absorvido continuamente durante a vida da planta, o que pode ser feito pelas raízes. Entretanto, ultimamente as aplicações foliares têm sido muito divulgadas. Por esta razão, o conhecimento da fisiologia especialmente referente à absorção e mobilidade deste nutriente é essencial para garantir a máxima eficiência das práticas de adubação.

Tendo em vista o exposto, fica evidente a importância do boro nas hortaliças e a carência de pesquisas sobre o assunto referente à sua mobilidade na planta, podendo-se inferir que o conhecimento da dinâmica do boro, no repolho e na couve-flor, pode traduzir-se em benefícios para o manejo eficiente da adubação e, conseqüentemente, em maior produção e qualidade.

2.5. Espectrometria de massas com fonte de plasma

A espectrometria de massas com fonte de plasma é uma técnica analítica resultante do acoplamento de uma fonte de plasma com um espectrômetro de massas (inductively coupled plasma mass spectrometry - ICP - MS), e foi descrito pela primeira vez por GRAY (1974). A técnica baseia-se na capacidade de medir individualmente as razões massa carga (m/z) dos isótopos, possibilitando a aplicação do método da diluição isotópica (GINÉ et al., 1999).

Os componentes fundamentais do ICP - MS são: sistema de introdução de amostras; fonte de ionização; sistema de condução e focalização de íons; analisador de massas; e detector. A introdução e ionização da amostra ocorrem em pressão de 1 atmosfera, enquanto a extração, condução, focalização, separação e detecção encontram-se em estágios crescentes e seqüenciais de vácuo. No primeiro estágio a pressão é de 1 atm (região onde ocorre a amostragem e extração dos íons, no segundo estágio é de 1×10^{-4} atm (região onde encontram-se as lentes iônicas responsáveis pela condução e focalização dos íons até a entrada do analisador), no interior analisador de massas a pressão é de 2×10^{-6} atm (BELLATO, 2004).

O método convencional de introdução de amostras no plasma é a nebulização da solução formando um fino aerossol por meio de um nebulizador acoplado a uma câmara de expansão. O plasma é produzido pela ionização parcial de um gás, geralmente argônio, introduzido continuamente com vazão de 12 a 18 L min⁻¹ e sustentação em uma tocha de quartzo, cujo extremo é colocado no interior de uma bobina solenoidal de cobre. Esta bobina é conectada a uma fonte de radiofrequência que induz um campo magnético oscilante, permitindo a formação e manutenção do plasma. A energia produzida pelo plasma é de 15,7 eV, a qual é suficiente para produzir a ionização da maioria dos elementos da amostra (BELLATO, 1999).

A interface entre o plasma e espectrômetro de massas é composta por dois cones metálicos, o primeiro para amostragem dos íons no plasma e o segundo para extração. Entre os cones, devido à diferença de pressão, ocorre uma expansão do

material amostrado do plasma e os íons são acelerados na direção do cone de extração e atingem a região das lentes iônicas. Diferenças de potenciais aplicadas entre essas lentes permitem a focalização e condução dos íons para o analisador de massas, do tipo quadrupolar, que é responsável pela separação das massas de interesse, podendo discriminar isótopos entre as massas 4 (Li) e 238 (U).

O quadrupolo é constituído por quatro cilindros paralelos e equidistantes de um eixo central, os quais são aplicados diferenças de potenciais alternadas e contínuas. Dependendo dos valores ajustados para essas diferenças de potenciais, ocorrem variações nos movimentos dos íons que poderão ser desviados ou conduzidos entre os cilindros, até atingir o detector. Os íons provenientes do quadrupolo atingem a superfície do detector arrancando elétrons, os quais são acelerados e multiplicados devido à diferença de potencial (1500 ou 3000 V), produzindo um fator de multiplicação de 10^4 e 10^8 elétrons para cada íon, respectivamente (GINÉ et al., 1999).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. LOCALIZAÇÃO DOS EXPERIMENTOS

Os experimentos foram realizados na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - UNESP, Jaboticabal, SP, localizada geograficamente a 21° 15' 22" de latitude sul e 48° 18' 58" de longitude Oeste, altitude de 605m, na região norte do Estado de São Paulo, com temperatura média anual de 21°C.

3.2. CARACTERIZAÇÃO DOS HÍBRIDOS

3.2.1. Híbrido 'Astrus' Plus

O repolho Astrus Plus possui ciclo de 95-100 dias. As plantas apresentam folhas de coloração verde escura com cerosidade. Apresentam cabeças médias a grandes, com formato levemente achatado, de 1,8 - 2,5 kg.

3.2.2. Híbrido 'Verona' 184

A couve-flor Verona 184 apresenta ciclo de 100 dias. É adaptada às condições de plantio em clima tropical e subtropical. Híbrido de verão, com cabeça de coloração branca e peso médio de 1,2 a 1,5 kg.

3.3. DESCRIÇÃO DOS EXPERIMENTOS

3.3.1. Experimentos 1 - Omissão de boro em plantas de repolho e de couve-flor

Nestes experimentos avaliaram-se os efeitos da omissão de boro no desenvolvimento e na nutrição de plantas de repolho 'Astrus' e couve-flor 'Verona', cultivadas em solução nutritiva. As sementeiras das brássicas foram realizadas em 28 de julho de 2007 para o repolho e 25 de fevereiro de 2007 para a couve-flor, em espuma fenólica. Após 10 dias da emergência, as mudas de repolho (08-08-2007) e couve-flor (06-03-2007) foram levadas para canais de polipropileno de 5 cm de largura com solução nutritiva de HOAGLAND & ARNON (1950), sem boro e com 25% da concentração de nutrientes, em sistema hidropônico do tipo "nutrient film technique" (NFT), com recirculação da solução nutritiva.

As plântulas de repolho e de couve-flor permaneceram nesta condição por nove dias, quando 12 mudas foram transplantadas para vasos de plástico com capacidade de 5 L (1 planta por vaso), contendo solução nutritiva completa e as outras 12 em solução sem B. O transplante do repolho foi no dia 17 de agosto de 2007 e o da couve-flor no dia 15 de março de 2007. Antes do transplante realizou-se a lavagem do sistema radicular e da espuma fenólica com água destilada. As plantas foram espaçadas em 0,80 x 0,35 m para o repolho e 1,00 x 0,50 m para a couve-flor na linha e entrelinha, respectivamente.

Utilizou-se o delineamento de blocos ao acaso, em parcelas subdivididas no tempo, com quatro repetições, sem casualização dos vasos. Foram avaliadas nas parcelas duas soluções nutritivas de HOAGLAND & ARNON (1950), com 0,5 mg L⁻¹ e sem B e nas subparcelas os estádios de desenvolvimento (épocas de amostragens) quanto ao acúmulo de matéria seca e crescimento. Para repolho: primeiro estágio (0-25 dias após o transplante, DAT), caracterizado por crescimento lento, pequeno acúmulo de matéria seca em relação ao total acumulado no final do ciclo; segundo estágio (26-50 DAT)

caracterizado por rápido incremento de matéria seca na parte aérea; e terceiro estágio (51-84 DAT) caracterizado pela formação da parte comercial. Para couve-flor: primeiro estágio (0-30 DAT) caracterizado por crescimento lento, pequeno acúmulo de matéria seca em relação ao total acumulado no final do ciclo; segundo estágio (31-55 DAT) caracterizado por rápido incremento de matéria seca na parte aérea; e terceiro estágio (56-95 DAT) caracterizado por grande acúmulo de matéria seca da parte aérea e formação da parte comercial.

Durante a execução do experimento foi realizado o monitoramento do pH e da condutividade elétrica da solução nutritiva e, quando necessário, foi realizado o ajuste do pH da solução, mantendo-o a $5,5 \pm 0,5$. Quando a condutividade elétrica atingiu aproximadamente 60% do valor inicial, foi feita a reposição de nutrientes à solução, por meio de uma solução estoque até a condutividade elétrica atingir valor igual ao inicial ($1,5 \text{ dS m}^{-1}$). A solução nutritiva foi constantemente aerada com ar comprimido e a cada 15 dias foi renovada.

Em cada estágio do desenvolvimento (épocas de amostragens), as plantas de repolho e de couve-flor foram divididas em: raiz, caule, folha e parte comercial. O teor de B total nos diferentes órgãos foi determinado pelo método da azometina-H em extrato obtido por digestão via seca (TEDESCO et al., 1995).

Avaliaram-se nas coletas do repolho e da couve-flor: altura da planta, número de folhas, diâmetro do caule, área foliar, matéria seca da raiz, da folha, do caule, e matéria fresca e seca da parte comercial. Os materiais vegetais foram lavados (solução de detergente a 3 mL L^{-1} , água corrente, solução de HCl a $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ e água destilada, respectivamente) de acordo com metodologia de PERVEA (2005), e secos em estufa com circulação forçada de ar, a 65°C . Com os resultados da matéria seca nos diferentes órgãos da planta e teor de boro calculou-se o acúmulo do micronutriente.

Os resultados foram submetidos à análise de variância (teste F) pelo “software” SAEG (2000). Quando significativo, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

3.3.2. Experimentos 2 - Doses de boro, via foliar, no desenvolvimento e teor de B de plantas de repolho e couve-flor

Nestes experimentos avaliaram-se os efeitos da aplicação de boro nas folhas no desenvolvimento e na nutrição de plantas de repolho 'Astrus' e de couve-flor 'Verona'. As sementeiras das hortaliças foram realizadas em 26 de julho de 2007 para o repolho e 11 de abril de 2007 para a couve-flor, em espuma fenólica. Após 10 dias da emergência, as mudas de repolho (04-08-2007) e de couve-flor (20-04-2007) foram desenvolvidas conforme descrição do item 3.3.1.

As plântulas de repolho e de couve-flor permaneceram nesta condição por nove dias, quando foram transplantadas para vasos de plástico com capacidade de 8 dm³, contendo areia lavada, que apresentava 1% de areia muito fina (fração obtida por diferença), 20% de fina (malha de 0,105 mm de abertura), 47% média (malha de 0,250 mm de abertura), 26% grossa (malha de 0,50 mm de abertura) e 6% muito grossa (malha de 1,00 mm de abertura).

Para a lavagem da areia adotou-se a seguinte metodologia: a areia foi lavada com água corrente em uma peneira fina; em seguida mergulhada em solução de HCl a 0,5 mol L⁻¹ em uma caixa com capacidade de 500L, com objetivo de eliminar resíduo de matéria orgânica, durante um período de 24 horas; em seguida realizou-se a lavagem da areia em três enxágues para retirada do excesso de HCl. As plantas de repolho e de couve-flor foram espaçadas de acordo com a descrição do item 3.3.1.

Foram instalados dois gotejadores por vaso para o fornecimento da solução nutritiva. O substrato foi mantido com o teor de umidade próximo da capacidade máxima de retenção. A fertirrigação era suspensa no início da drenagem da solução nutritiva dos vasos, a fim de reduzir as perdas de nutrientes e foi realizada lavagem do substrato semanalmente com água para evitar a sua salinização.

Utilizou-se o delineamento de blocos ao acaso, com cinco tratamentos e quatro repetições, sendo a unidade experimental constituída por um vaso com uma planta. Os tratamentos consistiram das doses totais de B (0; 0,085; 0,170; 0,255 e 0,340 g L⁻¹ de B),

via foliar, na forma de ácido bórico (17% de B), correspondentes a 0; 2,8; 5,6; 8,4 e 11,2 mg B por planta para o repolho e 0; 2,3; 4,6; 6,9 e 9,2 mg B por planta para a couve-flor.

As aplicações foliares de boro foram realizadas aos 15; 35 e 45 dias após o transplante (DAT) para o repolho e a couve-flor, utilizando-se pulverizador manual de um litro de capacidade. A quantidade de solução aplicada foi definida por um teste em branco (solução de água e espalhante adesivo) realizado um dia antes de cada época preestabelecida para as pulverizações de boro. Foram fornecidos 7, 12 e 14 mL por planta para a repolho e 5, 10 e 12 mL por planta da solução de ácido bórico para a couve-flor, respectivamente, na primeira, na segunda e na terceira pulverização. Esse procedimento de padronização do volume da solução foi necessário para garantir a quantidade de boro dos tratamentos e proporcionar boas coberturas foliares.

Foi utilizado espalhante adesivo Agral[®], na dose de 0,3 mL L⁻¹ de água. A parte superior dos vasos foi devidamente protegida, com jornal, para que a solução aplicada via foliar não contaminasse o substrato e houvesse absorção radicular do nutriente. Além disso, teve-se o cuidado em proteger as plantas ao lado de outros tratamentos, com plástico, para impedir a contaminação.

Durante a execução do experimento, foram realizadas pulverizações com Decis[®] (Deltrametrina, na dose de 0,8 mL por 20L), Actara[®] (Tiametoxam na dose de 4g por 20L) e Mospilan[®] (acetamiprido na dose de 5g por 20L) para o controle de pragas.

A colheita de repolho e de couve-flor foi realizada aos 73 e 69 DAT, respectivamente. As características avaliadas foram: número de folhas, a área foliar, a matéria seca de folhas, a matéria fresca e seca da parte comercial, a matéria seca da planta inteira e o teor de boro foliar (folha início de formação da parte comercial recomendada por TRANI & RAIJ, 1997). A determinação do teor de boro e a lavagem dos materiais vegetais foram segundo metodologia do item 3.3.1.

Os dados foram submetidos à análise de variância (teste F) pelo “software” SAEG (2000). Quando significativo, os dados foram submetidos à análise de regressão sendo os modelos das equações escolhidos com base na significância dos coeficientes de regressão, nos coeficientes de determinação e no fenômeno biológico que apresente explicação coerente.

3.3.3. Experimentos 3 - Tempo de absorção de boro, aplicado via foliar, em plantas de repolho e de couve-flor

Nestes experimentos, avaliaram-se o tempo de absorção do boro aplicado via foliar nas folhas de repolho 'Astrus' e de couve-flor 'Verona'. As sementeiras das hortaliças foram realizadas em 26 de fevereiro de 2008 para o repolho e a couve-flor, em espuma fenólica. Após sete dias da emergência, as mudas de repolho (04-08-2008) e de couve-flor (20-04-2008) foram desenvolvidas conforme metodologia adotada no item 3.3.1.

