

WALAS PERMANHANE STURIÃO

**EFEITOS FITOTÉCNICOS E ANATÔMICOS DA DISPONIBILIDADE DE CÁLCIO
E BORO EM TOMATEIRO DO GRUPO CEREJA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2017

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da
Universidade Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

S935e
2017 Sturião, Walas Permanhane, 1987-
Efeitos fitotécnicos e anatômicos da disponibilidade
de cálcio e boro em tomateiro do grupo cereja / Walas
Permanhane Sturião. - Viçosa, MG, 2017.
xi, 153f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui apêndices.

Orientador : Hermínia Emília Prieto Martinez.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.
Referências bibliográficas: f.131-139.

1. Tomate. 2. *Solanum lycopersicum*. 3. Plantas -
Efeito do boro. 4. Plantas - Efeito do cálcio. 5. Minerais
na nutrição. 6. Plantas - Anatomia. 7. Adubação foliar.
I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de
Fitotecnia. Programa de Pós-graduação em Fitotecnia.
II. Título.

CDD 22 ed. 635.642

WALAS PERMANHANE STURIÃO

**EFEITOS FITOTÉCNICOS E ANATÔMICOS DA DISPONIBILIDADE DE CÁLCIO
E BORO EM TOMATEIRO DO GRUPO CEREJA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

Aprovada em: 04 de maio de 2017.

Dr Adriano Alves Fernandes
DCAB CEUNES/UFES

Dr Juan José Lucena Marotta
Dept. Ciencias U. Autónoma Madrid

Dr Derly José Henriques da Silva
DFT/UFV

Dr^a Marília Contin Ventrella
DBV/UFV (Coorientadora)

Dr^a Herminia Emilia Prieto Martinez
DFT/UFV (Orientadora)

AGRADECIMENTOS

A Deus e a todas as energias positivas que me motivaram diariamente até chegar à conquista deste título.

A minha família e aos amigos que dispuseram do preciosíssimo tempo e do conhecimento de cada um para me auxiliarem muito proveitosamente nas diversas atividades envolvidas no meu treinamento de doutorado. Em especial a Iza Paula Lopes, Caroline Jezler, Luana de Jesus, Leonardo de Oliveira, Marialva Moreira, Rogelio de Oliveira, Júnia Maria Clemente, Martha Freire, Maicon, Gustavo (Gabiru), Bruna Pereira, Murilo e Laura Silveira, Raphael, Rodolfo Seraphim, aos laboratoristas dos laboratórios de nutrição mineral de plantas e de anatomia vegetal e todas as demais pessoas que contribuíram direta ou indiretamente para o êxito deste título.

Aos professores Adriano A. Fernandes, Derly J. H. da Silva, Paulo R. Cecon e Paulo C. R. Fontes pelas contribuições ao longo do curso e com os resultados desta tese, incluindo as participações nas bancas examinadoras de qualificação e defesa deste título e pela coorientação e cooperação estatística por parte do prof. Cecon.

Ao professor Ernani Clarete da Silva pela atenção e disponibilidade de informações.

A empresa Agrocinco por disponibilizar as sementes do tomateiro utilizados nos experimentos referentes a esta tese.

A Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Fitotecnia, pela oportunidade de realização do curso de doutorado.

A CAPES e ao CNPq pela concessão da bolsa de estudos, tanto no Brasil quanto para a realização do Doutorado Sanduíche na Universidad Autónoma de Madrid/UAM, Espanha.

Ao professor Juan José Lucena pela recepção na UAM, bem como a todos os companheiros com quem convivi e trabalhei durante meu estágio internacional.

A professora Marilia Contin Ventrella pela coorientação, pelos ensinamentos e apoio para realização das atividades anatômicas e muito especialmente a professora Herminia E. P. Martinez, pela orientação, apoio e ensinamentos durante este curso de doutorado. Obrigado pelo exemplo profissional!!

BIOGRAFIA

WALAS PERMANHANE STURIÃO, filho de Unildo Sturião e Tanea Maria Permanhane Sturião, nasceu em 13 de dezembro de 1987 em Cachoeiro do Itapemirim-ES.

No ano de 2005 obteve o título de Técnico Agrícola pela Escola Família Agrícola de Boa Esperança (EFABE-MEPES), em Boa Esperança-ES.

Em 2009 graduou-se em Agronomia pela Universidade José do Rosário Vellano (UNIFENAS), em Alfenas-MG.

Em 2012 obteve o título de Mestre em Produção Vegetal pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), em Alegre-ES.

Em novembro de 2012 iniciou o curso de Doutorado no programa de Pós-graduação em Fitotecnia na Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa-MG, submetendo-se à defesa de tese em maio de 2017.

SUMÁRIO

RESUMO.....	vi
ABSTRACT.....	ix
1. INTRODUÇÃO GERAL E REVISÃO DE LITERATURA.....	12
1.1 O tomateiro e sua nutrição.....	12
1.2 Cálcio na planta.....	15
1.3 Boro na planta.....	18
1.3.1 Nutrição de B via foliar.....	21
2. OBJETIVOS.....	22

CÁPITULO I

EFEITOS FITOTÉCNICOS E ANATÔMICOS DA DISPONIBILIDADE DE CÁLCIO NO CULTIVO DE TOMATEIRO DO GRUPO CEREJA

1. INTRODUÇÃO.....	23
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	24
2.1 Material vegetal e condições de cultivo	24
2.2 Avaliações e registro de informações.....	26
2.2.1 Soma térmica e radiação solar.....	26
2.2.2 Sintomas macroscópicos e avaliação morfoanatômica do tomateiro em resposta às doses de Ca.....	27
2.2.3 Avaliações alométricas.....	28
2.2.4 Avaliação do estado nutricional dos tomateiros e alocação de nutrientes nos frutos.....	29
2.3 Análises estatísticas.....	30
3. RESULTADOS.....	30
3.1 Condições climáticas e soma térmica acumulada.....	30
3.2 Sintomas macroscópicos e avaliação morfoanatômica do tomateiro em resposta às doses de Ca.....	31
3.3 Avaliações alométricas e de produção de frutos.....	34
3.4 Avaliação do estado nutricional dos tomateiros e alocação de nutrientes nos frutos....	38
3.4.1 Teor e acúmulo de nutrientes nos tecidos foliares.....	38
3.4.2 Teores de nutrientes nos frutos.....	46
4. DISCUSSÃO.....	49
4.1 Condições climáticas e soma térmica acumulada.....	49
4.2 Sintomas macroscópicos e avaliação morfoanatômica do tomateiro em resposta às doses de Ca.....	50
4.3 Avaliações alométricas e de produção de frutos.....	51
4.4 Avaliação do estado nutricional dos tomateiros e alocação de nutrientes nos frutos....	52
5. CONCLUSÕES.....	56

CÁPITULO II

EFEITOS FITOTÉCNICOS E ANATÔMICOS DA DISPONIBILIDADE DE BORO NO CULTIVO DE TOMATEIRO DO GRUPO CEREJA

1. INTRODUÇÃO.....	57
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	58
2.1 Material vegetal e condições de cultivo	58
2.2 Avaliações e registro de informações.....	60
2.2.1 Soma térmica e radiação solar.....	60
2.2.2 Sintomas macroscópicos e avaliação morfoanatômica do tomateiro em resposta às doses de B.....	62
2.2.3 Avaliações alométricas.....	62
2.2.4 Avaliação do estado nutricional dos tomateiros e alocação de nutrientes nos frutos.....	63

2.3 Análises estatísticas.....	64
3. RESULTADOS.....	64
3.1 Condições climáticas e soma térmica acumulada.....	64
3.2 Sintomas macroscópicos e avaliação morfoanatômica do tomateiro em resposta às doses de B.....	65
3.3 Avaliações alométricas e de produção de frutos.....	71
3.4 Avaliação do estado nutricional dos tomateiros e alocação de nutrientes nos frutos....	75
3.4.1 Teores de nutrientes nos tecidos foliares.....	75
3.4.2 Teores de nutrientes nos frutos.....	79
4. DISCUSSÃO.....	82
4.1 Condições climáticas e soma térmica acumulada.....	82
4.2 Sintomas macroscópicos e avaliação morfoanatômica do tomateiro em resposta às doses de B.....	83
4.3 Avaliações alométricas e de produção de frutos.....	86
4.4 Avaliação do estado nutricional dos tomateiros e alocação de nutrientes nos frutos....	87
5. CONCLUSÕES.....	90

CÁPITULO III

EFFECTOS DE LA APLICACIÓN FOLIAR DE BORO EN LA CULTURA DEL TOMATERO

1. INTRODUCCIÓN.....	91
2. MATERIAL Y MÉTODOS.....	92
2.1 Material vegetal y condiciones de cultivo.....	92
2.2 Diseño experimental y los tratamientos.....	94
2.3 Evaluaciones.....	96
2.3.1 Suma térmica.....	96
2.3.2 Índice SPAD.....	96
2.3.3 Medidas biométricas de producción y análisis nutricionales.....	96
2.3.4 Calidad de frutos.....	97
2.4 Análisis estadísticos.....	98
3.RESULTADOS.....	98
3.1 Condiciones ambientales del invernadero y suma térmica acumulada.....	98
3.2 Índice SPAD.....	99
3.3 Medidas biométricas de producción y análisis nutricionales.....	103
3.3.1 Muestreo 1 - Fase Vegetativa.....	103
3.3.2 Muestreo 2 - Fase Florecimiento.....	104
3.3.3 Muestreo 3 - Fase Fructificación.....	107
3.3.4 Muestreo 4 - Fase Cosecha.....	110
4.DISCUSIÓN.....	121
4.1 Condiciones ambientales del invernadero y suma térmica acumulada.....	121
4.2 Índice SPAD.....	122
4.3 Medidas biométricas de producción y análisis nutricionales.....	122
5.CONCLUSIONES.....	129
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	130
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	131
APÊNDICE GERAL.....	140

RESUMO

STURIAÃO, Walas Permanhane, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, maio de 2017. **Efeitos fitotécnicos e anatômicos da disponibilidade de cálcio e boro em tomateiro do grupo cereja.** Orientadora: Herminia Emilia Prieto Martinez. Coorientadores: Marília Contin Ventrella e Paulo Roberto Cecon.

O cálcio (Ca) e o boro (B) são nutrientes de grande importância para a nutrição do tomateiro, pois constituem um dos principais problemas no manejo dessa cultura, devido principalmente à deficiência e a consequente ocorrência de desordens fisiológicas como a má formação dos tecidos meristemáticos, o mal pegamento floral e a formação de frutos com o lóculo aberto e com podridão apical ou *blossom end rot* (BER). Ambos os nutrientes possuem características comuns, como: função estrutural e regulatória nas paredes e membranas celulares e baixa ou nula mobilidade, de modo que há uma relação entre Ca e B na nutrição vegetal. Diante da carência de informações relevantes e pelo avanço nos estudos sobre a nutrição cálcica e boratada do tomateiro, objetivou-se avaliar os efeitos da aplicação de doses de cálcio e boro, esse último em diferentes formas, sobre a fenologia, desempenho agrônômico, estado nutricional e as possíveis alterações morfoanatômicas em folhas, caules e raízes de tomateiro tipo cereja (*Solanum lycopersicum* L.), em diferentes estádios fenológicos. Para isso, se desenvolveram três experimentos em sistema hidropônico de duas fases, em casa de vegetação, sendo os tratamentos: 1) cinco doses de Ca em solução nutritiva: 0,5; 1,5; 3,0; 6,0 e 10,0 mmol L⁻¹ Ca; 2) quatro doses de B em solução nutritiva: 1,0; 10,0; 20,0 e 50,0 μmol L⁻¹ B e 3) pulverizações quinzenais de três fontes de boro (ácido bórico, bórax e B-etanolamina), com ou sem o uso de adjuvante, em plantas recebendo 5 μmol L⁻¹ B via solução nutritiva, sendo o fornecimento de 20 μmol L⁻¹ B via radicular o tratamento controle positivo e 5 μmol L⁻¹ B via radicular o controle negativo. O arranjo experimental foi em parcelas subdivididas no tempo, em DIC para os experimentos 1 e 2 e DBC para experimento 3, com quatro repetições. De acordo com o estágio fenológico do tomateiro: 1º) Crescimento vegetativo; 2º) Florescimento e início da frutificação; 3º) Plena frutificação e 4º) Colheita, procederam-se quatro avaliações, em que se tomaram os dados biométricos e de produção do tomateiro (número de folhas, flores e frutos; altura das plantas, área foliar total; massas secas de folha, caule e raiz; volume radicular; diâmetro do caule); os teores de nutrientes dos frutos dos cachos 1 e 3 e da folha índice de cada planta (a terceira a partir do ápice) e porções dos tecidos foliares, caulinares e radiculares para análises morfoanatômicas (não realizada no experimento 3). Realizou-se análise de variância e de regressão ($\alpha = 5\%$) para os dados quantitativos e procedeu-se a descrição qualitativa das características anatômicas. O ciclo

fenológico do tomateiro cereja cv. Iracema, cultivado com doses crescentes de Ca em solução nutritiva foi de 115 dias e acúmulo de soma térmica de 1122,51 graus-dias. As plantas cultivadas sob deficiência de Ca em SN, com os tratamentos de 0,5 e 1,5 mmol L⁻¹ Ca, apresentaram redução do crescimento, desenvolvimento e produção comparativamente às plantas cultivadas com os demais tratamentos, cujos sintomas visuais e anatômicos foram mais nítidos e graves a partir da fase de frutificação dos tomateiros, 97 DAS. As alterações anatômicas mais conspícuas nos tecidos foliares, caulinares e radiculares do tomateiro ao final do ciclo fenológico (115 DAS), foram causadas pela deficiência mais severa de Ca (0,5 mmol L⁻¹), que promoveu um superdesenvolvimento do floema e aumento na espessura do limbo foliar, provocou lesões na região cortical do caule primário, com células hipertrofiadas e colapsadas e o encurtamento dos ápices radiculares em relação às primeiras raízes laterais. As melhores respostas às variáveis biométricas e produtivas, bem como o estado nutricional dos tomateiros são obtidas com doses estimadas de 6,0 a 7,0 mmol L⁻¹ Ca em solução nutritiva. O aumento na disponibilidade de Ca promove aumento no aporte de Ca e redução nos teores de Zn, Cu e N-total na parte distal dos frutos. Os frutos do cacho 1 apresentam maiores teores de Zn, Cu, Mg e Fe. O ciclo fenológico do tomateiro cultivado com doses crescentes de B foi de 84 dias e o acúmulo de soma térmica de 1631,11 graus-dias. O tratamento 1 μmol L⁻¹ B provocou grande limitação ao crescimento, desenvolvimento e produção do tomateiro e foi aquele que promoveu as maiores alterações anatômicas nos tecidos foliares, caulinares e radiculares do tomateiro: Na região da nervura principal de folhas a epiderme apresentou-se parcialmente colapsada e com menor desenvolvimento do colênquima. Na região internervural o tecido vascular se desenvolveu mais, principalmente o floema e o limbo se tornaram mais espesso. Nos caules as maiores alterações ocorreram na região da faixa cambial e dos tecidos vasculares secundários, com menor quantidade de tecidos vasculares secundários produzidos e a ausência de elementos de vaso típicos do xilema secundário, bem como menor espessamento das paredes celulares das fibras externas ao floema. As raízes se tornaram mais curtas, com diminuição da distância entre o ápice radicular e o aparecimento da primeira raiz lateral. A dose estimada de 35 μmol L⁻¹ B resulta em melhor crescimento e produção do tomateiro cv. Iracema, com teores foliares de nutrientes na ordem de 24,5; 4,3; 43,8; 39,3; 5,7 e 4,0 g kg⁻¹ respectivamente de N-total, P, K, Ca, Mg e S e 79,6; 41,3; 11,1; 166,2 e 89,2 mg kg⁻¹ respectivamente de B, Zn, Cu, Mn e Fe. O aumento na disponibilidade de B promove maiores teores de nutrientes nos frutos e maior aporte de B, Fe e N-total na porção distal dos frutos do cacho 1. O tomateiro cv. tangerino F1 sob diferentes formas de nutrição boratada, apresentou ciclo fenológico de 106 dias e soma térmica de 1729 graus-dias. As pulverizações foliares promoveram algumas melhorias no crescimento, desenvolvimento e

produtividade do tomateiro comparado com o tratamento controle-B, mas o fornecimento adequado de B via radicular (controle+B) foi o método mais eficiente para a nutrição boratada do tomateiro. As fontes B-etanolamina e ácido bórico foram aquelas que promoveram os melhores resultados de produção do tomateiro, comparativamente com a aplicação foliar de bórax. O uso do adjuvante não resultou em relevantes melhorias ao crescimento e produção do tomateiro. Foi evidente a relação antagônica no balanço das concentrações de B e Ca nos tecidos e órgãos do tomateiro sob diferentes formas de fornecimento de B.

ABSTRACT

STURIAO, Walas Permanhane, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, May, 2017. **Phytotechnical and anatomical effects of calcium and boron availability on cherry tomato.** Adviser: Herminia Emilia Prieto Martinez. Co-advisers: Marília Contin Ventrella and Paulo Roberto Cecon.

One of the main problems in the management of tomato plants is related to calcium (Ca) and boron (B) nutrition whose deficiencies and/or imbalances can be responsible for physiological disorders such as poor formation of meristematic tissue, poor floral fecundation, cracking of fruits and blossom end rot (BER). Both nutrients have common characteristics, such as: structural and regulatory function in walls and membranes of cells and poor phloem mobility. Besides that it is known that there is a relationship between Ca and B in plant nutrition. In view of the lack of relevant information and advances in the studies on Ca and B on tomato nutrition, the objective of this study was to evaluate the effects of the application of calcium and boron doses, the latter in different forms, on phenology, agronomic performance, nutritional status and morphoanatomical changes in leaves, stems and roots of cherry tomato (*Solanum lycopersicum* L.), in different phenological stages. To achieve this purpose, three experiments were carried out in hydroponic system. The treatments were: 1) five doses of Ca: (0.5; 1.5; 3.0; 6.0 and 10.0 mmol L⁻¹ Ca); 2) four doses of B: (1.0; 10.0; 20.0 and 50.0 µmol L⁻¹ B) and 3) biweekly sprays of three sources of boron (boric acid, borax and B-ethanolamine) on B-deficient plants (fed with 5 µmol L⁻¹ B via nutrient solution), with or without the use of adjuvant, plus a positive and a negative control. The positive control consisted of plants fed with 20 µmol L⁻¹ B via nutrient solution and the negative control of plants receiving 5 µmol L⁻¹ B via nutrient solution, both without supply of B via foliar sprays. The experimental arrangement was split-plot in time, in completely randomized design to the experiments 1 and 2, and randomized blocks to experiment 3, all of the experiments with four replications. Four evaluations were carried out according to the phenological stages of the tomato plants: 1st) Vegetative growth; 2nd) Flowering and beginning of fruiting; 3rd) Full fruiting and 4th) Harvest. We evaluated the biometric, productive and nutritional features: number of leaves, flowers and fruits; height of plants; total leaf area; dry matter production of leaves, stems and roots; root volume; stem diameter; nutrient contents in the index leaf (the third from the apex to the base) and of fruits of the clusters 1 and 3 of each plant. We also picked leaf, stem and root tissues fragments for morphoanatomical analysis (not performed in experiment 3). Quantitative data were submitted to analysis of variance and regression ($\alpha = 5\%$). The anatomical changes were described based on the anatomical plates. In the first

experiment the phenological cycle of cherry tomato cv. *Iracema* cultivated with increasing doses of Ca in nutrient solution was 115 days and the accumulation of thermal sum of 1122.51 degree-days. The plants cultivated under Ca deficiency in nutrient solution (0.5 and 1.5 mmol L⁻¹ Ca) showed reduction of growth, development and production compared to the plants cultivated with the Ca-sufficient treatments. The visual and anatomical symptoms of calcium deficiency were sharper and more severe from the fruiting phase of tomato plants, 97 DAS. The most conspicuous anatomical changes in leaf, stem and root tissues occurred with the more severe deficiency of Ca (0.5 mmol L⁻¹) at the end of the phenological cycle (115 DAS). Such condition promoted a phloem overdevelopment, increased leaf blade thickness and caused lesions in the cortical region of the primary stem. The latter presented hypertrophied and collapsed cells and shortening of the length of the root apices until the first lateral roots emission. The best responses to the biometric and productive variables as well as the nutritional status of tomato plants were obtained with the estimated doses of 6.0 to 7.0 mmol L⁻¹ Ca in nutrient solution. The increase in Ca availability promoted an increase in Ca intake and reduction in Zn, Cu and N-total contents in the distal part of the fruits. The fruits of cluster 1 presented higher levels of Zn, Cu, Mg and Fe. In the second experiment the phenological cycle of the tomato cultivated with increasing doses of B was 84 days and the accumulation of thermal sum of 1631.11 degrees-days. The treatment 1.0 µmol L⁻¹ B caused a great limitation to the growth, development and production of the tomato plants. Such treatment promoted either, a greater anatomical disturbance in the foliar, stem and root tissues. These disturbances were characterized by epidermis partially collapsed and with smaller development of colenchyma in the region of the main vein of leaves. In the interveinal region the vascular tissue developed more, mainly the phloem, and the limbus became thicker. In the stems the main disturbances occurred in the region of the cambial band and the secondary vascular tissues. We observed lesser amount of the secondary vascular tissues and absence of vessel elements, typical of the secondary xylem, as well as smaller thickening of the cell walls of the external fibers of the phloem. The roots became shorter, with a decrease in the distance between the root apex and the first lateral root. The estimated dose of 35 µmol L⁻¹ B resulted in better growth and yield of the tomato plant cv. *Iracema*. In such condition the foliar nutrient contents in the index leaves were 24.5; 4.3; 43.8; 39.3; 5.7 and 4.0 g kg⁻¹ respectively of N-total, P, K, Ca, Mg and S and 79.6; 41.3; 11.1; 166.2 and 89.2 mg kg⁻¹ of B, Zn, Cu, Mn and Fe respectively as a mean. The increase in B availability promoted higher nutrient contents in the fruits and higher allocation of B, Fe and N-total in the distal portion of the fruits of cluster 1. In the third experiment tomato plants cv. *Tangerino* F1 under different forms of boron nutrition, presented a phenological cycle of 106 days and a thermal sum of

1729 degrees-days. Leaf sprays had promoted some improvement in tomato growth, development and in the productivity compared to the control -B treatment, but the adequate B supply by roots (control +B) was, as expected, the most efficient method for nutrition of tomato plants with boron. The sources B-ethanolamine and boric acid were those which promoted the best results in tomato production, compared to the foliar application of borax. The use of the adjuvant did not result in significant improvements to the growth and production of the tomato plants. It was evident an antagonistic balance among the concentrations of B and Ca in the tissues and organs of tomato plant under different forms of B supply.