As plântulas de repolho e de couve-flor permaneceram nesta condição por 13 dias, quando foram transplantadas (17-03-2008) para vasos de plástico com capacidade de 10 dm³ (1 planta por vaso), contendo areia lavada, cuja composição consta na metodologia do item 3.3.1. A lavagem da areia, a instalação e condução da fertirrigação, assim como o espaçamento das culturas, estão descritos no item 3.3.1.

Utilizou-se o delineamento de blocos ao acaso. Os tratamentos foram distribuídos em parcelas subdivididas no tempo, com 14 tratamentos e dez repetições, sem casualização dos vasos. Nas parcelas foram avaliadas duas doses de B, 0 e 0,240 g L⁻¹ de B para o repolho e 0 e 0,340 g L⁻¹ de B para a couve-flor. Como fonte de boro, utilizou-se o ácido bórico, com 17% de B. Nas subparcelas sete tempos após aplicação da solução de B que são: 0,12 (3 h), 0,25(6 h), 0,5 (12 h) 1, 5, 15 e 30 dias após a aplicação.

A aplicação foliar de boro foi realizada aos 23 dias após o transplante (DAT) para o repolho e aos 20 DAT para a couve-flor, utilizando-se pulverizador manual de um litro de capacidade. A quantidade de solução aplicada foi definida por um teste em branco (solução de água e espalhante adesivo) descrito no item 3.3.2, sendo fornecidos por planta 8 mL para o repolho e 7 mL por planta da solução de ácido bórico para a couve-flor. O procedimento da adubação foliar e o controle fitossanitário constam na metodologia do item 3.3.2.

A variação do teor de B foi avaliada pelas coletas das folhas nos tempos após aplicação, que foram: 0,12 (3 h), 0,25(6 h), 0,5 (12 h) 1, 5, 15 e 30 dias após a aplicação. As características avaliadas foram: altura da planta, número de folhas, diâmetro do caule,

área foliar, matéria seca da raiz, folha, caule e planta inteira, e teor e acúmulo de boro nas folhas. A determinação do teor de boro, a lavagem dos materiais vegetais e a análise estatística dos resultados, estão descritos na metodologia do item 3.3.2. Os materiais vegetais foram secos em estufa com circulação forçada de ar, a 65°C. Com os resultados da matéria seca das folhas da planta e teor de boro calculou-se o acúmulo do micronutriente nas folhas.

3.3.4. Experimentos 4 - Absorção foliar e radicular de B

Nestes experimentos, avaliaram-se a translocação e a redistribuição do boro nas plantas de repolho e de couve-flor. As sementeiras das hortaliças foram realizadas em 14 de março de 2008 para o repolho e a couve-flor, em espuma fenólica. Após sete dias da emergência, as mudas de repolho e de couve-flor (21-03-2008) foram desenvolvidas de acordo com a metodologia do item 3.3.1.

As plântulas de repolho e de couve-flor permaneceram nesta condição por 21 (11-04-2008) e 18 (08-04-2008) dias, respectivamente, quando foram transplantadas para vasos de plástico com capacidade de 10 dm³ (1 planta por vaso), preenchidos com o substrato Golden Mix Misto 80 à base da fibra da casca de coco, que apresentava : condutividade elétrica (1:5) 0,1 dS/m; pH 6,6; umidade 27,6 % (m/m); capacidade de retenção de água 35,5 % (v/v); densidade úmida 120,4 kg/m³ e densidade seca 87,2 kg/m³ (IAC, 2009). As plantas de repolho foram espaçadas em 0,80 x 0,35 m e as de couve-flor em 1,00 x 0,50 m na linha e entrelinha. Os tratamentos foram distribuídos conforme descrição a baixo, disposto em delineamento inteiramente casualizado em cinco repetições.

Descrição dos tratamentos:

S_0F_0 - testemunha (sem boro no substrato e sem boro foliar)

$S_0F^{10}_B$ - sem boro no substrato e com ^{10}B foliar

$S_BF^{10}_B$ - com boro normal no substrato e ^{10}B foliar

$S^{10}_BF_0$ - com ^{10}B no substrato e sem boro foliar

Nos tratamentos 2 e 3 a adubação foliar com ^{10}B na dose de $0,340 \text{ g L}^{-1}$ foi realizada aos 20 dias após o transplante (DAT), no final da tarde, utilizando-se pulverizador manual de um litro de capacidade. A dose de boro utilizada foi obtida em um experimento preliminar no qual se avaliaram diferentes doses de B aplicadas nas folhas de repolho e couve-flor, então se optou pela dose de B ($0,340 \text{ g L}^{-1}$ de B) maior que a recomendada por TRANI & RAIJ (1997) que é de $0,170 \text{ g L}^{-1}$ de B. Isto porque, caso a quantidade de ^{10}B mobilizada para os órgãos das plantas que não receberam a adubação fosse menor que o limite de detecção do equipamento, não seria possível determinar variações na abundância isotópica dessas partes das plantas.

A aplicação da solução foi de acordo com a metodologia do item 3.3.2, sendo fornecidos por planta 8 mL para o repolho e 7 mL para a couve-flor de solução contendo a dose de $0,340 \text{ g L}^{-1}$ de B. Por meio de pesagens dos vasos, com uma planta, antes e após a adubação foliar, foi obtida a quantidade de solução efetivamente depositada na planta inteira. Em cada planta aplicou-se em média 2,0 gramas de solução contendo ^{10}B para o repolho e 2,6 gramas para a couve-flor. Antes da pulverização foi realizada a marcação das folhas com linha vermelha para evitar coletas de folhas que receberam a pulverização com boro.

Nos tratamentos 3 e 4, respectivamente, a aplicação do boro normal ($0,5 \text{ mg L}^{-1}$) e do ^{10}B ($0,340 \text{ g L}^{-1}$ de B) foi parcelada em três aplicações no substrato aos 10, 15 e 20 dias após o transplante (DAT). Foram aplicados 100 mL da solução nutritiva por planta em cada aplicação, com auxílio de proveta. A metodologia de aplicação do B e o controle fitossanitário estão descritos no item 3.3.2.

Após 50 dias da adubação foliar, quando as plantas emitiram novas folhas, foram feitas as coletas das plantas, separando-se em: parte velha (folha da planta existente no momento da adubação foliar que recebeu ^{10}B); parte nova (folhas emitidas após a aplicação de ^{10}B) e foram submetidas à lavagem com água destilada. As que receberam a solução marcada foram lavadas, conforme indicação de BOARETTO et al. (2004), sendo seqüencialmente, com chumaços de algodão embebidos em solução detergente a 1 mL L^{-1} , água destilada, solução de HCl a $24,9\text{ mL L}^{-1}$ e, novamente, com água destilada, para retirar todo o micronutriente que não foi absorvido e que ficou na superfície do tecido vegetal.

Determinou-se o teor de B total, pelo método da azometina-H em extrato obtido por digestão via seca (TEDESCO et al., 1995). Nas amostras (folhas emitidas após a aplicação) dos tratamentos com ^{10}B , o ^{10}B e ^{11}B foram determinados por espectrometria de massas com fonte de plasma (ICP-MS). Utilizou-se o ICP-MS Agilent 7500ce, do Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas do CENA/USP, Piracicaba-SP.

Para a determinação da razão isotópica ($^{11}\text{B}/^{10}\text{B}$) do material vegetal amostrado, os extratos ácidos obtidos na quantificação do B total, quando necessário, foram diluídos em água purificada (resistividade $\geq 18,2\text{ M}\Omega\text{ cm}^{-1}$, obtida em sistema Milli-Q Gradiente A10) para aproximadamente $0,3\text{ mg kg}^{-1}$ de B, e levados para o ICP-MS. Sendo determinadas as razões isotópicas, conforme descrito por BELLATO (1999).

Na quantificação da razão isotópica de B foram realizadas, nas amostras, leituras nos sinais de razões massa/carga (m/z) 10 e 11, e a integração da área do pico de cada sinal, representam o número de contagem na razão m/z , devido às discriminações de massas que podem ocorrer no equipamento durante as análises. Os valores obtidos nas leituras de amostras de plantas que foram tratadas com o composto enriquecido em ^{10}B (99%) foram corrigidos pelos valores de leituras obtidas no mesmo tecido, de plantas que não receberam o composto marcado. Pelo número de contagens obtidas nos picos e com as correções dos valores com as amostras das plantas do controle é possível determinar a razão entre os isótopos ^{11}B e ^{10}B e quantificar a porcentagem de B nas folhas emitidas após a aplicação do ^{10}B proveniente da solução aplicada nas folhas ou no substrato (%Bppf).

Para os cálculos da %Bppf (Porcentagem de boro nas folhas emitidas após a aplicação do ^{10}B proveniente ou derivado do fertilizante), usou-se da equação I (TRIVELIN, 2000), utilizada em estudos com nitrogênio marcado (^{15}N). Sendo % Bppf igual à quantidade de átomos (at.) ^{10}B na amostra (analisada no ICP-MS), menos a quantidade de átomos ^{10}B natural; dividida pela quantidade de átomos ^{10}B do fertilizante (99,00%) menos a quantidade de átomos ^{10}B natural, em porcentagem.

$$\% \text{ B}_{\text{ppf}} = [(\text{at. } \%^{10}\text{B}_{\text{amostra}} - \text{at. } \%^{10}\text{B}_{\text{natural}}) / (\text{at. } \%^{10}\text{B}_{\text{adubo}} - \text{at. } \%^{10}\text{B}_{\text{natural}})] * 100 \quad (\text{Equação I})$$

Para o cálculo da concentração do B nas folhas emitidas após aplicação do ^{10}B proveniente do fertilizante utilizou-se da Equação II. Sendo que a concentração do Bppf é a %Bppf multiplicado pela concentração do nutriente na amostra e dividido por 100.

$$\text{mg kg}^{-1} \text{ Bppf} = (\% \text{ Bppf} * \text{mg kg}^{-1} \text{ de B}) / 100 \quad (\text{Equação II})$$

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Experimentos 1 - Omissão de boro em plantas de repolho e de couve-flor

4.1.1. Repolho

a) Efeito dos tratamentos no crescimento e no desenvolvimento

Na análise de variância observou-se interação entre solução nutritiva e estádios fenológicos para todas as características avaliadas com exceção da altura da planta e do número de folhas, que não foram afetadas pelas soluções nutritivas aplicadas (Tabela 1).

O diâmetro do caule apresentou maiores valores no tratamento com solução nutritiva com boro no terceiro estágio (15,78 mm). Para a área foliar houve diferenças nos dois últimos estádios, sendo que no segundo estágio a solução nutritiva sem boro apresentou valor superior em comparação à solução nutritiva com boro. Entretanto, no terceiro estágio as plantas voltaram a responder a solução nutritiva com boro, apresentando maior área foliar (Tabela 2). Este comportamento pode ter ocorrido em virtude da solução nutritiva com boro ter provocado efeito salino nas plantas no segundo estágio fenológico, dificultando a absorção de nutrientes, redução do crescimento da planta, refletindo na redução da área foliar. Há relatos na literatura de que o índice de área foliar é afetado de forma negativa por níveis elevados de sais na água de irrigação (FRANCO et al., 1997). Outros autores relatam que na maioria das culturas, sejam perenes ou anuais, níveis elevados de salinidade reduzem a área foliar da planta, e desta forma, comprometem o crescimento e, por consequência, a produtividade (NÓBREGA NETO et al., 1999).

A matéria seca da raiz foi influenciada significativamente pela solução nutritiva com B apenas no terceiro estágio fenológico. Para a matéria seca do caule houve diferença significativa entre as soluções nutritivas no segundo e terceiro estádios (Tabela 2), sendo o maior acúmulo obtido com a solução nutritiva com boro no terceiro estágio.

Tabela 1. Resumo da análise de variância (Teste F e CV) referente à altura da planta (ALT), número de folhas (NF), diâmetro do caule (DC), área foliar (AF), matéria seca de raiz (MSR), caule (MSC) e folha (MSF), matéria fresca (MFCO) e seca da parte comercial (MSCO) e matéria seca planta inteira (MSP) em plantas de repolho 'Astrus', em função de solução nutritiva de Hoagland com e sem boro e estádios fenológicos. UNESP - FCAV, Jaboticabal - SP, 2007.

Causas de Variação	ALT	NF	DC	AF	MSR	MSC	MSF	MFCO	MSCO	MSP
Solução nutritiva (SN)	0,1 ^{ns}	1,6 ^{ns}	49,1 ^{**}	1,1 ^{ns}	15,0 ^{**}	77,7 ^{**}	175,3 ^{**}	501,3 ^{**}	834,4 ^{**}	859,3 ^{**}
Estádios fenológicos (EF)	1279,7 ^{**}	1477,6 ^{**}	724,4 ^{**}	6081,6 ^{**}	5342,9 ^{**}	5147,6 ^{**}	11860,4 ^{**}	5642,7 ^{**}	7206,2 ^{**}	35773,3 ^{**}
Interação SN X EF	1,5 ^{ns}	2,4 ^{ns}	20,4 ^{**}	291,1 ^{**}	26,2 ^{**}	14,6 ^{**}	59,9 ^{**}	501,3 ^{**}	834,4 ^{**}	460,9 ^{**}
C.V. (%)	3,0	3,4	4,1	2,0	2,7	3,9	2,2	6,5	5,8	1,5

ns, **, * , não significativo e significativo a 1% e 5% de probabilidade, pelo Teste F, respectivamente.