1. INTRODUÇÃO GERAL E REVISÃO DE LITERATURA

1.1 O tomateiro e sua nutrição

O tomate (*Solanum lycopersicum* L.) é uma das hortaliças de maior interesse comercial no Brasil, com produção anual, dos diversos tipos de tomate, em torno de 3,8 milhões de toneladas, cultivados numa área de 60 mil hectares e com produtividade média de 66 t ha⁻¹ (Ibge, 2014).

As principais regiões produtoras estão localizadas nos estados de Goiás, São Paulo e Minas Gerais e o sistema de produção a campo é o mais utilizado, com grande crescimento na área plantada em ambiente protegido nas últimas décadas.

O mercado é formado por dois segmentos: o de mesa, com frutos destinados ao consumo *in natura*, que representa aproximadamente 70% do tomate produzido no Brasil; e o de indústria, destinado ao processamento. Os tomates do segmento de mesa são classificados de acordo com o formato e o tamanho dos frutos, sendo cinco os principais tipos varietais: santa cruz, salada, caqui, italiano e cereja.

Independentemente do tipo de fruto, o mercado é cada vez mais exigente quanto à produção de tomate em quantidade e com qualidade, motivos pelos quais se destaca o tomateiro como uma das hortaliças mais estudadas e que passam por permanentes transformações tecnológicas no mercado, especialmente o segmento de tomates de mesa (Incaper, 2010).

Cabe destacar que o tomateiro é uma cultura frágil e de alto risco por apresentar alto custo de produção e alta susceptibilidade a diversas pragas, doenças e aos efeitos climáticos. Sendo, portanto, uma cultura muito exigente quanto aos constantes cuidados fitotécnicos (Loos et al., 2008). O desequilíbrio dos fatores envolvidos no seu cultivo pode causar alguns distúrbios fisiológicos, anatômicos e morfológicos que comprometem o crescimento, a produção e a qualidade dos frutos produzidos (Alvarenga, 2004; Marschner, 2012; Taiz & Zeiger, 2013).

O ciclo fenológico do tomateiro pode ser dividido em quatro fases: I: da sementeira ao transplante (três a quatro semanas); II: do transplante até o início do florescimento (quatro a cinco semanas); III: do florescimento ao início da colheita (cinco a seis semanas); e IV: do início ao final da colheita. A floração e a frutificação ocorrem juntamente com a fase vegetativa, em condições climáticas bastante variáveis (Alvarenga, 2004).

A duração de cada estágio do desenvolvimento depende principalmente da cultivar, sanidade, nutrição, disponibilidade hídrica e das condições climáticas, como luminosidade, temperatura e umidade relativa do ar, que interferem significativamente nos processos de fotossíntese, crescimento, florescimento e frutificação do tomateiro. Com isso, seu ciclo

fenológico pode variar de quatro a sete meses, incluindo-se de um a três meses de colheita. (Filgueira, 2008). Segundo Marouelli, Silva & Silva (2012), o tempo desde o transplante até início da colheita, varia de 95 a 125 dias.

Entre os diferentes fatores climáticos que condicionam os padrões fenológicos do tomateiro, a temperatura e a luz são recursos críticos para a atividade metabólica das plantas (Taiz & Zeiger, 2013), podendo favorecer a precocidade da produção (Palaretti et. al., 2012) ou, ao contrário, retardá-la, bem como, sob condições extremas, aumentar o abortamento floral e a má formação dos frutos.

O tomateiro é uma planta de clima tropical de altitude, com boa adaptabilidade a vários tipos de clima e apresenta necessidades variáveis em cada fenofase. O clima ameno, seco e a alta luminosidade favorecem o desenvolvimento da cultura, sendo necessário um diferencial de 6 a 8 °C entre as temperaturas diurnas e noturnas, que favorece o crescimento e a produtividade do tomateiro (Filgueira, 2008).

A faixa ideal de temperatura do ar para o cultivo é de 20 a 25°C, durante o dia, e de 11 a 18°C, à noite. Especificamente, para cada fase: germinação, de 16 a 29°C; período vegetativo, de 20 a 24°C; floração, de 18 a 24°C; pegamento de frutos de 19 a 25°C (dia) e de 13 a 18°C (noite) e para maturação dos frutos, de 20 a 24°C - intervalo ideal para a formação do licopeno (Filgueira, 2008).

O manejo da água e o equilíbrio nutricional são os fatores que mais influenciam o sucesso do cultivo do tomateiro, assim como da maioria das culturas, por estar direta ou indiretamente relacionados ao metabolismo basal das plantas (Alvarenga, 2004; Carrijo et al., 2004; Puiatti et al., 2010), o que reflete na necessidade do constante avanço no entendimento da dinâmica das exigências hídricas e nutricionais no sistema solo-planta, com a finalidade de melhorar a produção.

O cálcio (Ca) e o boro (B) são nutrientes que muito frequentemente apresentam sintomas de deficiência nos tomateiros, sendo esse o micronutriente mais limitante ao bom desenvolvimento e produção da hortaliça (Prezotti, 2010).

O Ca e o B são nutrientes que apresentam funções bioquímicas importantes e favorecem inúmeros processos metabólicos, contribuindo para o adequado desenvolvimento das plantas e são fundamentais para os resultados produtivos e a qualidade do produto final, quanto à aparência, consistência e durabilidade.

A principal função destes elementos está relacionada à síntese, constituição e regulação das paredes e membranas celulares, caracterizando-se como elementos de função estrutural e insignificante redistribuição floemática. Essas características associadas ao rápido desenvolvimento do tomateiro e a reduzida taxa transpiratória das gemas e dos frutos, em

relação às folhas (Kinet & Peet, 2006), promovem alguns dos clássicos problemas de desordem fisiológica para esta hortaliça, como a má formação dos tecidos meristemáticos, o mal pegamento floral, a formação de frutos com o lóculo aberto e com podridão apical.

Tais fatores inviabilizam a produção ou originam frutos de qualidade depreciável, caracterizando-se como um problema econômico para todos os níveis da cadeia produtiva do tomateiro (Bastías et al., 2010; Puiatti et al., 2010). Isso evidencia a necessidade de haver uma constante disponibilidade desses nutrientes, de acordo com a exigência nutricional em cada estágio fenológico de cada cultivar e das condições ambientais onde a cultura está inserida (Puiatti et al., 2010).

Assim, o manejo nutricional do tomateiro é um tema amplo que exige conhecimento sobre os aspectos nutricionais e as interações com os fatores ambientais que afetam desde o equilíbrio dos nutrientes no meio externo, passando pela absorção, transporte, redistribuição e participação de cada elemento no metabolismo e constituição dos tecidos vegetais. Especialmente no caso do Ca e B, que são os nutrientes menos móveis na planta.

A via radicular de fornecimento de Ca e B para o tomateiro é a mais adequada (Prado et al., 2013), mas depende de condições ambientais favoráveis para que seja uma prática eficiente na nutrição das plantas, o que é difícil garantir nas condições de cultivo.

Quando não é possível assegurar a nutrição ideal de Ca e B via radicular, são necessárias as pulverizações foliares, que mesmo sendo uma prática bastante utilizada pelos horticultores, é carente de informações técnicas sobre eficiência e viabilidade (Trani & Raij, 1997; Gondim, 2009). Huang & Snapp (2004) apresentaram resultados sobre a influência da umidade do ar e da nutrição cálcica e boratada, sobre a incidência de defeitos nos frutos de tomateiro e concluíram que a aplicação de Ca e B, ou apenas B, via foliar conferiu proteção contra estes defeitos.

Embora possam ocorrer excessos, naturalmente ou por meio de atividades antrópicas como o uso excessivo de fertilizantes e águas contaminadas, é mais comum se observar a ocorrência de deficiências de Ca e B que toxicidade em tomateiros, devido à baixa fertilidade dos solos, ao emprego de quantidades mínimas necessárias de fertilizantes na cultura ou a alguma limitação na sua utilização pelas plantas.

Seja em condição de deficiência ou excesso de nutrientes, as plantas podem externar sintomas macroscópicos característicos que podem auxiliar no diagnóstico do seu estado nutricional (Marschner, 2012), os quais também podem ser avaliados através de análise química do material vegetal (Malavolta, 2006; Fontes, 2011) ou por análises anatômicas e ultraestruturais (Maia, 2012). Entretanto, pode não haver externalização destes sintomas e as

plantas sofrerem carência ou toxidez oculta, as quais causam igualmente limitação ao crescimento, desenvolvimento e produção das plantas (Fontes, 2011).

A evidência dos sintomas macroscópicos caracteriza o último estágio de uma série de eventos metabólicos. A insuficiência de disponibilidade de minerais para as plantas causam, primariamente, alterações no metabolismo e nos aspectos morfológicos e anatômicos (Silveira et al., 2002) para depois manifestar os sintomas visualmente, quando já comprometem mais pronunciadamente a produtividade e qualidade dos frutos (White & Broadley, 2003). Tais alterações podem influenciar na espessura e forma de determinados tecidos, comprometendo a funcionalidade dos mesmos, interferindo na translocação de nutrientes, e conseqüentemente, no desenvolvimento da planta (Marschner, 2012).

1.2 Cálcio na planta

O cálcio é um nutriente de importância estrutural e metabólica nos tecidos vegetais. É absorvido pelas raízes na forma iônica Ca^{2+} , podendo sofrer antagonismo em condição de altas concentrações de K^+ , Mg^{2+} e NH_4^+ no meio de cultivo (Malavolta, 2006).

O transporte do Ca^{2+} no xilema é acrópeto, unidirecional, em um movimento a favor da corrente transpiratória, mas também por meio de possíveis trocas iônicas, com adsorção a sítios de carga negativa nas paredes do vaso xilemático (Clark, 1984), de modo que o Ca é direcionado para os locais de maior demanda transpiratória nas plantas, as folhas, tendo a transpiração um importante papel na concentração de Ca nos diferentes órgãos.

Uma vez incorporado ao tecido, o Ca torna-se imóvel, observando-se baixas concentrações no simplasma e no floema. Isso, porque, diferentemente dos outros macronutrientes, a maior parte do Ca no tecido vegetal está em maior proporção localizado nas paredes celulares (apoplasma), onde há abundância de sítios de ligação, com restrito transporte para dentro do citoplasma, e a concentração de Ca livre é 10.000 vezes menor, entre 0,1 a 1,0 μM (Plieth, 2005; Dayod et al., 2010; Marschner, 2012).

As maiores proporções de Ca na planta encontram-se em formas não solúveis em água, sendo principalmente associadas à composição estrutural de macromoléculas e relacionadas à capacidade de coordenação que estabelece ligações intermoleculares estáveis na superfície externa da membrana plasmática, no retículo endoplasmático e principalmente na parede celular, na forma de pectato de Ca, como principal componente da lamela média, garantindo rigidez e forma ao exoesqueleto celular vegetal (Karp, 2005; Marschner, 2012).

Na lamela média o Ca^{2+} se liga a grupos carboxila (COO^-) de ácidos poligalacturônicos, formando os pectatos de Ca, garantindo a estrutura das paredes celulares bem como os processos de divisão e alongamento celular (Buchanan, Grussem & Jones, 2009; Taiz &

Zeiger, 2013). Por ligação semelhante com fosfolipídios, confere integridade física e manutenção da seletividade e permeabilidade das membranas biológicas, assegurando a redução de perdas de solutos de baixo peso molecular e a susceptibilidade ao ataque de agentes patogênicos (Kinet & Peet, 2006; White & Broadley, 2003; Malavolta, 2006; Marschner, 2012).

O Ca também está na planta na forma de sais cálcicos, principalmente nos vacúolos de células especializadas (idioblastos), na forma de cristais de oxalato de Ca (Franceschi & Nakata, 2005), característica que contribui para o balanço iônico e para a manutenção da baixa concentração de Ca livre no citosol, mas que também restringe a redistribuição deste nutriente (Clark, 1984).

A insolubilidade dos compostos de Ca na planta e sua alocação nas células explicam, em parte, a baixa redistribuição que, principalmente em condições de carência provoca o aparecimento de sintomas de deficiência em órgãos e tecidos mais novos, como nos meristemas e nos frutos em desenvolvimento, onde ocorrem intensas divisões celulares em que o Ca é requerido para a formação de uma nova lamela média entre as células-filhas e onde a taxa transpiratória é menor. Ao contrário, as folhas apresentam grande taxa transpiratória e, portanto, acumulam maior quantidade de Ca competindo por esse nutriente com os órgãos e tecidos mais novos (Adams & Ho, 1995; Fontes, 2003; Olle & Bender, 2009; Marschner, 2012; Taiz & Zeiger, 2013).

Nas extremidades das folhas recém-formadas e nas gemas a deficiência de Ca provoca um aspecto gelatinoso (devido à falta de pectato de Ca), com possível ocorrência de clorose, que progride das margens para o centro e que podem avançar para uma necrose, como o *tiburn* da alface. Nos frutos causa várias desordens fisiológicas como a podridão apical ou estilar (*blossom end rot* - BER) do tomate, a depressão amarga (*bitter pit*) da maçã, o coração negro da batata, o nariz mole (*soft nose*) da manga, entre outras. No meristema radicular podem aparecer núcleos poliploides, células binucleadas, núcleos contraídos, divisões amitóticas e escurecimento dos tecidos. Há restrição no crescimento que podem evoluir para morte, dependendo da severidade da deficiência (Fontes, 2003; Malavolta, 2006).

A morte da célula é o resultado final da deficiência de Ca e sucede à desorganização e perda da seletividade das membranas celulares e da parede celular, a inibição do sistema mensageiro Ca-calmodulinas e a maior produção de etileno (Malavolta, 2006), comprometendo, com isso, a formação, estabilização e resistência das paredes e membranas celulares (Trevizam et al., 2011; Maia, 2012).

Estudos anatômicos evidenciam a desestruturação da parede celular e desorganização da lamela média em plantas expostas à deficiência de Ca (Natale, Prado & Môro, 2005). Na fase

vegetativa de tomateiro do grupo cereja os tecidos foliares apresentaram hipertrofia do floema com uma redução de 74% no espessamento da parede celular das esclereides do floema e redução de 42% de tecido colenquimático (Maia, 2012).

O Ca atua em vários processos celulares, como osmorregulador no processo de redução do nitrato para a formação de proteínas; no balanço catiônico-aniônico; na ativação de várias enzimas; na regulação e controle da seletividade e do transporte pelas membranas celulares; essencial para divisão celular; na transdução e sinalização de diversos sinais químicos – como mensageiro secundário a partir de estímulos ambientais, bióticos e hormonais no complexo cálcio-calmodulina; e juntamente com o magnésio (Mg) e o potássio (K) ajuda a neutralizar os ácidos orgânicos na planta (Plieth, 2005; Malavolta, 2006; Taiz & Zeiger, 2013).

É um nutriente indispensável para o equilíbrio nutricional das plantas, pois os íons de Ca^{2+} têm função protetora contra os efeitos prejudiciais do excesso de H^+ , Na^+ e Al^{3+} no solo e, conseqüentemente, tem efeito direto sobre a integridade das raízes vegetais em contato com a solução (do solo) e sobre a coordenação do processo de absorção de todos os nutrientes (Malavolta, Vitti & Oliveira, 1989; Malavolta, 2006). Também é modulador de regulação hormonal da germinação, do pegamento floral (crescimento do tubo polínico e germinação dos grãos de pólen), do crescimento e senescência dos tecidos vegetais (Franceschi & Nakata, 2005).

Nas lavouras de tomate são muito frequentes os casos de deficiência cálcica, que causam um dos principais problemas da tomaticultura: a podridão apical ou fundo preto dos frutos (*blossom end rot* - BER). BER é um distúrbio fisiológico, causado pela baixa disponibilidade de Ca e/ou pela ação de um complexo de fatores genéticos, anatômicos, fisiológicos (transpiração), ambientais (água, temperatura, luminosidade) e balanço catiônico na solução (do solo), especialmente na fase de maior demanda pela planta, durante a frutificação (Adams & Ho, 1995; Fontes, 2003; Martinez, 2004; Olle & Bender, 2009).

A ocorrência de BER se deve à falta de coordenação entre o transporte de Ca via xilema e de assimilados via floema até a porção distal da placenta, durante a fase de rápida expansão celular do fruto (Adams & Ho, 1993; Terraza et al., 2008; Loos et al., 2008; Dayod et al., 2010). Com a deficiência de Ca há o rompimento da porção distal do tecido locular devido à baixa deposição de frações de pectato e fosfato de Ca, que pode causar perda da semipermeabilidade das membranas e afrouxamento da parede celular, promovendo sintomas de BER. Principalmente devido ao fato de os frutos apresentarem rápida expansão durante duas semanas após a antese, com redução acentuada no número de feixes vasculares entre as porções proximal e distal e à sua pequena taxa transpiratória (Minamide & Ho, 1993; Belda & Ho, 1993; Kinet & Peet, 2006).

É importante garantir a máxima disponibilidade, absorção e alocação do Ca^{2+} via xilemática para os órgãos do tomateiro na fase vegetativa para assegurar concentrações adequadas desse macronutriente em todas as fases subsequentes, quando os frutos se expandem rapidamente e o suprimento de Ca via floema é nulo ou irrisório (Dayod et al., 2010; Marschner, 2012).

O acúmulo de Ca nos frutos é muito pequeno, de 10 a 20% do total absorvido pela planta, para um acúmulo de 75% de peso de frutos em relação ao resto da planta (Takahashi, 1993), indicando que este elemento é menos facilmente transportado e acumulado nos tecidos dos frutos (Lee, Kim & Han, 2009).

Desse modo, o manejo da nutrição cálcica do tomateiro requer cuidados contínuos, de acordo com cada situação de cultivo, com o suprimento adequado de Ca e água no sistema radicular, equilíbrio com demais cátions competidores, atenção às condições ambientais e à condução das plantas (podas, raleios de frutos), com objetivo de proporcionar crescimento lento e constante dos frutos (Fontes, 2003; Kinet & Peet, 2006). Por isso, a realização de pulverizações com fontes de Ca direcionadas aos cachos em início de formação reduz a gravidade ou ocorrência de anormalidades (Dorais, Papadoulos & Gosselin, 2001; Malavolta, 2006; Klaus, 2007; Prezotti, 2010).

1.3 Boro na planta

O boro (B) é um elemento essencial na nutrição mineral de plantas, desde as comprovações experimentais de Warington em 1923 (Power & Woods, 1997), mas cujas funções permanecem pouco compreendidas e que, por isso, tem sido foco de vários estudos recentes (Hänsch & Mendel, 2009; Marschner, 2012; Prado et al., 2013).

É absorvido principalmente como ácido bórico (H_3BO_3), nas condições de pH de cultivo, por difusão passiva, em função de fatores como: a concentração externa de ácido bórico, de sua alta permeabilidade pelas membranas, da taxa transpiratória e das possíveis formações de compostos covalentes intracelulares não trocáveis - ligações B-cis-diol com açúcares e compostos polihidroxílicos, incompatíveis com o floema (Hu & Brown, 1997; Läuchli, 2002; Marschner, 2012).

Assim como o Ca^{2+} , o movimento do B nas plantas ocorre pelo xilema, predominantemente transportado via fluxo de transpiração que é o fator, não relacionado ao solo, que mais influencia a absorção e o transporte de B, havendo uma correlação positiva com a disponibilidade hídrica, a umidade relativa, a temperatura e a luminosidade (Hu & Brown, 1997; Asad, Blamey & Edwards, 2001).

Alguns açúcares, fenóis, ácidos orgânicos e polímeros podem formar ‘complexos’ de B no citoplasma ou na parede celular (Dembitsky et al., 2002), podendo ser indicativos das funções deste micronutriente (Kobayashi, Ohno & Matoh, 1997).

Em geral o B é considerado imóvel nas plantas, mas sua mobilidade no floema é altamente dependente da espécie, pois há evidências que em algumas espécies, como as de *Malus*, *Prunus*, *Brassica*, *Olea*, *Coffea* e *Pyrus* produzem polióis (sorbitol, manitol e dulcitol) que formam compostos covalentes com o B, facilitando sua redistribuição (Brown & Hu, 1994; Fernández, Sotiropoulos & Brown, 2015).

O B pode ocorrer nas plantas superiores tanto em formas solúveis em água, na região apoplástica como ácido bórico, quanto em formas insolúveis, associado à rhamnogalacturona II (RG-II) – um polissacarídeo das paredes celulares (Matoh, 1997).

O B está relacionado a uma série de processos fisiológicos das plantas, sendo as funções mais bem definidas (e importantes) aquelas associadas e similares à ação do Ca^{2+} na biossíntese, lignificação, estabilização e regulação das paredes celulares e membranas plasmáticas. O B auxilia o Ca^{2+} na deposição e formação de pectatos que formam parte das paredes celulares e nas membranas, especialmente a lamela média, associados a componentes com configuração cis-diol, tais como glicoproteínas e glicolipídios (Santos et al., 1990; Cakmak & Römheld, 1997; Bolaños et al., 2004). Está, portanto, diretamente envolvido nas propriedades mecânicas da parede celular e na manutenção da integridade estrutural e funcional da membrana, muito importante no processo de absorção, tanto radicular quanto foliar (Malavolta, 2006).

Considerando que a maior parte do B é constituinte estrutural dos tecidos, as plantas que apresentam maior exigência em B são aquelas que contêm maior quantidade de B na parede celular associado a pectinas, que pode representar mais de 90% do B nos tecidos vegetais (Power & Woods, 1997; Hu et al., 1997; Hänsch & Mendel, 2009; Marschner, 2012). Com isso, a desorganização das pectinas e conseqüentemente da lamela média e das paredes primárias adjacentes, devido ao comprometimento do rearranjo das microfibrilas de xiloglucanos da parede celular, caracterizam os primeiros sintomas da deficiência de B (e Ca) a nível celular (Ryden et al., 2003; Huang & Snapp, 2004; Camacho-Cristóbal et al., 2008; Liu et al., 2014).

A deficiência de B impede o completo desenvolvimento e a maturação das células, que constitui a segunda fase do desenvolvimento celular, ao contrário, células já maduras não são afetadas pela deficiência deste elemento, mas são aquelas a mostrar sinais de toxicidade deste elemento (Buchanan, Gruissem & Jones, 2009; Taiz & Zeiger, 2013).

A integridade das membranas e da parede celular é afetada em plantas deficientes em B, devido à peroxidação de lipídios pelos radicais livres produzidos a partir do acúmulo de compostos fenólicos – facilitação das atividades das enzimas lipoxigenase e poligalacturonase (Camacho-Cristobal, et al., 2004).

Além da participação na síntese e no funcionamento de paredes e membranas celulares, o B também tem importante participação, direta ou indireta, em outros processos fisiológicos tais como: síntese e transporte de carboidratos, síntese de proteínas, balanço hormonal, regulação enzimática (metabolismo de RNA, AIA, ascorbato, ATPase, entre outros), metabolismo de compostos fenólicos, fixação de nitrogênio, resistência a doenças, fotossíntese, crescimento e reprodução - crescimento do tubo polínico e germinação dos grãos de pólen (Power & Woods, 1997; Cakmak & Römheld, 1997; Läuchli, 2002; Bolaños et al., 2004; Sotiropoulos et al., 2006; Ruiz et al., 2006; Malavolta, 2006; Marschner, 2012; Choi et al., 2015).