A maior produção de matéria seca da folha e da planta inteira ocorreu com emprego da solução nutritiva com boro em todos os estádios fenológicos avaliados (Tabela 2). Os maiores incrementos de matéria fresca e seca da parte comercial foram obtidos na solução nutritiva com o boro no terceiro estágio fenológico, sendo os incrementos de 85% e 103%, respectivamente, comparado aos resultados da solução nutritiva sem boro. Estes resultados evidenciam a importância do boro em todas as fases de desenvolvimento das plantas, em que o micronutriente proporcionou crescimento adequado às plantas, refletindo numa maior produção de matéria seca na planta inteira, mostrando a alta exigência de boro pelas plantas de repolho, sendo que muitas culturas apresentam maior exigência do micronutriente na fase de frutificação, como em algumas hortaliças (tomateiro e pimentão) e frutíferas (pereira, macieira, ameixeira, laranjeira).

b) Efeito dos tratamentos na nutrição

Houve efeito significativo do teor de boro na folha e parte comercial, enquanto o acúmulo de boro apresentou efeito significativo em todas as partes da planta, assim como na planta inteira (Tabela 3). Conforme era esperado, os maiores teores de boro na folha foram obtidos na solução nutritiva com boro nos três estádios fenológicos, apresentando incrementos de 163%, 341% e 570% na primeira, segunda e terceira coleta, respectivamente em relação à solução nutritiva com omissão de boro. A solução nutritiva com boro proporcionou maiores acúmulos do micronutriente na folha, no caule, na raiz, na parte comercial e na planta inteira.

Os incrementos do acúmulo de boro na planta inteira na solução nutritiva com presença do micronutriente em relação a sua ausência na solução nutritiva foram de 190%, 306% e 513% nos três estádios fenológicos, respectivamente. O teor e acúmulo de boro na parte comercial também apresentaram os maiores valores na solução nutritiva com boro, sendo os incrementos de 125% e 350%, respectivamente, em comparação à solução nutritiva sem boro. O acúmulo de boro obtido nas plantas de

repolho da solução sem boro denota que pode conter traços de boro nos fertilizantes utilizados na solução nutritiva sem boro.

Tabela 2. Diâmetro do caule, área foliar, matéria seca de raiz, caule e folhas, matéria fresca e seca da parte comercial e matéria seca da planta inteira de repolho 'Astrus', em função de solução nutritiva de Hoagland com e sem boro e em diferentes estádios fenológicos. UNESP - FCAV, Jaboticabal - SP, 2007.

Tratamentos	Estádios fenológicos		
	Primeiro ⁽¹⁾	Segundo	Terceiro
	Diâmetro do caule (mm)		
Solução com boro	6,48Ac	11,12Ab	15,78Aa
Solução sem boro	5,97Ac	10,75Ab	12,97Ba
	Área foliar (cm ²)		
Solução com boro	1500,27Ac	2756,02Bb	7217,12Aa
Solução sem boro	1372,24Ac	3691,45Ab	6310,29Ba
	Matéria seca de raiz (g por planta)		
Solução com boro	0,59Ac	1,24Ab	2,69Aa
Solução sem boro	0,51Ac	1,33Ab	2,49Ba
	Matéria seca de caule (g por planta)		
Solução com boro	0,65Ac	3,34Ab	8,69Aa
Solução sem boro	0,53Ac	2,75Bb	7,75Ba
	Matéria seca de folha (g por planta)		
Solução com boro	7,11Ac	19,30Ab	53,56Aa
Solução sem boro	5,68Bc	18,20Bb	46,99Ba
	Matéria fresca da parte comercial (g por planta)		
Solução com boro	- ⁽²⁾	-	256,00A
Solução sem boro	-	-	138,43B
	Matéria seca da parte comercial (g por planta)		
Solução com boro	-	-	14,06A
Solução sem boro	-	-	6,92B
	Matéria seca da planta inteira (g por planta)		
Solução com boro	8,34Ac	23,88Ab	79,01Aa
Solução sem boro	6,72Bc	22,28Bb	64,15Ba

Média seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem a 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey. ⁽¹⁾ Estádios fenológicos do repolho, aos 25 (primeiro), 50 (segundo) e 84 (terceiro) dias após o transplante; ⁽²⁾ Variável não avaliada devido ausência do órgão na planta.

Tabela 3. Teor e acúmulo de boro em diferentes partes da planta de repolho 'Astrus', em função de solução nutritiva de Hoagland com e sem boro e em diferentes estádios fenológicos. UNESP - FCAV, Jaboticabal - SP, 2007.

Tratamentos	Estádios fenológicos		
	Primeiro ⁽¹⁾	Segundo	Terceiro
Teor de boro (mg kg ⁻¹)			
Folha			
Solução com boro	71Ac	97Ab	114Aa
Solução sem boro	27Ba	22Bab	17Bb
Parte comercial			
Solução com boro	- ⁽²⁾	-	45A
Solução sem boro	-	-	20B
Acúmulo de boro (mg por planta)			
Folha			
Solução com boro	0,50Ac	1,87Ab	6,12Aa
Solução sem boro	0,15Bb	0,40Bb	0,79Ba
Caule			
Solução com boro	0,04Ac	0,14Ab	0,39Aa
Solução sem boro	0,03Bc	0,08Bb	0,20Ba
Raiz			
Solução com boro	0,03Ac	0,06Ab	0,09Aa
Solução sem boro	0,02Bc	0,04Bb	0,05Ba
Parte comercial			
Solução com boro	-	-	0,63A
Solução sem boro	-	-	0,14B
Planta inteira			
Solução com boro	0,58Ac	2,07Ab	7,23Aa
Solução sem boro	0,20Bc	0,51Bb	1,18Ba

Média seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem a 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey. ⁽¹⁾ Estádios fenológicos do repolho, aos 25 (primeiro), 50 (segundo) e 84 (terceiro) dias após o transplante; ⁽²⁾ Variável não avaliada devido ausência do órgão na planta.

4.1.2. Couve-flor

a) Efeito dos tratamentos no crescimento e desenvolvimento

Na análise de variância observou-se interação entre solução nutritiva e estádios fenológicos para diâmetro do caule, área foliar, matéria seca de raiz, matéria fresca e seca da parte comercial e para as demais características avaliadas não houve interação significativa em função das soluções nutritivas aplicadas (Tabela 4).

Para o diâmetro do caule, a área foliar e a matéria seca da raiz houve diferenças nos dois primeiros estádios fenológicos, sendo que no segundo estágio a solução nutritiva sem boro apresentou valor superior em comparação à solução nutritiva com boro. Entretanto, no terceiro estágio as plantas voltaram a responder a solução nutritiva com boro, em que apresentou média superior em relação à solução nutritiva sem boro para todas as características avaliadas, exceto para o diâmetro do caule e matéria seca da raiz (Tabela 5). Este comportamento pode ter ocorrido em virtude da solução nutritiva com boro ter provocado efeito salino nas plantas no segundo estágio fenológico, dificultando a absorção de nutrientes, provocando redução do crescimento da planta, o qual refletiu no diâmetro do caule, área foliar e matéria seca da raiz. “As justificativas apresentadas para o resultado obtido para o repolho aplicam-se também à couve-flor.”

Tabela 4. Resumo da análise de variância (Teste F e CV) referente à altura da planta (ALT), número de folhas (NF), diâmetro do caule (DC), área foliar (AF), matéria seca de raiz (MSR), caule (MSC) e folha (MSF), matéria fresca (MFCO) e seca da parte comercial (MSCO) e matéria seca planta inteira (MSP) em plantas de couve-flor 'Verona', em função de solução nutritiva de Hoagland com e sem boro e estádios fenológicos. UNESP - FCAV, Jaboticabal - SP, 2007.

Causas de Variação	ALT	NF	DC	AF	MSR	MSC	MSF	MFCO	MSCO	MSP
Solução nutritiva (SN)	0,03 ^{ns}	0,2 ^{ns}	14,3 [*]	0,03 ^{ns}	1,7 ^{ns}	0,1 ^{ns}	0,1 ^{ns}	6,6 ^{ns}	29,3 [*]	0,2 ^{ns}
Estádios fenológicos (EF)	65,69 ^{**}	166,8 ^{**}	39,0 ^{**}	151,48 ^{**}	70,9 ^{**}	115,5 ^{**}	64,24 ^{**}	269,8 ^{**}	352,1 ^{**}	113,5 ^{**}
Interação SN X EF	2,95 ^{ns}	0,6 ^{ns}	8,6 ^{**}	4,31 [*]	12,1 ^{**}	3,6 ^{ns}	2,9 ^{ns}	7,3 ^{**}	7,6 ^{**}	3,9 ^{ns}
C.V. (%)	8,9	10,5	7,9	17,5	24,7	20,5	23,3	29,8	26,1	21,3

ns, **, * , não significativo e significativo a 1% e 5% de probabilidade, pelo Teste F, respectivamente.

A matéria fresca e seca da parte comercial, também alcançou maiores valores no terceiro estágio fenológico no cultivo em solução nutritiva com boro (Tabela 5). Estes resultados evidenciam a importância do boro em todas as fases de desenvolvimento das plantas, onde o micronutriente proporcionou crescimento adequado às plantas, refletindo numa maior produção de matéria seca na planta inteira, mostrando a alta exigência de boro pelas plantas de couve-flor. “As justificativas apresentadas para o resultado obtido para o repolho aplicam-se também à couve-flor.”

b) Efeito dos tratamentos na nutrição

Na couve-flor houve efeito significativo do teor de boro na folha, na raiz e parte comercial, enquanto o acúmulo de boro apresentou efeito significativo em todas as partes da planta e na planta inteira (Tabela 6). Os maiores teores de boro na folha foram obtidos na solução com boro nos três estádios fenológicos, apresentando incrementos de 186%, 332% e 833%, respectivamente, em relação à solução com omissão de boro. Na raiz os incrementos percentuais nos três estádios fenológicos foram de 14, 11 e 100 na solução com presença do micronutriente em relação a sua ausência na solução nutritiva.

A solução nutritiva com boro proporcionou maiores acúmulos do micronutriente na folha e na planta inteira. Os incrementos do acúmulo de boro na planta inteira na solução nutritiva com presença de boro em relação a sua ausência na solução nutritiva foram de 104%, 148% e 514% nos três estádios fenológicos, respectivamente. O teor e acúmulo de boro na parte comercial também apresentaram maiores valores na solução nutritiva com boro, sendo os incrementos de 83% e 139%, respectivamente, em comparação à solução nutritiva sem boro. O maior incremento no acúmulo de boro na planta inteira de couve-flor foi obtido na solução nutritiva com boro no terceiro estágio fenológico, em comparação a solução nutritiva sem micronutriente.

Tabela 5. Diâmetro do caule, área foliar, matéria seca de raiz e matéria fresca e seca da parte comercial, em plantas de couve-flor 'Verona', em função de solução nutritiva de Hoagland com e sem boro e em diferentes estádios fenológicos. UNESP - FCAV, Jaboticabal - SP, 2007.

Tratamentos	Estádios fenológicos		
	Primeiro ⁽¹⁾	Segundo	Terceiro
	Diâmetro do caule (mm)		
Solução com boro	5,70Bc	7,65Bb	9,39Aa
Solução sem boro	7,05Ab	9,34Aa	8,65Aa
	Área foliar (cm ²)		
Solução com boro	638,99Ac	1830,23Ab	4467,50Aa
Solução sem boro	671,08Ac	2367,23Ab	3825,09Ba
	Matéria seca de raiz (g por planta)		
Solução com boro	0,06Ac	0,47Bb	0,98Aa
Solução sem boro	0,12Ab	0,87Aa	0,72Ba
	Matéria fresca da parte comercial (g por planta)		
Solução com boro	-(²)	-	132,75A
Solução sem boro	-	-	95,31B
	Matéria seca da parte comercial (g por planta)		
Solução com boro	-	-	10,23A
Solução sem boro	-	-	7,61B

Média seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem a 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey. ⁽¹⁾ Estádios fenológicos da couve-flor, aos 30 (primeiro), 55 (segundo) e 95 (terceiro) dias após o transplante; ⁽²⁾ Variável não avaliada devido ausência do órgão na planta.

Tabela 6. Teor e acúmulo de boro em diferentes partes da planta de couve-flor 'Verona', em função de solução nutritiva de Hoagland com e sem boro e em diferentes estádios fenológicos. UNESP - FCAV, Jaboticabal - SP, 2007.

Tratamentos	Estádios fenológicos		
	Primeiro ⁽¹⁾	Segundo	Terceiro
Teor de boro (mg kg ⁻¹)			
Folha			
Solução com boro	123Ab	108Ac	168Aa
Solução sem boro	43Ba	25Bb	18Bb
Raiz			
Solução com boro	82Aa	40Ac	66Ab
Solução sem boro	72Ba	36Ab	33Bb
Parte comercial			
Solução com boro	- ⁽²⁾	-	42A
Solução sem boro	-	-	23B
Acúmulo de boro (mg por planta)			
Folha			
Solução com boro	0,43Ac	1,43Ab	3,87Aa
Solução sem boro	0,18Ba	0,42Ba	0,35Ba
Caule			
Solução com boro	0,03Ac	0,16Ab	0,30Aa
Solução sem boro	0,03Ab	0,20Aa	0,21Ba
Raiz			
Solução com boro	0,01Ac	0,02Bb	0,06Aa
Solução sem boro	0,01Ab	0,03Aa	0,02Ba
Parte comercial			
Solução com boro	-	-	0,43A
Solução sem boro	-	-	0,18B
Planta inteira			
Solução com boro	0,47Ac	1,61Ab	4,67Aa
Solução sem boro	0,23Ab	0,65Ba	0,76Ba

Média seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem a 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey. ⁽¹⁾ Estádios fenológicos da couve-flor, aos 30 (primeiro), 55 (segundo) e 95 (terceiro) dias após o transplante; ⁽²⁾ Variável não avaliada devido ausência do órgão na planta.

4.2. Experimentos 2 - Doses de boro, via foliar, no desenvolvimento e no teor de B em plantas de repolho e couve-flor

4.2.1. Repolho

Verificaram-se efeitos significativos das doses de boro em todas as características avaliadas, com exceção do número de folhas, área foliar e matéria seca da folha (Tabela 7).

Tabela 7. Resumo da análise de variância (Teste F e CV) referente ao número de folhas (NF), área foliar (AF), matéria seca de folha (MSF), matéria fresca (MFCO) e seca da parte comercial (MSCO), matéria seca de planta inteira (MSP) e teor de boro foliar (TBF) em função das doses de boro via aplicação foliar, em plantas de repolho 'Astrus', aos 73 dias após o transplante. UNESP - FCAV, Jaboticabal - SP, 2007.