A deficiência de B ocorre inicialmente nos tecidos meristemáticos, com redução, desorganização e morte destes tecidos, devido limitação à divisão e diferenciação celular (Mengel & Kirkby, 2001), causando a redução do crescimento - aéreo e radicular; diminuição da superfície foliar, com folhas jovens deformadas, quebradiças, espessas e pequenas; abortamento floral; fendas nos ramos, pecíolos e má formação dos frutos; redução na concentração de clorofila; diminuição da resistência às infecções e alterações nas atividades metabólicas (enzimas) (Smit & Combrink, 2004; Epstein & Blom, 2006; Dechen & Nachtigall, 2007; Liu et al., 2014), podendo também ser um fator ativador de genes relacionados ao estresse (Ruiz et al., 2006; Tombuloglu et al., 2012) e em casos mais severos causar a morte prematura das plantas (Moraes-Dallaqua, Beltrati & Rodrigues, 2000).

O B desempenha um papel crucial na reprodução das plantas, essencial para o crescimento do tubo polínico, por isso é necessário assegurar o melhor estado nutricional das plantas para garantir a produção e a qualidade dos produtos (Brown et al., 2002), quanto à coloração, o total de sólidos solúveis, a firmeza e a vida de prateleira (Smit & Combrink, 2004; Huang & Snapp, 2004; Salam et al., 2010).

Em alguns trabalhos constatou-se que a limitação ao crescimento e as alterações morfológicas do sistema radicular são os sintomas mais evidentes da deficiência de B, com drástica redução no crescimento das plantas (Mei et al., 2011; Hajiboland, Farhanghi & Aliasgharpour, 2012). Efeitos que se iniciam com inibição da divisão e alongamento celular, hipertrofia de células e desorganização de elementos vasculares da raiz e que progridem aos órgãos superiores, causando um desbalanço hídrico na planta, dificultando a absorção, o transporte e as trocas gasosas da parte aérea, que ao final afetam a fotossíntese (Moraes-

Dallaqua, Beltrati & Rodrigues, 2000; Wimmer & Eichert, 2013). A deficiência de B pode alterar a morfologia e condutância estomática (Sheng et al., 2009; Choi et al., 2015).

Estudos anatômicos em tomateiro demonstraram que sob deficiência de B pode haver formação de feixes vasculares desorganizados e câmbio vascular com atividade atípica (Maia, 2012); espessamento irregular da parede celular, hipertrofia foliar, limitação do alongamento e divisão celular nos ápices radiculares e da parte aérea, reduzindo o crescimento e massa seca total produzida pelas plantas (Matoh, 1997; Mei et al., 2011; Hajiboland, Farhanghi & Aliasgharpour, 2012). Sob excesso de B pode ocorrer inibição ao crescimento radicular e maior deposição de lignina nas plantas (Cervilla et al., 2009).

Os problemas com a deficiência de B são muito comuns em hortaliças que apresentam crescimento rápido, como o tomateiro, em que as folhas novas não crescem, se deformam e enrolam para dentro, ocorrendo também encurtamento dos entrenós, morte da gema dos tecidos meristemáticos, manchas de coloração marrons nos frutos novos e alto índice de abortamento floral e frutos com lóculo aberto (Coutinho, Natale & Souza, 1993; Prezotti, 2010). Por isso, são comuns e necessárias pulverizações direcionadas aos frutos e folhas em formação com este micronutriente, principalmente quando há um conjunto de fatores que não permitem uma nutrição ideal às plantas via radicular (Gondim et al., 2014).

Porém as exigências quanto à nutrição boratada variam de acordo com o genótipo e seus estádios fenológicos, sendo importante o seu conhecimento para o manejo equilibrado da nutrição das plantas e garantir uma melhor produção (Cervilla et al., 2009; Gondim et al., 2014).

1.3.1 Nutrição de B via foliar

A aplicação foliar de B promove um aumento da área foliar, do número de frutos e influencia a produção de matéria seca total do tomateiro (Davis et al., 2003; Prado et al. 2013). Gondim et al. (2014) obtiveram um aumento de 30% na produção de frutos e de matéria seca das plantas de tomateiro com três aplicações foliares, aos 20, 40 e 60 DAT, na concentração de 0,340 g L⁻¹ de B o que proporcionou uma concentração foliar de 72 mg kg⁻¹ B. Isso demonstra que a nutrição foliar pode corrigir deficiências incipientes de B em culturas que apresentem imobilidade desse micronutriente no floema (Fernández, Sotiropoulos & Brown, 2015).

Para absorção do B pelas folhas e passagem do meio externo da planta ao espaço intercelular, é necessário que o nutriente atravessasse a cutícula, a parede e a membrana plasmática foliar. A cutícula é composta de cutina, polímeros de carboidratos (pectinas e celulosas) e especialmente de ceras, de caráter hidrofóbico, com função de proteger a planta

contra perdas de água e ataques mecânicos e infecciosos, mas que, em contrapartida, dificulta a absorção foliar. Estruturas epidérmicas como os estômatos e os tricomas também podem influenciar o processo de absorção foliar (Taiz & Zeiger, 2013). A presença e natureza química dessas estruturas podem dificultar o molhamento da superfície epidérmica, o que exige a adição de agentes tensoativos (adjuvantes) para modificar as propriedades físicoquímicas da solução pulverizada e melhorar o espalhamento e a persistência (aderência) do nutriente mineral sobre a superfície foliar e assim favorecer a velocidade de absorção e a bioatividade do nutriente aplicado, tornando a pulverização mais eficiente (Fernández, Sotiropoulos & Brown, 2015).

Há uma variedade muito grande de tensoativos disponíveis no mercado, sendo os surfactantes os mais comumente utilizados, os quais podem ser denominados de “detergentes”, “agentes de molhamento” ou “espalhantes” com principal efeito na redução da tensão superficial e aumento da superfície de contato entre a solução aplicada e a superfície foliar (Fernández, Sotiropoulos & Brown, 2015).

Em condições de pH comumente utilizados na agricultura (5,5 a 6,5), o B está presente nas soluções nutritivas na forma de ácido bórico (H_3BO_3), molécula não carregada e de baixo peso molecular (MM: 61,83 g/mol, 17,5% B), de alta permeabilidade à cutícula foliar e às membranas celulares, tanto radiculares como foliares. Por ser a principal forma de B absorvida pelas plantas, o ácido bórico é a fonte de B mais utilizada para a fertilização das culturas, seguido do bórax $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$ (MM: 381,37 g/mol, 11,0% B) (Sá et al., 2014; Fernández, Sotiropoulos & Brown, 2015). Outra fonte de B é o B “complexado” com o composto químico orgânico etanolamina (ou monoetanolamina) (MM: 61,08 g/mol, 10,8 % B), que é uma molécula base fraca com uma amina e um álcool primários, que podem facilitar o processo de absorção foliar por atuar como agente detergente, “solubilizando” componentes cuticulares.

2. OBJETIVOS

Os objetivos do presente trabalho são avaliar os efeitos da aplicação de doses de cálcio e boro, esse último em diferentes formas, sobre a fenologia, desempenho agrônômico, estado nutricional e morfoanatomia de tomateiro tipo cereja (*Solanum lycopersicum* L.), cultivado em sistema hidropônico.

CAPÍTULO I

EFEITOS FITOTÉCNICOS E ANATÔMICOS DA DISPONIBILIDADE DE CÁLCIO NO CULTIVO DE TOMATEIRO DO GRUPO CEREJA

1. INTRODUÇÃO

O cálcio (Ca) é um macronutriente de significativa importância para o crescimento, desenvolvimento e produção dos tomateiros, bem como para a qualidade dos frutos (Loos et al., 2008; Ekinci et al., 2015). Está diretamente relacionado à estrutura, estabilidade e regulação das paredes e membranas celulares, principal componente da lamela média, sendo essencial também para os processos de divisão e alongamento celulares e ativação de várias enzimas (Plieth, 2005; Karp, 2005; Buchanan, Gruijter & Jones, 2009; Marschner, 2012; Taiz & Zeiger, 2013).

As plantas absorvem e transportam Ca da solução nutritiva (do solo) para a parte aérea por fluxo de massa (via xilemática), sendo este alocado principalmente nas folhas, em relação aos frutos e pontos de crescimento vegetativo (gemas). Os compostos a base de Ca na planta possuem baixa solubilidade, com insignificante redistribuição floemática, de modo que com a baixa disponibilidade desse nutriente ou em condições que desfavoreçam sua absorção e transporte na planta, facilita-se a ocorrência de desordens fisiológicas devido ao limitado aporte de Ca aos frutos e aos meristemas ou a diferenças na partição entre os diferentes órgãos, o que causa a deficiência de Ca celular localizada (Mengel & Kirkby, 2000; Ho & White, 2005; Franceschi & Nakata, 2005; Freitas et al., 2011, 2012; 2014).

A podridão apical dos frutos, ou *Blosson end rot* (BER), é a desordem fisiológica relacionada à deficiência de Ca mais amplamente conhecida e estudada na cultura do tomateiro. Sua ocorrência relaciona-se a vários fatores como: genótipos, variações climáticas, equilíbrio nutricional e fisiologia das plantas (Saure, 2001; Freitas et al., 2011; 2012; 2014).

Tantos são os fatores e as interações possíveis na nutrição cálcica do tomateiro que não existe uma recomendação ideal ou a identificação de um nível crítico de Ca para a ocorrência de BER nos frutos das diversas cultivares e híbridos de tomateiros, sendo importante compreender o papel deste íon na fisiologia das plantas, em cada condição de cultivo, buscar conhecer mais detalhadamente seus efeitos a nível celular e as exigências em cada estágio fenológico (Ho & White, 2005; Terraza et al., 2008; Arruda Júnior et al., 2011; Olle & Williams, 2016), pois são temas ainda pouco estudados e sem informações relevantes disponíveis para a maioria dos híbridos de tomate cultivados.

Novos estudos priorizando a relação do estado da nutrição cálcica do tomateiro com suas funções fisiológicas primárias, como a nível celular/anatômico, nas distintas fases de

exigência nutricional da cultura podem contribuir significativamente para o entendimento e a melhoria de seu manejo nutricional (Maia, 2012).

Diante da carência de informações mais detalhadas sobre esse tipo de estudos, objetivou-se com este trabalho avaliar os efeitos da aplicação de cinco doses de cálcio sobre a fenologia, desempenho agrônomico, estado nutricional e as possíveis alterações morfoanatômicas em folhas, caules e raízes de tomateiro tipo cereja, cultivado em sistema hidropônico.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Material vegetal e condições de cultivo

O experimento foi conduzido durante o outono-inverno de 2014 em casa de vegetação do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 20° 45' 14" S, 42° 52' 55" W, altitude 648 m.

Mudas do tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.) híbrido BRS Iracema do grupo cereja (Embrapa® & Agrocinco®), de crescimento indeterminado, foram produzidas em bandejas de poliestireno expandido, 68x34 cm com 128 células, contendo substrato comercial, regadas uma vez ao dia com água deionizada.