Fontes de variação	NF	AF	MSF	MFCO	MSCO	MSP	TBF
Tratamentos	11,73 ^{ns}	6,40 ^{ns}	12,89 ^{ns}	117,48 ^{**}	39,42 ^{**}	31,46 ^{**}	171,45 ^{**}
C.V. (%)	4,6	7,7	6,7	9,6	12,1	7,5	4,4

^{ns}, ^{**}, não significativo e significativo a 1% de probabilidade, pelo Teste F, respectivamente.

A produção máxima de matéria fresca da parte comercial foi 1.614,04 g por planta, obtida com boro na dose de 0,190 g L⁻¹ (Figura 1a). A produção máxima de matéria seca da parte comercial, 73,63 g por planta, foi obtida com a dose de boro de 0,224 g L⁻¹ (Figura 1b). Entretanto, 66,32 g por planta (90%) desta produção foram obtidos com 0,136 g L⁻¹ de boro, sendo associado a 15 mg kg⁻¹ de boro foliar na folha diagnóstica. Para atingir o máximo de matéria seca da planta inteira (164,85 g), foram necessários 0,240 g L⁻¹, enquanto 90% (148,36) da produção foi obtida utilizando-se 0,110 g L⁻¹, sendo esta associada a 14 mg kg⁻¹ de boro foliar na folha diagnóstica (Figura 1c). A adubação com boro, na maior dose (0,340 g L⁻¹), proporcionou aumento de 171% e 129% na matéria seca da parte comercial e da planta inteira,

respectivamente, quando comparado ao tratamento sem aplicação do micronutriente. Isso se deve a melhoria na nutrição devido ao seu papel em vários processos fisiológicos das plantas, como: transporte de açúcar; síntese da parede celular; estrutura da parede celular; metabolismos de carboidratos; metabolismos de RNA, dentre outros (MARSCHNER, 1995).

Houve ajuste quadrático para o teor de boro foliar na folha diagnóstica de repolho, e por meio da derivada da equação de regressão o teor obtido foi de 18 mg kg^{-1} (Figura 1a), encontrando-se abaixo da faixa adequada ($25\text{-}75 \text{ mg kg}^{-1}$) de TRANI & RAIJ (1997); sendo os níveis críticos de boro de 15 e 14 para matéria seca da parte comercial e planta inteira, respectivamente.

As plantas de repolho não apresentaram sintomas de deficiência de boro. Denotando que pode conter traços de boro nos fertilizantes utilizados na solução nutritiva sem boro e também pela água de irrigação ($6,22 \mu\text{g L}^{-1} \text{ B}$) ter fornecido quantidade suficiente de boro às plantas. Isso porque, relato da literatura afirma que ausência de sintomas de deficiência de boro pode ser explicada pela capacidade da água em fornecer quantidades suficientes de boro durante o crescimento da planta (SHORROCKS, 1997).

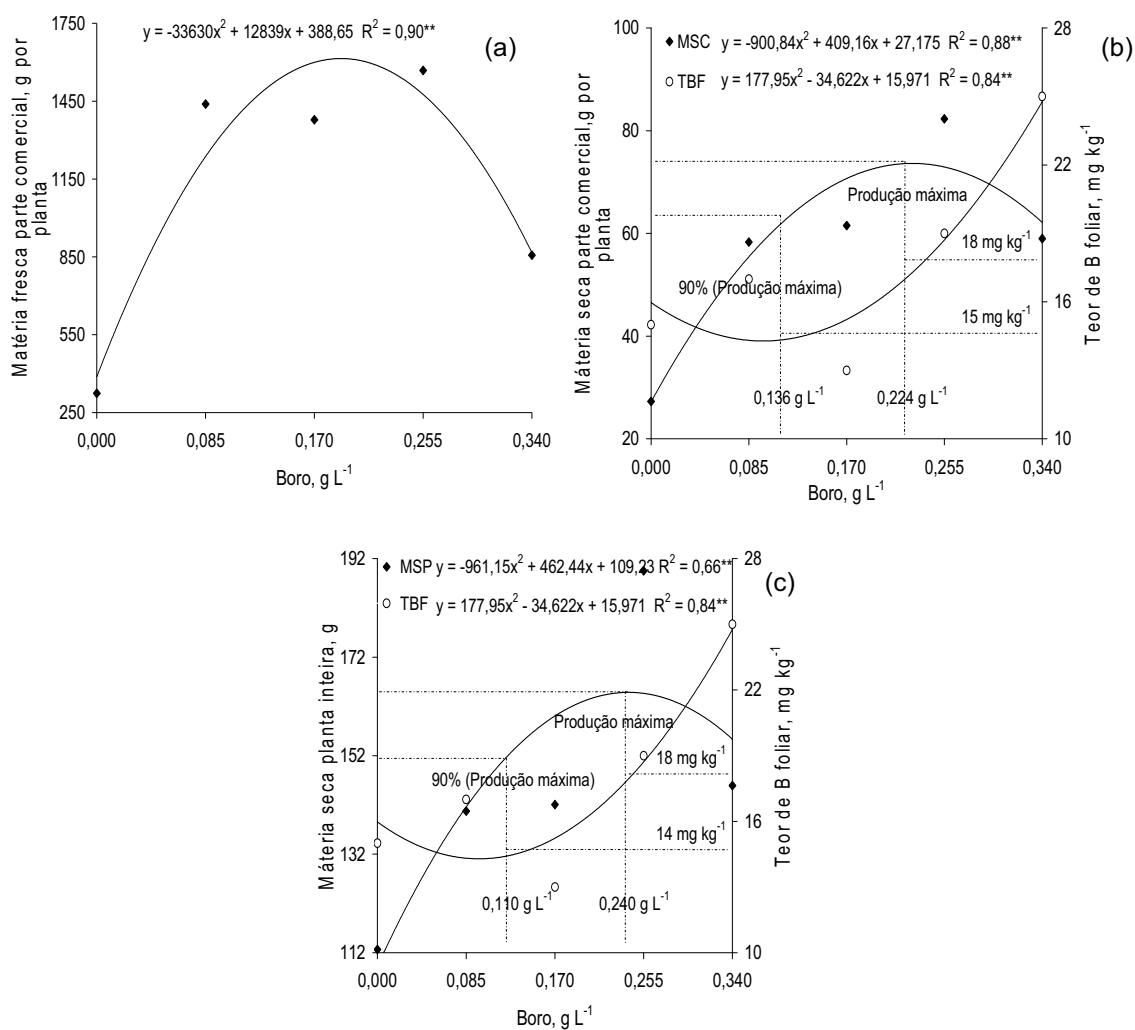


Figura 1. Matéria fresca da parte comercial (a); matéria seca da parte comercial e teor de boro foliar (b), e matéria seca da planta inteira e teor de boro foliar (c), em plantas de repolho 'Astrus', aos 73 dias após o transplante, em função de doses de boro via aplicação foliar. UNESP - FCAV, Jaboticabal - SP, 2007.

4.2.2. Couve-flor

Verificaram-se efeitos significativos das doses de boro em todas as características avaliadas, exceto para o número de folhas, área foliar e matéria seca da folha (Tabela 8).

Tabela 8. Resumo da análise de variância (Teste F e CV) referente ao número de folhas (NF), área foliar (AF), matéria seca de folha (MSF), matéria fresca (MFCO) e seca da parte comercial (MSCO), matéria seca de planta inteira (MSP) e teor de boro foliar (TBF) em função das doses de boro via foliar, em plantas de couve-flor 'Verona', aos 69 dias após o transplante. UNESP - FCAV, Jaboticabal - SP, 2007.

Fontes de variação	NF	AF	MSF	MFCO	MSCO	MSP	TBF
Tratamentos	0,86 ^{ns}	1,04 ^{ns}	0,77 ^{ns}	40,49**	38,80**	23,48**	24,42**
C.V. (%)	6,0	9,2	3,1	9,8	8,2	3,1	11,6

^{ns}, **, não significativo e significativo a 1% de probabilidade, pelo Teste F, respectivamente.

A matéria fresca da parte comercial aumentou linearmente com as doses de boro, sendo de 659,98 g por planta quando se utilizou 0,340 g L⁻¹ de boro (Figura 2a). As produções de matéria seca da parte comercial e matéria seca da planta inteira de couve-flor variaram de 33,13 a 56,83 e de 138,11 a 160,10 g por planta, respectivamente (Figuras 2b; c). Os incrementos proporcionados pela aplicação de 0,340 g L⁻¹ de boro nas matérias secas da parte comercial e da planta inteira foram de 71% e 16%, respectivamente, em relação ao tratamento sem aplicação do nutriente. Aumentos na produção de couve-flor utilizando-se adubação boratada foram constatados por SHATTUCK & SHELP (1987) em experimento empregando-se 3 kg ha⁻¹ de boro no solo, associado a duas aplicações foliares, obtiveram aumento na produção de couve-flor. KOTUR (1998) verificou um acréscimo de 76% na produção de

couve-flor com aplicação de $1,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de boro no solo, associado a três aplicações foliares de solução de ácido bórico ($0,021 \text{ g L}^{-1}$ de B).

O teor de boro foliar na couve-flor aumentou linearmente com doses de boro variando de 14 a 25 mg kg^{-1} (Figura 2b). Os teores de boro foliar encontram-se abaixo da faixa adequada (30-80) de TRANI & RAIJ (1997). Isso pode ter ocorrido em função das condições de cultivo, uma vez que as plantas foram cultivadas em vasos com areia lavada e os teores adequados indicados por TRANI & RAIJ (1997) foram em experimentos a campo.

A couve-flor apresentou sintomas característicos de deficiência do nutriente nas plantas da testemunha e na menor dose de boro utilizada (Figuras 3a; b). As demais doses proporcionaram produção de “cabeças” (parte comercial) compactas e de coloração normal, características de boa qualidade do produto (Figuras 3c; d; e). Isso se deve a melhoria na nutrição devido ao papel do boro em vários processos fisiológicos das plantas, como: transporte de açúcar; síntese da parede celular; estrutura da parede celular; metabolismos de carboidratos; metabolismos de RNA, dentre outros, conferindo boa qualidade ao produto (MARSCHNER, 1995).

As plantas de couve-flor deficientes em boro apresentaram “cabeças” (parte comercial) frouxas e de coloração marrom (Figuras 3a; b). Sintomas semelhantes foram constatados por PIZETTA et al. (2005), que registraram presença de plantas com coloração castanha. Na literatura é relatado que esses sintomas ocorrem por haver prejuízos no transporte e na ação dos reguladores de crescimento, causando distúrbios no desenvolvimento da planta (MELO & LEMOS, 1991).

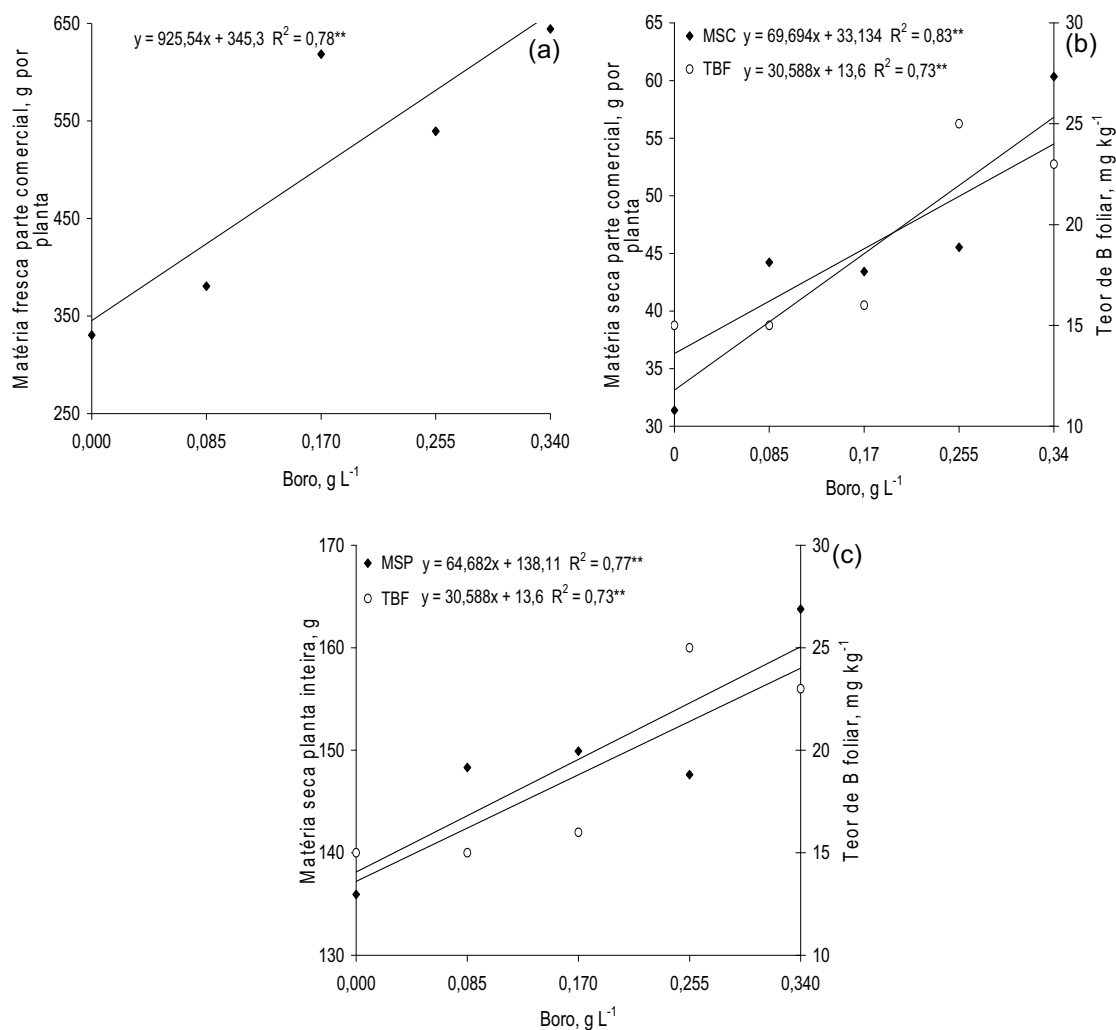


Figura 2. Matéria fresca da parte comercial (a); matéria seca da parte comercial e teor de boro foliar (b), e matéria seca da planta inteira e teor de boro foliar (c), em plantas de couve-flor 'Verona', aos 69 dias após o transplante, em função de doses de boro via foliar. UNESP - FCAV, Jaboticabal - SP, 2007.

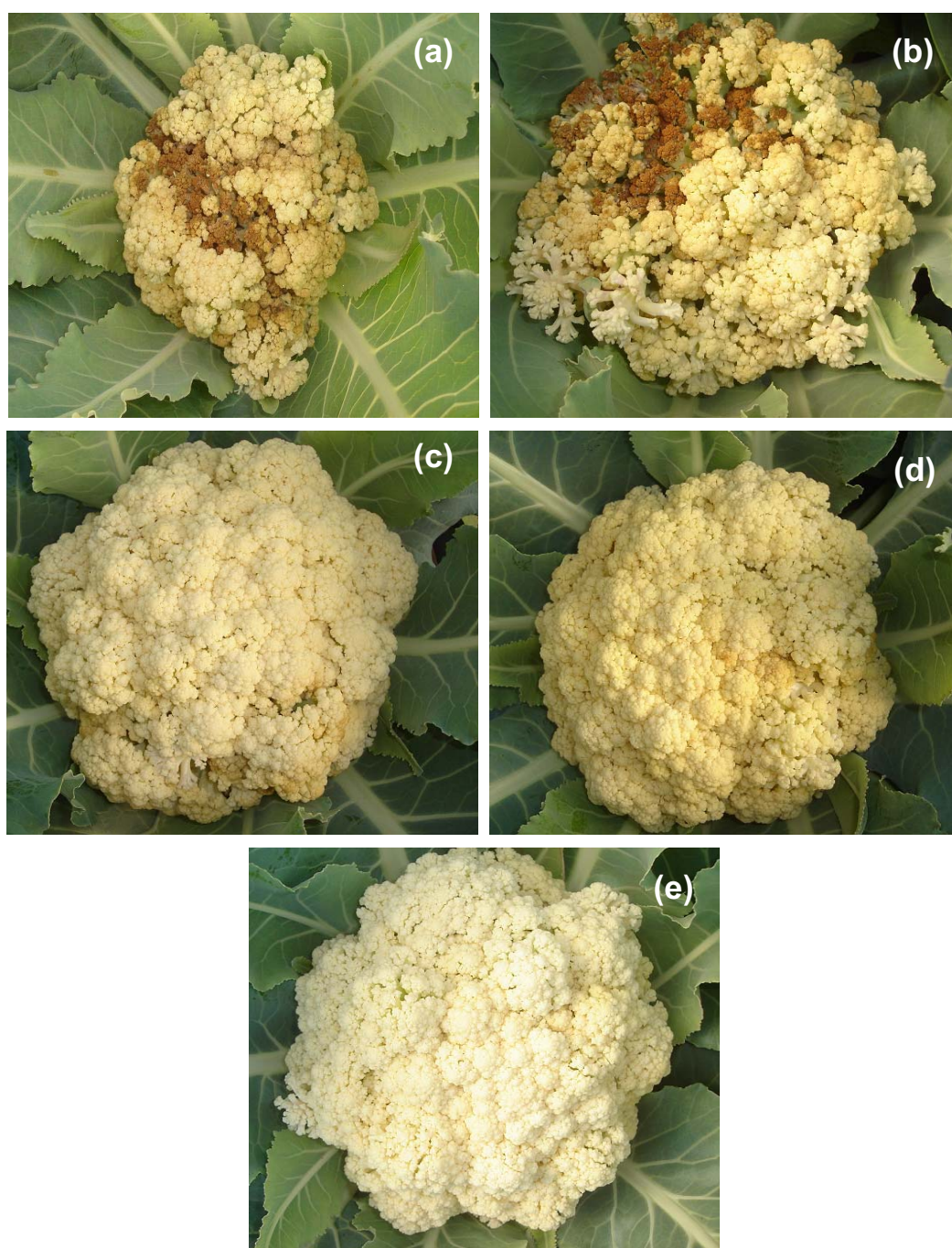


Figura 3. Sintomas de deficiência de boro, na couve-flor 'Verona', aos 69 dias após o transplante, em função de doses de boro em g L^{-1} , 0,000 (a); 0,085 (b); 0,170 (c); 0,255 (d), e 0,340 (e), via aplicação foliar. UNESP - FCAV, Jaboticabal - SP, 2007.

4.3. Experimentos 3 - Tempo de absorção de boro, via foliar, em plantas de repolho e de couve-flor

4.3.1. Repolho

Houve incremento na área foliar [Y (com B) = $537,139+152,682X$ $R^2 = 0,99^{**}$; Y (Sem B) = $367,323+205,424X-2,35642X^2$ $R^2 = 0,97^{**}$], altura das plantas [Y (Com B) = $11,2272+0,477845X-0,00276931X^2$ $R^2 = 0,98^{**}$; Y (Sem B) = $8,47089+0,678376X-0,0062423X^2$ $R^2 = 0,99^{**}$], número de folhas [Y (Com B) = $10,4803+0,384348X$ $R^2 = 0,99^{**}$; Y (Sem B) = $10,496+0,345595X$ $R^2 = 0,99^{**}$] e diâmetro do caule [Y (Com B) = $4,83844+0,19622X-0,00197078X^2$ $R^2 = 0,99^{**}$; Y (Sem B) = $4,41843+0,242352X$ $R^2 = 0,99^{**}$] ao longo do tempo após aplicação da solução de boro via foliar.

Com aplicação de boro foram obtidos os máximos valores de 5117,60 cm²; 23,07 cm; 22 e 8,95 mm para área foliar; altura, número de folhas e diâmetro do caule, respectivamente, e na omissão do boro os resultados para área foliar, altura, número de folhas e diâmetro do caule, respectivamente, foram de 4409,26 cm²; 23,20 cm; 21 e 11,69 mm, aos 30 dias após aplicação da solução.

Para matéria seca das folhas, do caule e da raiz (Figuras 4a; b; c) os maiores incrementos (48,20; 4,46 e 5,45 g por planta, respectivamente) foram atingidos aos 30 dias com aplicação de boro. Com omissão de boro os incrementos foram de 43,60; 3,99 e 5,27 g por planta para matéria seca das folhas, do caule e da raiz, respectivamente, também aos 30 dias.

Na matéria seca da planta inteira o acúmulo máximo foi de 58,09 e 52,86 g por planta com aplicação e omissão de boro, respectivamente, aos 30 dias após aplicação da solução (Figura 4d). O aumento da matéria seca da planta é reflexo do aumento da matéria seca das folhas, do caule e da raiz.

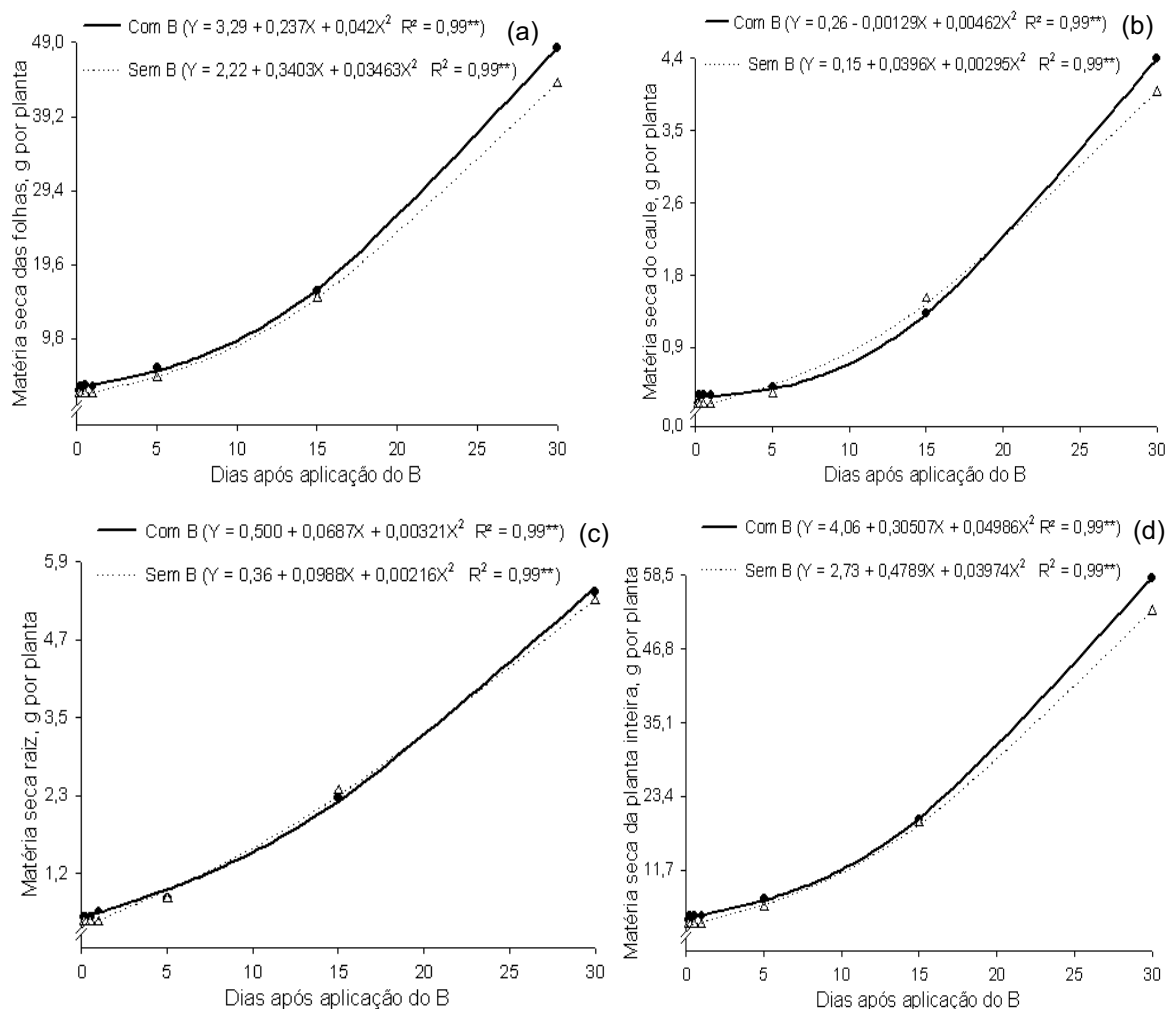


Figura 4. Matéria seca das folhas (a), caule (b), raiz (c) e planta inteira (d), em função do tempo após a aplicação da solução de boro via foliar aos 0,12 (3 h); 0,25 (6 h); 0,5 (12 h); 1; 5; 15 e 30 dias após a aplicação, em plantas de repolho ‘Astrus’, aos 53 dias após o transplante. UNESP - FCAV, Jaboticabal - SP, 2008.

Verificou-se que houve aumento do teor foliar de B nas folhas no tratamento que recebeu a adubação foliar, quando comparadas às folhas do tratamento controle (Figura 5a). O teor de B nas folhas atingiu ponto de máximo de $89,10 \text{ mg kg}^{-1}$ 3 horas após aplicação da solução. A testemunha apresentou mesmo comportamento nas folhas atingindo teor máximo de $45,80 \text{ mg kg}^{-1}$ 3 horas após aplicação da solução.

O máximo acúmulo de boro nas folhas foi de 1,10 mg por planta, aos 30 dias após aplicação da solução. A absorção de B pelas folhas do repolho é lenta, chegando a absorver 50% do B aplicado no período de 15 dias (Figura 5b). Assim, pode-se inferir que se ocorrer chuvas antes dos 15 dias após aplicação do boro, poderiam comprometer a eficiência da adubação foliar, isso porque 50% da absorção do nutriente só ocorreram após 15 dias após sua aplicação. Foi verificado aumento do acúmulo de boro nas folhas das plantas que não receberam a solução. Denotando que pode conter traços de boro nos fertilizantes utilizados na solução nutritiva sem boro e também pela água de irrigação ($6,22 \mu\text{g L}^{-1}$ B) ter fornecido quantidade suficiente de boro às plantas.

A velocidade de absorção do boro pelas folhas do repolho foi lenta. Isto pode ter ocorrido, em função da alta cerosidade das folhas. Isso porque a velocidade de absorção de nutrientes pelas folhas depende principalmente da espessura da cutícula e da camada de cera (KERBAUY, 2004), e estudos recentes têm mostrado que as ceras cuticulares constituem na realidade a verdadeira barreira à entrada de solutos no tecido foliar (RIEDERER & SCHREIBER, 2001).