Quando as plântulas apresentaram duas folhas definitivas, aos 25 dias após a semeadura (DAS), foram selecionadas e transplantadas para um sistema hidropônico, com solução nutritiva (SN) para fase vegetativa (Tabela 1), com metade da força iônica. Antes do transplante, todo o substrato foi eliminado do sistema radicular com água corrente. O sistema hidropônico utilizado foi composto por bandejas de 24 L contendo solução estática aerada, cobertas com placas de poliestireno expandido, que serviram de suporte para o cultivo de 18 plantas em cada bandeja.

Aos 32 DAS, as plantas foram selecionadas e passaram a ser cultivadas em SN de fase vegetativa com o total da força iônica. Aos 44 DAS, quando com 5 a 6 folhas definitivas, as plantas foram novamente selecionadas e transferidas para as unidades experimentais e cultivadas com SN de fase vegetativa de acordo com os tratamentos de doses de cálcio (Tabela 1). Cada unidade experimental foi constituída por caixas plásticas de 36 L de capacidade, em que se cultivaram quatro plantas em cada uma, fixadas em tampas de poliestireno expandido que recobriam as caixas e tutoradas com fitilho. Cada planta dispunha de aproximadamente 0,36 m² de área útil. Aplicou-se a SN de fase reprodutiva aos 57 DAS, após realização da avaliação de final da fase vegetativa.

Os tratamentos se constituíram de cinco doses de cálcio, considerando-se como Controle: 2,0 e 3,0 mmol L⁻¹ Ca²⁺, para as fases vegetativa e reprodutiva respectivamente;

Baixas Concentrações: 0,5 e 1,5 mmol L⁻¹ Ca²⁺; e como Altas Concentrações 6,0 e 10,0 mmol L⁻¹ de Ca²⁺ (Tabela 1).

Tabela 1. Composição das soluções nutritivas, modificadas de Fernandes, Martinez & Fontes (2002), para o cultivo do tomateiro cereja durante todo seu ciclo fenológico, em sistema hidropônico

	Fase Vegetativa	Fase Reprodutiva
	mmol L ⁻¹	mmol L ⁻¹
N-NO ₃ ⁻	8,0	12,0
P-H ₂ PO ₄ ⁻	2,0	3,0
K ⁺	4,0	8,6
Ca ²⁺	0,5; 1,5; 2,0; 6,0 e 10,0	0,5; 1,5; 3,0; 6,0 e 10,0
Mg ²⁺	1,0	1,5
S-SO ₄ ²⁻	1,0	1,5
	μmol L ⁻¹	μmol L ⁻¹
Fe-EDTA	50,0	60,0
Mn	15,0	20,0
B	20,0	25,0
Zn	4,0	4,0
Cu	0,9	1,3
Mo	0,7	0,7

Cada planta foi retirada do sistema e avaliada em um estágio fenológico do tomateiro (Rocha, 2009): 1) *Crescimento vegetativo*: até o aparecimento do primeiro cacho floral em 51% das plantas; 2) *Florescimento e início da frutificação*: desde quando 52% das plantas apresentaram o primeiro cacho floral até que 51% delas apresentaram frutos; 3) *Plena frutificação*: quando 52% das plantas apresentaram frutos até que 51% delas apresentaram frutos em ponto de colheita; 4) *Colheita*: desde quando 52% das plantas apresentaram frutos em ponto de colheita até o final da colheita. Dessa forma, as avaliações foram realizadas aos 57, 84, 97 e 115 DAS. A solução nutritiva da fase reprodutiva foi ministrada a partir da primeira avaliação.

O experimento foi conduzido seguindo um esquema de parcela subdividida, tendo nas parcelas as cinco doses de Ca (0,5; 1,5; 3,0; 6,0 e 10,0 mmol L⁻¹ Ca²⁺) e nas subparcelas as quatro fases fenológicas em que se realizaram as avaliações (57; 84; 97 e 115 DAS), no delineamento inteiramente casualizado (DIC), com quatro repetições.

A SN de todas as unidades experimentais teve aeração constante, pH monitorado e ajustado à faixa de 5,5 a 6,5 e manutenção do volume. As reposições periódicas dos nutrientes absorvidos foram realizadas com base na redução de até 30% da condutividade elétrica inicial. A troca completa da solução nutritiva foi realizada a cada três semanas.

Todas as plantas foram conduzidas com apenas uma haste e três cachos. A poda apical foi realizada acima da terceira folha do terceiro cacho, aos 66 DAS, e não houve desbastes dos frutos. Durante o período reprodutivo, emissão e abertura floral, procedeu-se diariamente

a vibração manual dos cachos florais para promover a queda dos grãos de pólen sobre o estigma e conseqüentemente, a polinização.

Armadilhas com a finalidade de atrair e reduzir a população de pragas vetores de viroses, como moscas-branca e pulgões, foram distribuídas no interior da casa de vegetação na altura das plantas. Cada armadilha correspondia a uma folha de plástico amarelo coberto com óleo mineral para a fixação dos insetos que são atraídos por essa cor.

2.2 Avaliações e registro de informações

2.2.1 Soma térmica e radiação solar

Durante o experimento, registraram-se diariamente as temperaturas máximas e mínimas do ar no interior da casa de vegetação, à altura das plantas (Figura 1).

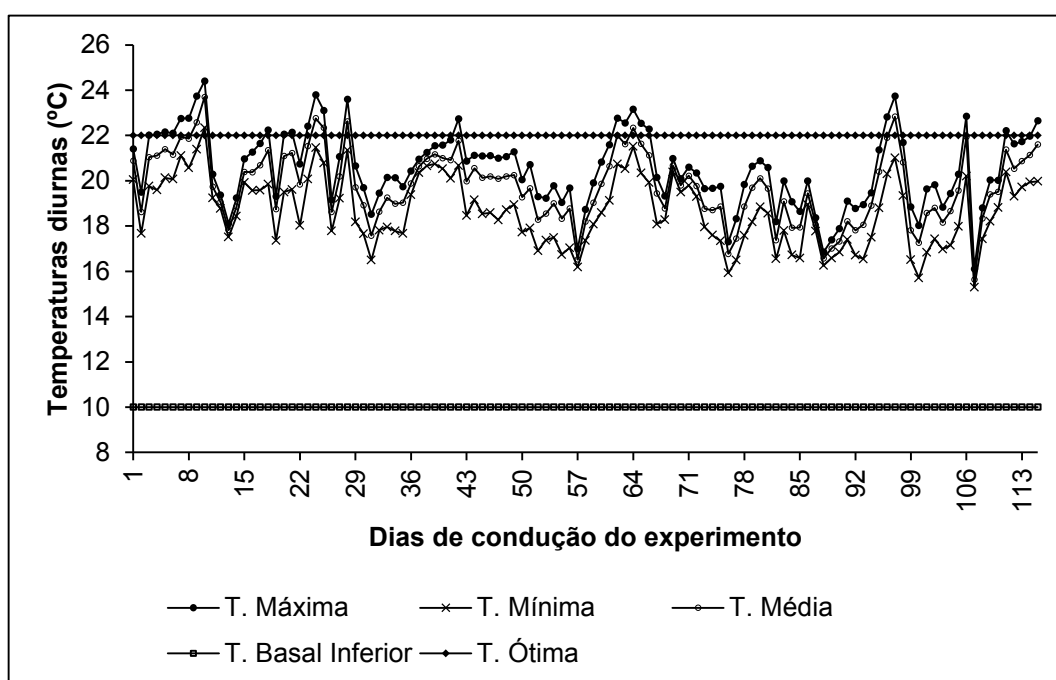


Figura 1. Temperatura ao longo do ciclo da cultura do tomateiro cultivado com doses de cálcio em solução nutritiva no interior de casa de vegetação

Com esses dados calcularam-se as somas térmicas ou graus-dias (GD °C) diários e acumulados para o tomateiro, para cada fase de desenvolvimento da cultura a partir do transplântio, de acordo com as metodologias propostas por Arnold (1960) (M1) e por Ometto (1981) (M2):

$$\begin{aligned}
 & GD = (T_{med} - T_b) \\
 \text{(M1):} & \quad \Rightarrow \text{se } T_{med} < T_b \text{ então } T_{med} = T_b \\
 \text{(M2):} & \quad GD = \frac{(T_M - T_m)}{2} + (T_m - T_b) \quad \text{e} \quad GD = \frac{2(T_M - T_m)(T_m - T_b) + (T_M - T_m)^2 - (T_M - T_B)^2}{2(T_M - T_m)} \\
 & \quad \Rightarrow \text{quando } T_m > T_b \text{ e } T_M < T_B \quad \quad \quad \Rightarrow \text{quando } T_m > T_b \text{ e } T_M > T_B
 \end{aligned}$$

em que:

T_M , T_m e T_{med} são as temperaturas máxima, mínima e média diária do ar ($^{\circ}C$) no interior da casa de vegetação durante o experimento, sendo que a T_{med} foi calculada pela média aritmética da T_M e T_m ; T_B , T_b e T_{ot} são as temperaturas cardinais basal superior, basal inferior e ótima, respectivamente, consideradas adequadas para emissão de folhas pelas plantas de tomateiro, em que se assumiram $T_B= 34^{\circ}C$, $T_b= 10^{\circ}C$ e $T_{ot}= 22^{\circ}C$ (Silva & Giordano, 2000).

Os estádios (fases) de desenvolvimento considerados para estes cálculos se definem como: Fase I: Inicial – da sementeira ao transplante; Fase II: Desenvolvimento vegetativo – do transplante ao florescimento; Fase III: Florescimento – do início do florescimento ao início de frutificação; Fase IV: Frutificação – do início da frutificação ao início da maturação e Fase V: Amadurecimento – do início da maturação ao final da colheita.

Os dados sobre a radiação global incidente foram coletados de uma estação automática do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizado a aproximadamente 500 m do local do experimento (Figura 2).

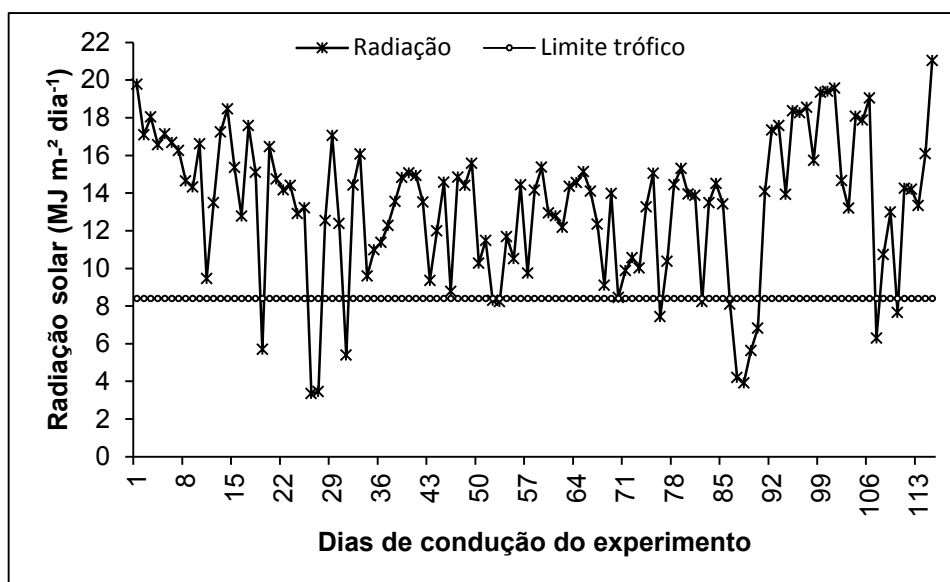


Figura 2. Média de radiação solar global registrada durante a condução do experimento em Viçosa, MG.

2.2.2 Sintomas macroscópicos e avaliação morfoanatômica do tomateiro em resposta às doses de Ca

Durante a condução do experimento se observaram e se realizaram os devidos registros de todos os sinais e sintomas demonstrados pelas plantas como efeitos dos tratamentos aplicados.

Devido à observação dos principais sintomas visuais que caracterizaram as diferenças entre os tratamentos serem identificados ao final do ciclo fenológico do tomateiro, somente se procederam às análises morfoanatômicas para as amostras colhidas durante a quarta avaliação (115 DAS), que foram: a terceira folha completamente expandida a partir do ápice, da qual se analisou a parte mediana do segundo par de folíolos; Porção do caule com crescimento

secundário, de aproximadamente 5 cm de comprimento, do entrenó logo abaixo da folha índice; Porção do caule, sem ainda apresentar crescimento secundário, de aproximadamente 5 cm de comprimento da porção basal de ramificações laterais do terço médio da planta e Porções da raiz em diferentes estádios de desenvolvimento, com seus meristemas.

As amostras foram fixadas em solução de FAA₅₀ (formaldeído, ácido acético e álcool etílico 50% 1:1:18 v/v) por 48 horas e conservadas em etanol 70% (Johansen, 1940).

Aproximadamente 0,25 cm² de cada material foi desidratado em série etílica crescente e incluídos em metacrilato (Historesin-Leica Instruments, Heidelberg, Alemanha) de acordo com as recomendações do fabricante. As amostras foram seccionadas transversal e longitudinalmente com 5 µm de espessura em micrótomo rotativo de avanço automático (modelo RM2155, Leica Microsystems Inc., Deerfield, USA) e os cortes corados com azul de toluidina pH 4,4 (O'Brien, Feder & McCully, 1965) e montados em resina sintética (Permount, Fisher). As observações e a documentação fotográfica foram feitas em fotomicroscópio (modelo Olympus AX70TRF, Olympus Optical, Tóquio, Japão) acoplado à câmera digital (modelo Zeiss Axio Cam, Carl Zeiss, Jena, Alemanha).

Amostras de raízes foram coletadas, lavadas em água corrente e coradas com violeta cristal 1% e fotografadas para ilustração macromorfológica dos efeitos do Ca nas raízes.

Todas as análises morfoanatômicas foram realizadas no laboratório de anatomia vegetal da UFV.

Procedeu-se a análise qualitativa das características anatômicas deste estudo, com descrição das principais alterações observadas decorrentes das diferentes concentrações de Ca disponibilizadas via SN.

2.2.3 Avaliações alométricas

Em cada estádio fenológico em que as plantas foram avaliadas, registraram-se o número de folhas (NFO); altura das plantas (APL, cm); diâmetro do caule à altura do coleto (DIC, mm) e o volume de raízes (VRD, cm³), que foi determinado pelo método da proveta, em que se colocando as raízes em uma proveta graduada, contendo volume conhecido de água, seu valor é equivalente à diferença de volume proporcionado na proveta (1ml = 1 cm³), conforme descrito por Basso (1999).

A área foliar total das plantas (AFT, cm²) foi determinada utilizando-se o medidor de área foliar LI-3100 (Li-Cor, inc. Lincoln, Nebraska, USA).

Seccionaram-se as plantas avaliadas em folhas, caule, raízes e frutos, que foram devidamente acondicionados e identificados em sacos de papel e secos em estufa de circulação forçada de ar (65°C) até atingirem peso constante. Então, pesaram-se as amostras,

com auxílio de uma balança digital (0,001 g), obtendo-se a massa seca dos respectivos tecidos: folhas (MSF, g), caule (MSC, g) e raízes (MSR, g), que somados representaram a massa seca total da planta (MST).

Na quarta avaliação, com o objetivo de obter as características dos frutos e produção, registrou-se o número (NFR) e massas fresca e seca totais dos frutos produzidos por planta (MFFR e MSFR, g); diâmetro equatorial e altura transversal dos frutos (mm) e os números totais de frutos com *Blossom-end rot* (NFRBER) e com rachadura no pericarpo (NFRUR).

2.2.4 Avaliação do estado nutricional dos tomateiros e alocação de nutrientes nos frutos

Para determinação do estado nutricional de cada planta em cada fase de avaliação, analisaram-se a folha índice, amostra do total de folhas e os frutos da quarta avaliação. A folha índice, ou diagnóstica, é a terceira folha completamente expandida a partir do ápice e os frutos amostrados foram aqueles do terço médio dos cachos 01 e 03, que foram seccionados transversalmente, à altura equatorial, em duas partes: proximal (P) e distal (D) em relação ao pedúnculo.

De posse da massa seca de cada parte da planta (folha índice, folhas e frutos), procedeu-se a moagem das amostras em moinho tipo Wiley, a 20 mesh, e então se realizou o processo analítico para determinação do teor dos nutrientes (N-total, P, K, Ca, Mg, S, B, Zn, Cu, Mn e Fe) em cada tecido analisado.

Com a extração por digestão nitro-perclórica (A.O.A.C.,1975), se determinaram os teores de P, dosado colorimetricamente pelo método de redução do fosfomolibdato pela vitamina C em espectrofotômetro a $\lambda=725$ nm; K, por fotometria de emissão de chama; S por turbidimetria do sulfato em espectrofotômetro a $\lambda= 420$ nm; e Ca, Mg, Cu, Fe e Zn por espectrofotometria de absorção atômica.

Os teores de N-total foram obtidos pelo método Kjeldahl (Bataglia et al., 1983), a partir de digestão sulfúrica e titulação com HCl. Os teores de B foram determinados por digestão via seca, seguida de dosagem com azometina-H base e determinados por espectrofotômetro a $\lambda= 420$ nm (Malavolta, Vitti & Oliveira, 1997).

Com os dados nutricionais dos frutos, procedeu-se o cálculo da razão entre os teores de nutrientes das porções distal (D) e proximal (P) dos frutos dos cachos 1 e 3 através da equação: $D/P(\%) = [(D/P)*100]$.

2.3 Análises estatísticas

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e de regressão, das doses de Ca estudadas dentro de cada fase de desenvolvimento do tomateiro, com nível de 5% de significância do teste t de Student.

Para a escolha dos modelos de equações de regressão se consideraram aqueles que melhor representassem o caráter biológico de cada variável, a significância dos coeficientes de regressão e coeficiente de determinação ($R^2 = \text{S.Q.Regressão}/\text{S.Q.Tratamento}$) para cada um.

Ainda que o estudo das doses de Ca seja de caráter quantitativo, há o efeito qualitativo entre as fases de desenvolvimento avaliadas, razão pela qual se utilizou a comparação pelo teste de Tukey ($\alpha = 5\%$) das quatro fases fenológicas dentro de cada dose de Ca estudada.

Para as variáveis NFRBER e NFRUR, procedeu-se análise de variância e de regressão com os dados transformados ($\sqrt{x + 10}$), devido os dados originais não responderem às pressuposições da ANOVA.

Para todas as análises estatísticas se utilizou o *software* SAEG.

3. RESULTADOS

3.1 Condições climáticas e soma térmica acumulada

A temperatura média diária dentro da casa de vegetação durante a condução do experimento foi de 19,8°C, com variação de 15,6 a 23,7°C, estando a maior parte dos dias um pouco abaixo da temperatura considerada ótima para o desenvolvimento do tomateiro 22,0°C (Figura 1). A mínima e máxima observadas foram de 15,3 e 24,4°C, respectivamente, não atingindo, portanto, a temperatura mínima tolerada pela cultura, 10,0°C.

A radiação solar incidente média foi de 13,3 MJ m² dia⁻¹, com mínima e máxima registradas de 3,4 a 21,0 MJ m² dia⁻¹, respectivamente (Figura 2). Houve 15 dias em que a radiação registrada foi inferior ao limite trófico para o tomateiro, 8,4 MJ m² dia⁻¹: aos 19 DAS na fase I; aos 26, 27, 31, 52 e 53 DAS durante a fase II, aos 76 e 82 DAS na fase III, dos 86 aos 90 DAS na fase IV e aos 107 e 110 DAS na fase V.

Essas condições climáticas favoreceram um ciclo de 115 dias para a cultura do tomateiro, com um acúmulo de 1122,51 e 1103,23 graus-dias (GD), de acordo com as metodologias de Arnold (1960) e Ometto (1981), respectivamente, sendo a fase de desenvolvimento vegetativo a mais longa do ciclo fenológico do tomateiro (Tabela 2).

Tabela 2. Duração em dias dos estádios fenológicos do tomateiro cultivado com doses de cálcio e suas respectivas somas térmicas acumuladas, em graus dias (GD), pelos métodos de Arnold (1960) [M1] e Ometto (1981) [M2]

Fase	Estádio	Descrição	Dias	GD	GD
				M1	M2
I	Inicial	Semeadura - Transplântio	25	270,11	265,99
II	Desenvolvimento vegetativo	Transplântio - Florescimento	32	309,65	303,63
III	Florescimento	Florescimento - Frutificação	27	258,35	255,40
IV	Frutificação	Frutificação - Maturação	13	114,43	112,30
V	Amadurecimento	Maturação - Colheita	18	169,97	165,92
Total			115	1122,51	1103,23

3.2 Sintomas macroscópicos e avaliação morfoanatômica do tomateiro em resposta às doses de Ca

Os tomateiros cultivados com restrição de Ca na solução nutritiva, tratamentos com as doses de 0,5 e 1,5 mmol L⁻¹ Ca, apresentaram sintomas de deficiência desse macronutriente a partir da fase de florescimento, com nítido agravamento nas fases subsequentes.

Visualmente, os primeiros sintomas observados nas plantas sob estes tratamentos foram a coloração castanha das raízes, a redução do volume radicular e da quantidade de raízes finas, em comparação com as plantas cultivadas com os demais tratamentos. Cabe ressaltar que durante todo o experimento as plantas sob os tratamentos 0,5 e 1,5 mmol L⁻¹ Ca apresentaram mais lenta depleção nutricional, exigindo menor reposição de água e nutrientes para manutenção do volume e condutividade elétrica da solução nutritiva.

Além disso, as plantas deficientes em Ca, principalmente aquelas sob o tratamento 0,5 mmol L⁻¹ Ca em SN, apresentaram-se menos desenvolvidas, com menores lançamentos de brotações laterais, maior abortamento floral, maior número de frutos com BER e com maturação precoce, folhas mais frágeis - de aspecto quebradiço e ocorrência de seca e morte das ponteiros dos cachos, das brotações laterais e das folhas superiores, com evolução para os tecidos foliares em sentido descendente. Tais características traduziram-se em plantas depauperadas, menos produtivas e com ciclo fenológico mais curto (de pelo menos 10 dias) que aquelas cultivadas com os demais tratamentos (3, 6 e 10 mmol L⁻¹ Ca), que apresentaram melhor desenvolvimento, sem manifestação de sintomas de deficiência ou toxicidade de Ca, destacando-se, visualmente, o vigor das plantas sob o tratamento de 6 mmol L⁻¹ Ca em SN.

A avaliação anatômica de tomateiros cultivados com doses de Ca foi realizada aos 115 DAS, para as plantas dos tratamentos 0,5; 3,0 e 10,0 mmol L⁻¹ Ca, devido ao fato de ser essa a fase em que as plantas apresentaram as diferenças mais nítidas entre os tratamentos e esses serem os tratamentos-chave para comparações de seus efeitos (Figuras 3 e 4).

As alterações anatômicas mais evidentes em folhas (Figura 3 A-F), caules (Figura 4 A-I) e raízes (Figura 4 J-O) foram muito mais evidentes sob deficiência de Ca ($0,5 \text{ mmol L}^{-1} \text{ Ca}$), em relação à dose controle ($3,0 \text{ mmol L}^{-1} \text{ Ca}$) e à dose considerada elevada ($10,0 \text{ mmol L}^{-1} \text{ Ca}$).