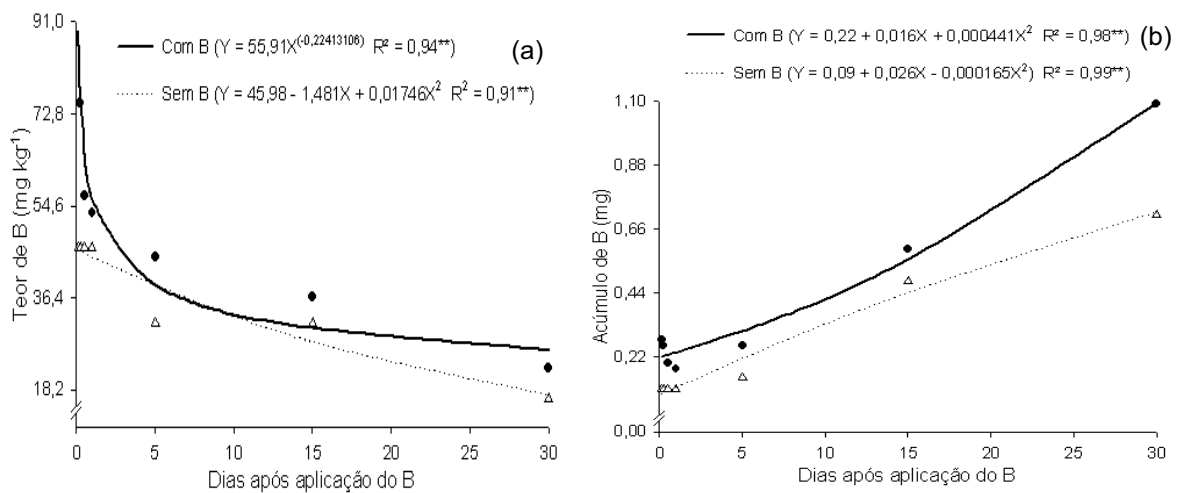


Figura 5. Teor e acúmulo de boro nas folhas em função do tempo após a aplicação da solução de boro via foliar aos 0,12 (3 h); 0,25 (6 h); 0,5 (12 h); 1; 5; 15 e 30 dias após a aplicação, em plantas de repolho 'Astrus', aos 53 dias após o transplante. UNESP - FCAV, Jaboticabal - SP, 2008.

4.3.2. Couve-flor

Houve incremento na área foliar [Y (com B) = $716,533+139,443X+0,809064X^2$ $R^2 = 0,99^{**}$; Y (Sem B) = $609,997+86,4798X+2,03447X^2$ $R^2 = 0,99^{**}$], altura das plantas [Y (Com B) = $11,48+5,387*X^{0,5}$ $R^2 = 0,96^{**}$; Y (Sem B) = $10,45+1,342X-0,0114X^2$ $R^2 = 0,99^{**}$], número de folhas [Y (Com B) = $8,52+1,911*X^{0,5}$ $R^2 = 0,91^{**}$; Y (Sem B) = $9,19+0,1039X+0,01008X^2$ $R^2 = 0,99^{**}$] e diâmetro do caule [Y (Com B) = $5,66435+0,403062X-0,0047695X^2$ $R^2 = 0,98^{**}$; Y (Sem B) = $4,76584+0,390544X-0,00647978X^2$ $R^2 = 0,97^{**}$] ao longo do tempo após aplicação da solução de boro via foliar.

Com aplicação de boro foram obtidos os máximos valores de 5627,98 cm²; 40,98 cm; 19 e 13,46 mm para área foliar; altura, número de folhas e diâmetro do caule, respectivamente, e na omissão do boro os resultados para área foliar, altura, número de folhas e diâmetro do caule, respectivamente, foram de 5035,41 cm²; 40,45 cm; 21 e 10,65 mm, aos 30 dias após aplicação da solução.

Para matéria seca das folhas, do caule e da raiz (Figura 6a; b; c) os maiores incrementos (57,56; 6,91 e 20,48 g por planta, respectivamente) foram atingidos aos 30 dias com aplicação de boro. Com omissão de boro os incrementos foram de 50,33; 7,26 e 7,09 g por planta para matéria seca das folhas, do caule e da raiz, respectivamente, também aos 30 dias.

Na matéria seca da planta inteira o acúmulo máximo foi de 78,85 e 64,70 g por planta com aplicação e omissão de boro, respectivamente aos 30 dias (Figura 6d). “Os argumentos apresentados para o aumento da matéria seca da planta inteira do repolho se aplicam à couve-flor”.

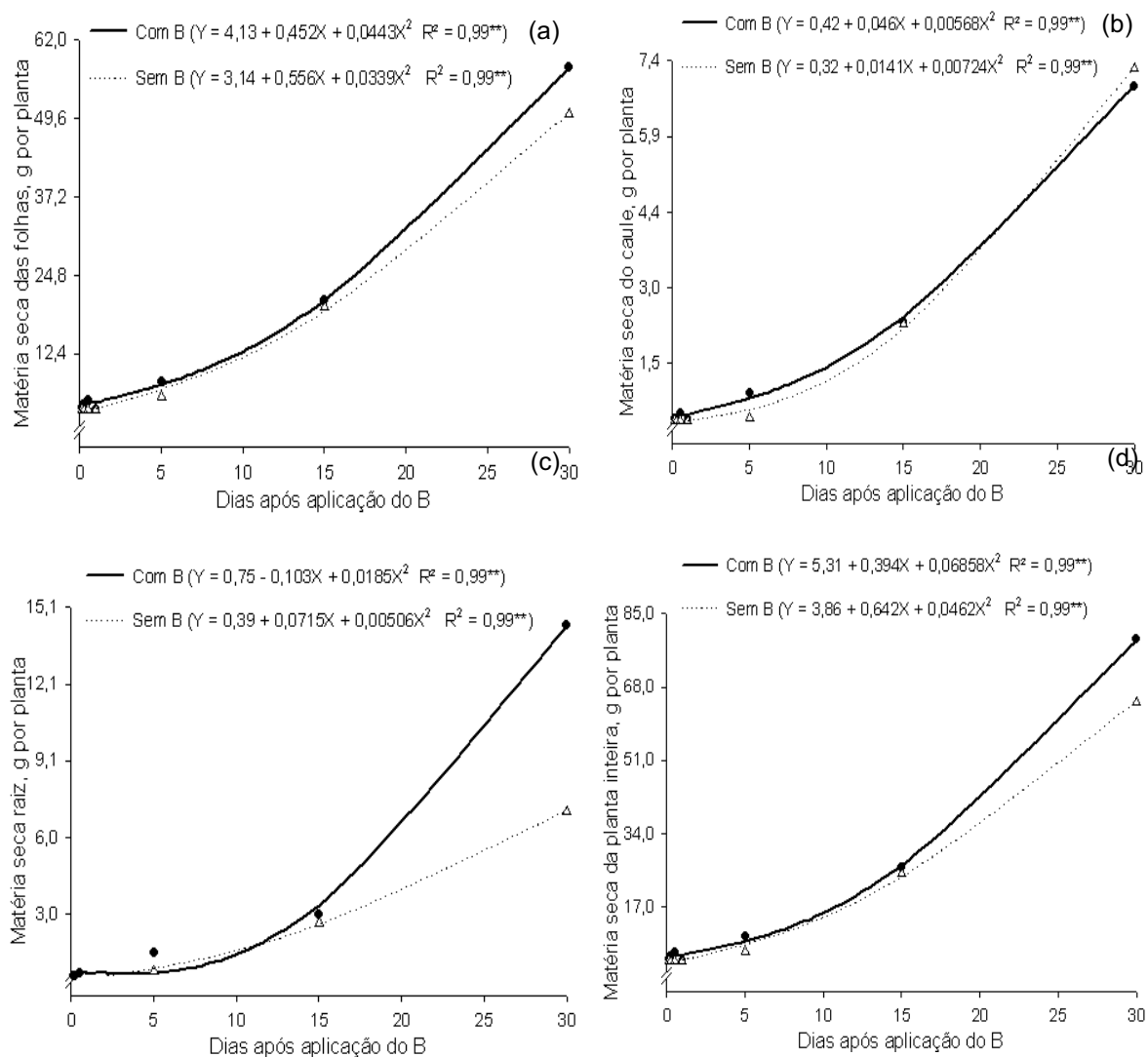


Figura 6. Matéria seca das folhas (a), caule (b), raiz (c) e planta inteira (d), em função do tempo após a aplicação da solução de boro via foliar aos 0,12 (3 h); 0,25 (6 h); 0,5 (12 h); 1; 5; 15 e 30 dias após a aplicação, em plantas de couve-flor 'Verona', aos 50 dias após o transplante. UNESP - FCAV, Jaboticabal - SP, 2008.

Verificou-se que houve aumento do teor foliar de B nas folhas no tratamento que recebeu a adubação foliar, quando comparadas às folhas do tratamento controle (Figura 7a). O teor de B nas folhas do repolho que receberam adubação com boro atingiu ponto de máximo de $92,22 \text{ mg kg}^{-1}$ 3 horas após aplicação. As folhas que não

receberam aplicação do micronutriente apresentaram teor máximo de $39,67 \text{ mg kg}^{-1}$ 3 horas após aplicação.

O máximo acúmulo de boro nas folhas foi de $0,82 \text{ mg}$ por planta, aos 30 dias após aplicação da solução. O B é absorvido pelas folhas da couve-flor de forma mais rápida que pelas folhas do repolho, chegando a absorver 50% do B aplicado no período de aproximadamente três dias e 12 horas (Figura 7b). Assim pode-se inferir que se ocorrer chuvas depois de 4 dias após sua aplicação, não comprometerá a eficiência da adubação foliar, pois já ocorreu 50% da absorção do nutriente pela planta. “As justificativas apresentadas no repolho para o aumento do acúmulo de boro observado nas plantas que não foram pulverizadas se aplicam a couve-flor”.

A velocidade de absorção do boro pelas folhas da couve-flor foi mais rápida (três dias e 12 horas após a aplicação da solução), quando comparado ao repolho (15 dias após a aplicação da solução). Isto pode ter ocorrido, em função da menor cerosidade das folhas. “As justificativas do repolho se aplicam à couve-flor”.

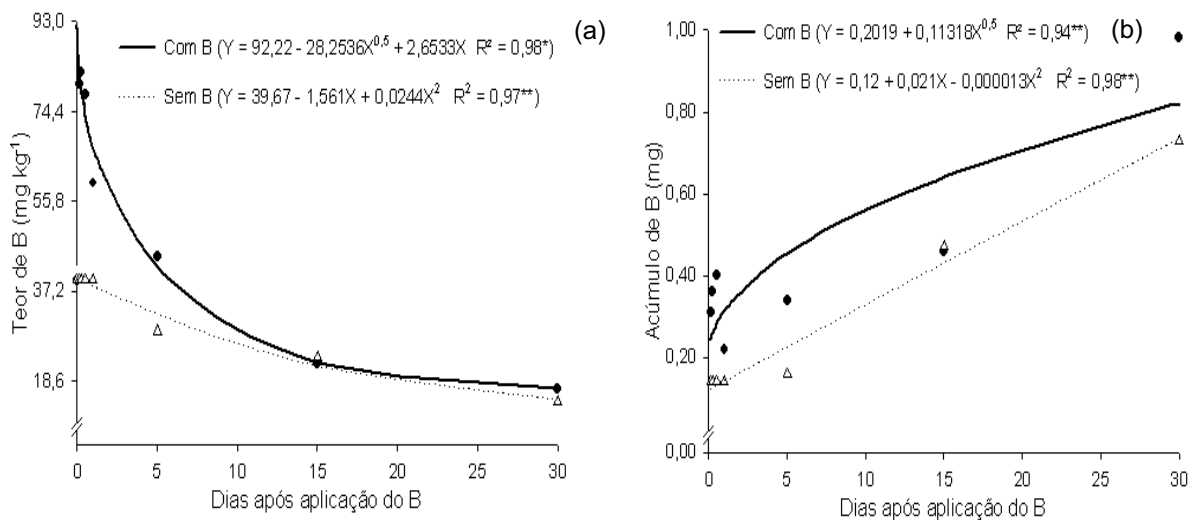


Figura 7. Teor e acúmulo de boro nas folhas em função do tempo após a aplicação da solução de boro via foliar aos 0,12 (3 h); 0,25 (6 h); 0,5 (12 h); 1; 5; 15 e 30 dias após a aplicação, em plantas de couve-flor ‘Verona’, aos 50 dias após o transplante. UNESP - FCAV, Jaboticabal - SP, 2008.

4.4. Experimentos 4 - Absorção foliar e radicular de B

4.4.1. Repolho

Houve diferença significativa nas características avaliadas com exceção da altura da planta, diâmetro do caule e matéria seca do caule e da folha nova em função dos tratamentos (Tabela 9). O tratamento sem boro no substrato e com ^{10}B foliar ($\text{S}_0\text{F}^{10}\text{B}$) apresentou maior acúmulo de matéria seca da planta inteira diferindo dos tratamentos, com boro normal no substrato e ^{10}B foliar ($\text{S}_\text{B}\text{F}^{10}\text{B}$) e com ^{10}B no substrato e sem boro foliar ($\text{S}^{10}\text{B}\text{F}_0$). O tratamento foliar foi melhor que o radicular possivelmente devido ao curto período de desenvolvimento das plantas (50 dias).

Tabela 9. Matéria seca do caule (MSC), das folhas emitidas antes e após a aplicação do ^{10}B , da raiz (MSR) e da planta inteira (MSP), altura da planta (ALT), número de folhas (NF), diâmetro do caule (DC) e área foliar (AF) em função da aplicação de boro, em plantas de repolho 'Astrus', aos 50 dias após o transplante. UNESP - FCAV, Jaboticabal - SP, 2008.

TRAT	MSC	Folhas antes aplicação ^{10}B	Folhas após aplicação ^{10}B	MSR	MSP	ALT	NF	DC	AF
	-----g-----					cm		mm	cm ²
$\text{S}_0\text{F}_0^{(1)}$	1,30a	14,76a	3,17a	1,31b	20,54a	17,17a	22,00ab	9,41a	1768,89ab
$\text{S}_0\text{F}^{10}\text{B}$	1,39a	14,54a	4,02a	1,52ab	21,46a	17,83a	22,80ab	9,43a	1910,20a
$\text{S}_\text{B}\text{F}^{10}\text{B}$	1,23a	12,26b	2,98a	1,77a	18,23b	17,67a	23,00a	8,78a	1648,06b
$\text{S}^{10}\text{B}\text{F}_0$	1,23a	11,61b	3,81a	1,34b	17,99b	16,83a	21,80b	9,13a	1656,62b
C.V. (%)	12,4	6,8	21,2	15,6	6,2	6,3	2,8	5,6	8,5

Média com mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ⁽¹⁾ S_0F_0 = sem B no substrato, sem adubação foliar; $\text{S}_0\text{F}^{10}\text{B}$ = sem B no substrato, com adubação foliar ^{10}B ; $\text{S}_\text{B}\text{F}^{10}\text{B}$ = com B no substrato, com adubação foliar ^{10}B ; $\text{S}^{10}\text{B}\text{F}_0$ = com ^{10}B no substrato, sem adubação foliar.

Os maiores teores de boro total nas folhas emitidas após a aplicação do ^{10}B (Tabela 10) foram obtidos nos tratamentos, com boro normal no substrato e ^{10}B foliar ($\text{S}_\text{B}\text{F}^{10}_\text{B}$) e com ^{10}B no substrato e sem boro foliar ($\text{S}^{10}_\text{B}\text{F}_0$). O teor de boro total das folhas do tratamento $\text{S}^{10}_\text{B}\text{F}_0$ encontra-se dentro da faixa adequada, segundo TRANI & RAIJ (1997) que é de 25-75 mg kg^{-1} considerado ideal para o desenvolvimento das plantas de repolho. Contudo, o tratamento $\text{S}_\text{B}\text{F}^{10}_\text{B}$ está um pouco acima do limite superior. O tratamento $\text{S}_0\text{F}^{10}_\text{B}$ apresentou diferença significativa da testemunha (sem boro no substrato e sem boro foliar, S_0F_0), provavelmente este aumento no teor de boro foi proveniente da adubação foliar com ^{10}B . A maior porcentagem de ^{10}B da amostra nas folhas emitidas após a aplicação do ^{10}B foi de 37,34 no tratamento $\text{S}^{10}_\text{B}\text{F}_0$, ou seja, a maior parte do micronutriente nas folhas emitidas após a aplicação do ^{10}B provém de sua aplicação no substrato.

Os valores da porcentagem de B nas folhas emitidas após a aplicação do ^{10}B derivado do fertilizante (%Bppf) foram maiores no tratamento $\text{S}^{10}_\text{B}\text{F}_0$ comparado aos tratamentos $\text{S}_0\text{F}^{10}_\text{B}$ e $\text{S}_\text{B}\text{F}^{10}_\text{B}$ (Tabela 10). Do boro absorvido pelas folhas que receberam a pulverização, pequena parcela de 1,31 e 0,10%, respectivamente para $\text{S}_0\text{F}^{10}_\text{B}$ e $\text{S}_\text{B}\text{F}^{10}_\text{B}$, foi translocado para as folhas novas. No tratamento $\text{S}^{10}_\text{B}\text{F}_0$ observou-se que o ^{10}B aplicado no substrato foi absorvido pelas raízes e transportado para os órgãos em crescimento, apresentando valores nas folhas de 22,10%, diferentemente observou-se no tratamento $\text{S}_0\text{F}^{10}_\text{B}$ que a adubação foliar com ^{10}B apresentou valores nas folhas novas de 1,31% indicando que as plantas de repolho apresentam baixa mobilidade de B. Diferenças na absorção do boro foram verificadas por SHELPS et al. (1987) que verificaram diferença na absorção do boro em rabanete. Os autores constataram que o nutriente foi distribuído no floema das raízes para as partes mais jovens da planta quando o boro apresentava concentrações adequadas na solução. No presente trabalho foi utilizado o método do uso de isótopos, diferentemente do trabalho de SHELPS et al. (1987) que utilizaram o método indireto por meio da variação do teor de nutrientes.

Observou-se que a concentração de B nas folhas emitidas após a aplicação do ^{10}B derivado do fertilizante foi de 0,73; 0,07 e 15,90 mg kg^{-1} respectivamente, para $\text{S}_0\text{F}^{10}_\text{B}$; $\text{S}_\text{B}\text{F}^{10}_\text{B}$ e $\text{S}^{10}_\text{B}\text{F}_0$. Esta concentração de boro nos tratamentos $\text{S}_0\text{F}^{10}_\text{B}$ e $\text{S}_\text{B}\text{F}^{10}_\text{B}$ nas folhas

não foi suficiente para atender a exigência nutricional de B no tecido novo, sendo necessárias novas aplicações de B, principalmente, quando as plantas estiverem emitindo novas folhas. Além disso, deve-se ter atenção nas aplicações, pois a absorção de B é limitada, uma vez que a área foliar das folhas novas é restrita e a quantidade do nutriente depositado é pequena no momento da pulverização, portanto é importante aumentar a frequência das aplicações.

A maior concentração de B no tratamento $S^{10}_B F_0$ pode ser explicada porque o B ao ser absorvido pelas raízes é transportado para a parte aérea da planta pelo fluxo transpiratório, o nutriente se dirigiu para as partes da planta que estão em atividade. Segundo HU & BROWN (1997), nas espécies em que o B tem redistribuição restrita, o nutriente absorvido pelas raízes é transportado para a parte aérea pela corrente transpiratória (xilema) e se acumula nos pontos de crescimento (folhas e galhos). Demonstra-se assim, que a aplicação do B no substrato é mais eficiente em nutrir as partes jovens da planta do que sua aplicação nas folhas. Isso porque o B é móvel no xilema, que é a principal forma de transporte deste das raízes para a parte aérea. Entretanto, é pouco móvel no floema, por onde deveria ser transportado das folhas que recebem a adubação foliar para as partes jovens da planta, que são os principais drenos.

Tabela 10. Teores médios de B nas folhas emitidas após a aplicação do ^{10}B e porcentagem de ^{10}B nas folhas emitidas após a aplicação do ^{10}B derivado do fertilizante, em plantas de repolho 'Astrus', aos 50 dias após o transplante. UNESP - FCAV, Jaboticabal - SP, 2008.

Tratamentos	Boro total na amostra	Porcentagem de ^{10}B na amostra	Porcentagem de B nas folhas emitidas após a aplicação do ^{10}B derivado do fertilizante	Concentração de B nas folhas emitidas após a aplicação do ^{10}B derivado do fertilizante
	mg kg ⁻¹	% ^{10}B	%Bppf	mg kg ⁻¹ Bppf
S ₀ F ₀ ⁽¹⁾	44c	19,85b	0,00	0,00
S ₀ F _B ¹⁰	55b	20,89b	1,31	0,73
S _B F _B ¹⁰	80a	19,93b	0,10	0,07
S _B F ₀ ¹⁰	72a	37,34a	22,10	15,90
C.V. (%)	8,1	3,1		

Média com mesma letra na coluna não difere entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ⁽¹⁾ S₀F₀ = sem B no substrato, sem adubação foliar; S₀F_B¹⁰ = sem B no substrato, com adubação foliar ^{10}B ; S_BF_B¹⁰ = com B no substrato, com adubação foliar ^{10}B ; S_BF₀¹⁰ = com ^{10}B no substrato, sem adubação foliar.

4.4.2. Couve-flor

Houve diferença significativa nas características avaliadas com exceção da altura da planta, número de folhas e matéria seca de folha velha e da raiz em função dos tratamentos (Tabela 11). O tratamento sem boro no substrato e com ^{10}B foliar (S₀F_B¹⁰) apresentou maior acúmulo de matéria seca da planta inteira diferindo dos tratamentos, com boro normal no substrato e ^{10}B foliar (S_BF_B¹⁰) e com ^{10}B no substrato e sem boro foliar (S_BF₀¹⁰). O tratamento foliar foi melhor que o radicular possivelmente devido ao curto período de desenvolvimento das plantas (50 dias).

Tabela 11. Matéria seca caule (MSC), das folhas emitidas antes e após a aplicação do ^{10}B , da raiz (MSR), da parte comercial (MSCO) e da planta inteira (MSP), altura da planta (ALT), número de folhas (NF), diâmetro do caule (DC) e área foliar (AF) em função da aplicação de boro em plantas de couve-flor 'Verona', aos 50 dias após o transplante. UNESP - FCAV, Jaboticabal - SP, 2008.

TRAT	MSC	Folhas antes aplicação ^{10}B	Folhas após aplicação ^{10}B	MSR	MSCO	MSP	ALT	NF	DC	AF
		-----g-----					cm		mm	cm ²
$\text{S}_0\text{F}_0^{(1)}$	3,80a	12,34a	5,79b	0,69a	3,81a	26,44a	28,20a	19,60a	8,85a	2078,55a
$\text{S}_0\text{F}^{10}_{\text{B}}$	4,11a	12,72a	7,67a	0,59a	3,51ab	28,60a	29,30a	19,80a	8,94a	2189,49a
$\text{S}_{\text{B}}\text{F}^{10}_{\text{B}}$	3,43ab	10,85a	5,80b	0,78a	1,97ab	22,83b	28,70a	20,00a	8,66a	1823,54b
$\text{S}^{10}_{\text{B}}\text{F}_0$	3,06b	10,46a	5,41b	0,84a	1,63b	21,41b	27,30a	19,30a	7,81b	1727,32b
C.V.										
(%)	12,3	14,5	14,3	55,2	43,5	8,9	8,2	5,9	5,6	6,3

Média com mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ⁽¹⁾ S_0F_0 = sem B no substrato, sem adubação foliar; $\text{S}_0\text{F}^{10}_{\text{B}}$ = sem B no substrato, com adubação foliar ^{10}B ; $\text{S}_{\text{B}}\text{F}^{10}_{\text{B}}$ = com B no substrato, com adubação foliar ^{10}B ; $\text{S}^{10}_{\text{B}}\text{F}_0$ = com ^{10}B no substrato, sem adubação foliar.

Os teores de boro total nas folhas emitidas após aplicação do ^{10}B não diferiram estatisticamente entre os tratamentos (Tabela 12). O teor de boro total das folhas em todos os tratamentos encontram-se dentro da faixa adequada, segundo TRANI & RAIJ (1997) que é de 30-80 mg kg⁻¹ considerado ideal para o desenvolvimento das plantas de couve-flor. Contudo, o tratamento $\text{S}_{\text{B}}\text{F}^{10}_{\text{B}}$ apresentou o maior teor de boro, sendo de 37 mg kg⁻¹. A maior porcentagem de ^{10}B na amostra das folhas emitidas após a aplicação de ^{10}B foi de 39,05 no tratamento $\text{S}^{10}_{\text{B}}\text{F}_0$, ou seja, a maior parte do micronutriente nas folhas emitidas após aplicação do ^{10}B provém de sua aplicação no substrato.

Os valores da porcentagem de B nas folhas emitidas após a aplicação do ^{10}B derivado do fertilizante (%Bppf) foram maiores no tratamento $\text{S}^{10}_{\text{B}}\text{F}_0$ comparado aos tratamentos $\text{S}_0\text{F}^{10}_{\text{B}}$ e $\text{S}_{\text{B}}\text{F}^{10}_{\text{B}}$ (Tabela 12). Do boro absorvido pelas folhas que receberam a pulverização, pequena parcela de 0,33% no tratamento $\text{S}_0\text{F}^{10}_{\text{B}}$, foi translocado para as folhas emitidas após a aplicação do ^{10}B . No tratamento $\text{S}_{\text{B}}\text{F}^{10}_{\text{B}}$ observou-se que não houve

redistribuição do B para as emitidas após a aplicação do ^{10}B . Isto ocorreu em razão da exigência nutricional desse órgão ter sua exigência atendida. No tratamento $\text{S}^{10}\text{B}\text{F}_0$ observou-se que ^{10}B aplicado no substrato foi absorvido pelas raízes e transportado para os órgãos em crescimento, apresentando valores nas folhas de 24,26%. Diferentemente observou-se no tratamento $\text{S}_0\text{F}^{10}\text{B}$ que a adubação foliar com ^{10}B apresentou valores nas folhas novas de 0,33% indicando que a couve-flor apresenta baixa mobilidade de B.

Observou-se que a concentração de B proveniente da solução nutritiva foi de 0,11; 0,00 e 8,43 mg kg^{-1} respectivamente, para $\text{S}_0\text{F}^{10}\text{B}$; $\text{S}_\text{B}\text{F}^{10}\text{B}$ e $\text{S}^{10}\text{B}\text{F}_0$. Esta concentração de boro nos tratamentos $\text{S}_0\text{F}^{10}\text{B}$; $\text{S}_\text{B}\text{F}^{10}\text{B}$ nas folhas não foi suficiente para atender a exigência nutricional de B no tecido novo, sendo necessárias novas aplicações de B, principalmente, quando as plantas estiverem emitindo novas folhas. Além disso, deve-se ter atenção nas aplicações, pois a absorção de B é limitada, uma vez que a área foliar das folhas emitidas após a aplicação do ^{10}B é restrita e a quantidade do nutriente depositado é pequena no momento da pulverização, portanto é importante aumentar a frequência das aplicações.

A maior concentração de B nas folhas emitidas após a aplicação do ^{10}B derivado do fertilizante no tratamento $\text{S}^{10}\text{B}\text{F}_0$ pode ser explicada porque o B ao ser absorvido pelas raízes é transportado para a parte aérea da planta pelo fluxo transpiratório, o nutriente se dirigiu para as partes da planta que estão em atividade. Segundo HU & BROWN (1997), nas espécies em que o B tem redistribuição restrita, o nutriente absorvido pelas raízes é transportado para a parte aérea pela corrente transpiratória (xilema) e se acumula nos pontos de crescimento (folhas e galhos).

Demonstra-se assim, que a aplicação do B no substrato é mais eficiente em atender a exigência nutricional das partes jovens da planta que sua aplicação nas folhas. Isso porque o B é móvel no xilema, que é a principal forma de transporte deste das raízes para a parte aérea, mas é pouco móvel no floema, por onde deveria ser transportado das folhas que recebem a adubação foliar para as partes jovens da planta, que são os principais drenos.

Tabela 12. Teores médios de B nas folhas emitidas após a aplicação do ^{10}B e porcentagem de ^{10}B nas folhas emitidas após a aplicação do ^{10}B derivado do fertilizante, em plantas de couve-flor 'Verona', aos 50 dias após o transplante. UNESP - FCAV, Jaboticabal - SP, 2008.

Tratamentos	Boro total na amostra	Porcentagem de ^{10}B na amostra	Porcentagem de B nas folhas emitidas após a aplicação do ^{10}B derivado do fertilizante	Concentração de B nas folhas emitidas após a aplicação do ^{10}B derivado do fertilizante
	mg kg^{-1}	% ^{10}B	%Bppf	mg kg^{-1} Bppf
$\text{S}_0\text{F}_0^{(1)}$	31a	19,85b	0,00	0,00
$\text{S}_0\text{F}_B^{10}$	30a	20,11b	0,33	0,11
$\text{S}_B\text{F}_B^{10}$	37a	19,85b	0,00	0,00
$\text{S}_B^{10}\text{F}_0$	35a	39,05a	24,26	8,43
C.V. (%)	14,3	5,3		

Média com mesma letra na coluna não difere entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ⁽¹⁾ S_0F_0 = sem B no substrato, sem adubação foliar; $\text{S}_0\text{F}_B^{10}$ = sem B no substrato, com adubação foliar ^{10}B ; $\text{S}_B\text{F}_B^{10}$ = com B no substrato, com adubação foliar ^{10}B ; $\text{S}_B^{10}\text{F}_0$ = com ^{10}B no substrato, sem adubação foliar.

5. CONCLUSÕES

1. O efeito da deficiência de boro ficou evidente no final do ciclo das hortaliças (terceiro estágio de desenvolvimento), causando maior diminuição na parte comercial.
2. A adubação foliar com o micronutriente promoveu a máxima produção de matéria seca da parte comercial e da planta inteira do repolho 'Astrus', com pulverizações foliares de B nas doses de 0,224 e 0,240 g L⁻¹, respectivamente, e esteve associada com o teor foliar de B de 15 e 14 mg kg⁻¹. Na couve-flor 'Verona', a matéria seca da parte comercial e da planta inteira aumentaram linearmente com as doses de boro, assim como o teor foliar que variou de 14 a 25 mg kg⁻¹.
3. O B é absorvido lentamente pelas folhas do repolho 'Astrus', absorvendo 50% do B aplicado, próximo de 15 dias após sua aplicação e na couve-flor 'Verona' aos três dias e 12 horas após sua aplicação.
4. A técnica da espectrometria de massa com plasma comprovou que o boro é imóvel em plantas de repolho 'Astrus' e couve-flor 'Verona', portanto, é mais indicado sua aplicação no solo, ao invés da foliar.

6. REFERÊNCIAS

- AMBERGER, A. **Pflanzenernährung: Ökologische und physiologische Grundlagen** Dynamik und Stoffwechsel der Nährelemente. Stuttgart: Eugen Ulmer, 3.ed. 264p.,1988.
- ANUÁRIO DA AGRICULTURA BRASILEIRA - AGRIANUAL, 2009. Campo Grande: FNP Consultoria e Comércio, 2009. 512p.
- ASAD, A.; BLAMEY, F.P.C.; EDWARDS, D.G. Boron nutrition of sunflower crops. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE GIRASSOL, 14, SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE A CULTURA DO GIRASSOL, 2., 2001, Rio Verde. **Resumos...** Rio Verde: FESURV/IAM, p.14-19, 2001.
- BELLATO, A.C.D.S. **Determinação de boro e molibdênio em amostras biológicas por espectrometria de massas com fonte de plasma (ICP - MS)**. 2004. 105 f. Tese (Doutorado). Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.
- BELLATO, A.C.D.S. **Determinação isotópica e elementar de boro em amostras vegetais por espectrometria de massas com fonte de plasma (ICP-MS)**. 1999. 71 f. Dissertação (Mestrado). Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.
- BERGMANN, W. The significance of the micronutrient boron in agriculture. In: **Symposium held by the borax group in the international trade centre of the g.d.r.**; 1984, Berlin. Berlin: Borax Holdings, 1984, p.1-26.

BIÈVRE, P.D.; BARNES, I.L. Table of the isotopic composition of the elements as determined by mass spectrometry. **International Journal of Mass Spectrometry and Ion Processes**, Amsterdam, v.65, p.211-230, 1985.

BIRD, S.M.; GRAY, J.E. Signals from the cuticle affect epidermal cell differentiation. **New Phytologist**, v.157, p.9-23, 2003.

BLEVINS, D.G.; LUKASZEWSKI, K.M. Boron plant structure and function. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v.49, p.481-500, 1998.

BOARETTO, A.E.; BOARETTO, R.M.; CONTIN, T.L.M.; MURAOKA, T. É móvel ou imóvel o Boro em Laranja? **Laranja**, Cordeirópolis, v.25, p.195-208, 2004.

BOARETTO, R.M. **Boro (¹⁰B) em Laranja: absorção e mobilidade**. 2006. 120 f. Tese (Doutorado). Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

BROWN, P.H.; HU, H. Boron uptake by sunflower, squash, and cultured tobacco cells. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v.91, p.435-441, 1994.

BROWN, P.H.; SHELP, B.J. Boron mobility in plants. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.193, p.85-101, 1997.

CAKMAK, I.; RÖMHELD, V. Boron deficiency-induced impairments of cellular functions in plants. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.193, p.71-83, 1997.

CAKMAK, I; KURZ, H.; MARSCHNER, H. Short-term effects of boron, germanium and high light intensity on membrane permeability in boron deficient leaves of sunflower. **Physiology Plantarum**, Copenhagen, v.95, p.11-18, 1995.

COHEN, M.S.; LEPPER, R. Effects of boron on cell elongation and division in squash roots. **Plant Physiology**, Rockville, v.59, p.884-887, 1977.

COUTINHO, E.L.M.; NATALE, W.; SOUZA, E.C.A. Adubos e corretivos: Aspectos particulares na olericultura. p.85-140, 1993. In: FERREIRA, M.E.; CASTELLANE, P.D.; CRUZ, M.C.P. **Nutrição e adubação de hortaliças**. Piracicaba: POTAFOS, 1993.

DEMBITSKY, V.M.; SMOUM, R.; AL-QUNTAR, A.A.; ALI, H.A.; PERGMAMENT, I.; SREBNIK, M. Natural occurrence of boron-containing compounds in plants, algae and microorganisms. **Plant Science**, Amsterdam, v.163, p.931-942, 2002.

EPSTEIN E. Flow in the phloem and the immobility of calcium and boron: a new concept in support of an old one. **Cellular and Molecular Life Sciences**, v.29, p.133-134, 1973.

FERREIRA, W.R.; RANAL, M.A.; FILGUEIRA, F.A.R. Fertilizantes e espaçamento entre plantas na produtividade da couve da malásia. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.20, p.635-640, 2002.

FILGUEIRA, F.A.R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. Viçosa: 3ed. Ed. UFV, 421p. 2008.

FRANCO, J.A.; FERNANDEZ, A.J.; BANON, S. Relationship between the effects of salinity on seedling leaf area and fruit yield of six muskmelon cultivares. **HortScience**, Alexandria, v.32, p.642-644, 1997.

GINÉ, M.F.; MENEGÁRIO, A.A.; BELLATO, A.C.D.; PACKER, A.P.; MIRANDA, C.E.S.; ALMEIDA, C.R. O sistema ICP - MS. In: _____. **Espectrometria de massa com fonte de plasma**. 1ed. Piracicaba: Centro de Energia Nuclear na Agricultura. Universidade de São Paulo, Série didática, 1999. p.41-53.

GOLDBERG, S. Reactions of boron with soils. In: DELL, B.; BROWN, P.H.; BELL, R.W. **Boron in soils and plants: Reviews**. Dordrecht: Kluwer Academic, p.35-48, 1997.

GRAY, A.L.A. The plasma source for mass analysis. **Proceedings of the Society for Analytical Chemistry**, London, v.11, p.182-183, 1974.

GUPTA, U.C. Boron nutrition of crops. **Advances in Agronomy**, San Diego, v.31, p.273-307, 1979.

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

HU H.; BROWN P.H. Absorption of boron by plant roots. **Plant and Soil**, Hague, Chapter 4, v.193, p.49-58, 1997.

HU, H.; PENN, S. G.; LEBRILLA, C. B.; BROWN, P. H. Isolation and characterization of soluble boron complexes in higher plants: the mechanism of phloem mobility of boron. **Plant Physiology**, Rockville, v. 113, p.649-655, 1997.

INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS - IAC, 2009. Centro de P & D de Solos e Recursos Ambientais. Unidade de Referência Laboratorial - Fertilidade do solo, 2009.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. Elemento f group III. In: _____. **Trace elements in soil and plants**. 1ed. Boca Raton: CRC Press, p.127-134, 1984.

KERBAUY, G.B. **Fisiologia Vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 452p. 2004.

KOBAYASHI, M.; OHNO, K.; MATOH, T. Boron nutrition of cultured tobacco BY-2 cells. II. Characterization of the boron-polysaccharide complex. **Plant Cell Physiology**, v.38, p.676-683. 1997.

KOTUR, S.C. Standardization of foliar spray of boron for correction of brown rot and for increasing yield of cauliflower (*Brassica oleracea* var. botrytis) in Bihar plateau. **Indian Journal of Agricultural Sciences**, New Delhi, v.68, p.218-221, 1998.

LENOBLE, M.E.; BLEVINS, D.G.; MILES, R.J. Boro extra mantém crescimento radicular sob condições de alumínio tóxicos. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n.92, p.3-4, 2000.

LOOMIS, W.D.; DURST, R.W. Chemistry and biology of boron. **BioFactors**, Oxford, v.3, p.229-239, 1992.

LUKASZEWSKI, K.M.; BLEVINS, D.G. Root growth inhibition in boron deficient or aluminum-stressed squash may be a result of impaired ascorbate metabolism. **Plant Physiology**, Rockville, v.112, p.1135-1140, 1996.

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

- MALAVOLTA, E.; VITTI, C.G.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997, 319p.
- MARSCHNER H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2nd ed. New York: Academic Press, p.379-396, 1995.
- MATOH, T. Boron in plant cell walls. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.193, p.59-70, 1997.
- MAZÉ, P. Determination des elements minéraux rares nécessaires au développement du maïs. **Comptes Rendus de l' Academie de Sciences**, Paris, v.160, p.211-214, 1915.
- MAZÉ, P. Recherche d'une solution purement minerale capable du maïs cultivé à l'abri des microbes. **Annales de l' Institute Pasteur**, Paris, v.33, p.139-173, 1919.
- MELO, J.W.; LEMOS, E.G.M. Análise bioquímica de plantas. p. 310-331. In **Simpósio sobre Micronutrientes na Agricultura**, 1. Potafos/CNPq. Piracicaba, São Paulo. 734p. 1991.
- MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. Boron. In: MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of Plant Nutrition**. 5 ed. Dordrecht: Kluwer Academic, 2001. p.621-638.
- NOBREGA NETO, M.G.; QUEIROZ, J.E.; SILVA, L.M.M.; SANTOS, R.V. Efeito da salinidade na germinação e desenvolvimento inicial de *Leucena*. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.23, p.257-260, 1999.

- PERYEA, F.J. Sample washing procedures influence mineral element concentrations in zinc-sprayed apple leaves. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v.36, p.2923-2931, 2005.
- PIZETTA, L.C.; FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. & BARBOSA, J.C. Resposta de brócolis, couve-flor e repolho à adubação com boro em solo arenoso. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.23, p.51-56, 2005.
- POWER, P.P; WOODS, W.G. The chemistry of boron and its speciation in plants. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.193, p.1-14, 1997.
- PRADO, R.M. **Nutrição de plantas**. Jaboticabal. Ed. UNESP, 407p. 2008.
- RIEDERER, M.; SCHREIBER, L. Protecting against water loss: analysis of the barrier properties of plant cuticles. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.52, p.2023-2032, 2001.
- SAEG - **Sistema de análises estatísticas e genéticas**. UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA - UFV. Versão 8.0. Viçosa, MG, 2000. 142p.
- SANTOS, I.S.; BARBEADO, C.J.; PIPITAI, R.; FERREIRA, S.M.; NAKAGAWA, J. Estudo da relação Ca x B na cultura do pimentão. **Horticultura Brasileira**. Brasília, v.8, p.19-23, 1990.
- SHATTUCK, V.I. & SHELP, B.J. Effect of boron nutrition on hollow stem in broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*). **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v.67, p.1221-1225, 1987.

- SHELP, B.J. Boron mobility and nutrition in broccoli (*Brassica oleracea* var. *Italica*). **Annals of Botany**, London, v.61, p.83-91, 1988.
- SHELP, B. J. Physiology and biochemistry of boron in plants. In: **Boron and its role in crop production**. Ed. U.C. Gupta. p.53-85, CRC Press, Boca Raton, FL, USA. 1993.
- SHELP, B. J.; SHATTUCK, V. I.; PROCTOR, J. T. A. Boron nutrition and mobility, and its relation to the elemental composition of greenhouse grown root crops. II Radish. **Communications in Soil Science Plant Analytic**, New York, v.18, p.203-219, 1987.
- SHELP, B. J.; MARENTES, E.; KITHEKA, A. M.; VIVEKANANDAN, P. Boron mobility in plants. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v.94, p.356-361, 1995.
- SHORROCKS, V.M. The occurrence and correction of boron deficiency. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.193, p.121-148, 1997.
- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHEN, H.; VOLKWEISS, S. **Análise de solo, planta e outros materiais**. Porto Alegre: Departamento de Solo. Faculdade de Agronomia. Universidade do Rio Grande do Sul, 1995. 174p.
- TIVELLI, S.W.; PURQUERIO, L.F.V. DESTAQUE. Repolho (*Brassica oleracea* L. var. *capitata* L.). Disponível em: <abhorticultura.com.br> Acesso em: 24 de julho de 2009.
- TRANI, P.E.; van. RAIJ, B. Hortaliças. In: RAIJ, B.van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2ed. Campinas: Instituto Agrônômico, 1997. p.175. (Boletim técnico, 100).

TRIVELIN, P.C.O. **Utilização do nitrogênio pela cana-de-açúcar: Três casos estudados com o uso do traçador ¹⁵N.** 2000. 143f. Livre-docência (Especialidade/Disciplina: Isótopos Estáveis) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

WARINGTON, K. The effect of boric acid and borax on the broad bean and certain other plants. **Annals of Botany**, London, v.37, p.629-672, 1923.

ZIMMERMANN M. H. Transport in the phloem. **Annual Review of Plant Physiology**, California, v.11, p.167-190, 1960.