Em condições de deficiência de Ca, a região da nervura principal de folhas de tomateiros (Figura 3 A) apresentou-se extremamente alterada, devido ao superdesenvolvimento do sistema vascular, com destaque para o aumento do floema. Na região intervenal (Figura 3 D), os feixes vasculares também se apresentaram hipertrofiados, principalmente o floema, além do aumento da espessura do limbo.

Nos caules jovens (Figura 4 A-C), a deficiência de Ca provocou lesões na região cortical, onde são observadas células com hipertrofia, células colapsadas e produção de compostos fenólicos (Figura 4 A). Nos caules em que a estrutura primária já está totalmente diferenciada e o crescimento secundário já se iniciou pela ativação do câmbio vascular, não foram observadas diferenças relevantes entre os tratamentos (Figura 4 D-I).

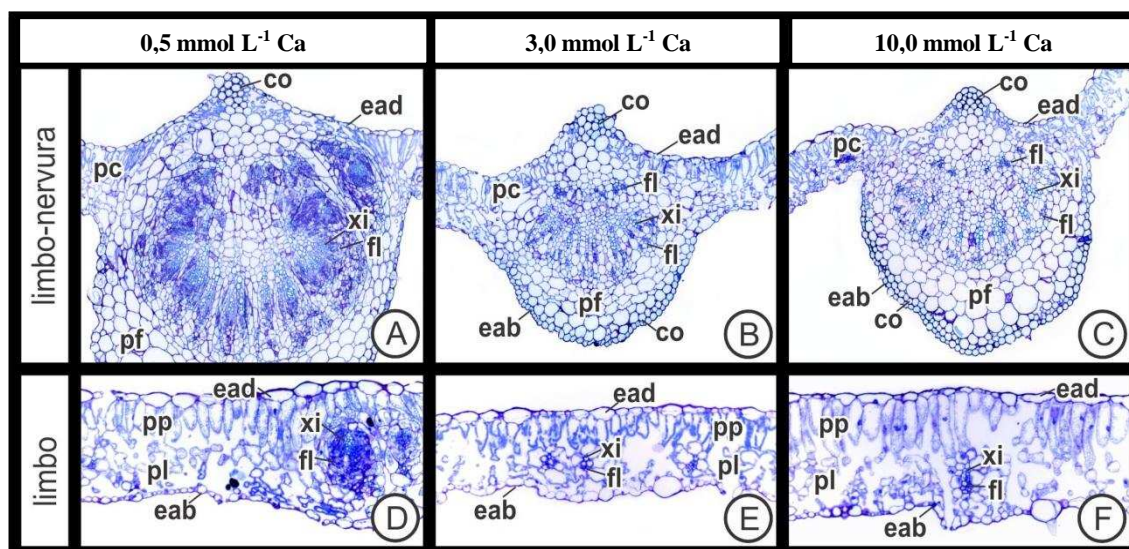


Figura 3. Fotomicrografias de folhas de tomateiros em cultivo hidropônico sob $0,5$ (A, D), $3,0$ (B, E) e $10,0 \text{ mmol L}^{-1} \text{ Ca}$ (C, F) aos 115 DAS (seções transversais). A-C: região da nervura principal; D-F: região internervural do limbo. co: colênquima; eab: epiderme abaxial; ead: epiderme adaxial; fl: floema; pc: parênquima clorofiliano; pf: parênquima fundamental; pp: parênquima paliçádico; pl: parênquima lacunoso; xi: xilema.

Nas raízes, a deficiência de Ca causou encurtamento, o que pode ser observado pela menor distância entre o ápice radicular e a raiz lateral mais jovem, ou seja, as ramificações da raiz se iniciaram muito mais próximas ao ápice radicular em condições de deficiência de cálcio (Figura 4 K) em relação aos demais tratamentos (Figura 4 M, O). Em seção transversal (Figura 4 J, L, N), as pequenas diferenças anatômicas observadas devem ser associadas às diferenças no número de polos de xilema e ao estágio de desenvolvimento da raiz.

Não se observou diferença qualitativa na análise anatômica dos tecidos analisados para o tratamento com dose elevada de Ca ($10,0 \text{ mmol L}^{-1}$) em relação às plantas do tratamento controle ($3,0 \text{ mmol L}^{-1}$).

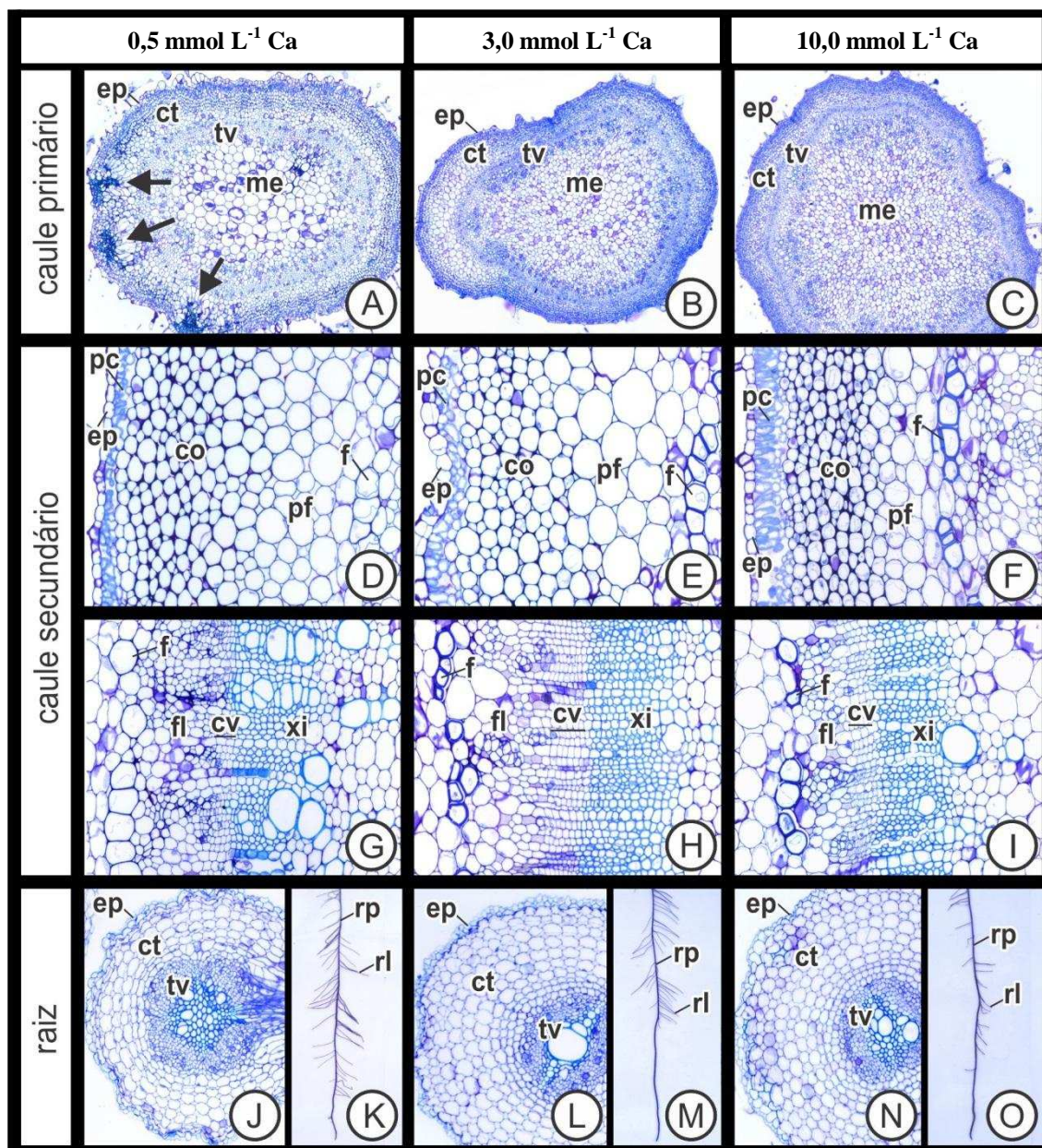


Figura 4. Fotomicrografias de caules (A-I) e raízes (J-O) de tomateiros em cultivo hidropônico sob doses de 0,5 (A, D, G), 3,0 (B, E, H) e $10,0 \text{ mmol L}^{-1}$ Ca (C, F, I) aos 115 DAS (seções transversais). (A-J, L, N, seções transversais; K, M, O, peças inteiras). Setas indicam regiões do córtex necrosadas, com produção de compostos fenólicos (coloração azul-esverdeada). cc: cilindro central; co: colênquima; ct: córtex; cv: câmbio vascular; eab: epiderme abaxial; ead: epiderme adaxial; ep: epiderme; f: fibras externas ao floema; fl: floema; me: medula; pc: parênquima clorofiliano; pf: parênquima fundamental; pp: parênquima paliçádico; pl: parênquima lacunoso; rp: raiz principal; rl: raiz lateral; tv: tecido vascular; xi: xilema.

3.3 Avaliações alométricas e de produção de frutos

Houve efeito significativo para a interação entre as doses de Ca e as épocas de avaliação para os atributos biométricos APL, VRD, AFT, MSF, MSC, MSR e MST. Para as variáveis NFO e DIC a interação não foi significativa, mas ambos apresentaram significância para época de avaliação e para este último também para as doses de Ca (Figura 5).

Os principais modelos de regressão ajustados para as variáveis biométricas foram lineares e quadráticos, principalmente para as fases de 97 e 115 DAS, que destacaram mais evidentemente os efeitos dos tratamentos.

O NFO médio variou de 9,75 a 12,10 nas quatro épocas avaliadas, tendo sido maior aos 84 DAS, final da fase vegetativa e início da produtiva, mesma época em que se realizou a poda apical das plantas (66 DAS), eliminando a dominância apical e impossibilitando o crescimento das plantas em altura e a emissão de novas folhas. Devido a esse evento, não se registrou diferença do NFO e APL para as épocas 84, 97 e 115 DAS, que foram estatisticamente iguais, de acordo com o teste Tukey, com médias de NFO = 11,7 e APL = 112,9 cm ao final do ciclo fenológico.

Apesar disso, houve diferença dos tratamentos para AFT dos tomateiros aos 97 e 115 DAS. Na época 97 DAS o modelo ajustado foi o linear crescente com a dose de Ca, atingindo uma AFT de 9989,6 cm², enquanto que aos 115 DAS, houve um ajuste quadrático com ponto de máxima de 11793,0 cm² para a dose de 6,3 mmol L⁻¹ Ca, 42,3 % maior que a AFT das plantas do tratamento 0,5 mmol L⁻¹ Ca. Nas fases 57 e 84 DAS as respectivas médias da AFT foram de 1817,1 e 5955,9 cm². Nota-se que as plantas dos tratamentos 0,5 e 1,5 mmol L⁻¹ Ca foram aquelas que apresentaram menor incremento em AFT a partir dos 84 DAS.

Houve um incremento no DIC dos tomateiros com a evolução do seu ciclo fenológico, com ajustes lineares crescentes com as doses de Ca aos 57 e 84 DAS, com máximas de 7,3 e 11,9 mm, respectivamente, o que representa uma diferença de 15 e 21% entre as doses máxima e mínima estudadas. Isso, demonstra que plantas bem nutridas em Ca apresentaram desenvolvimento inicial do caule mais rápido e vigoroso. Para as épocas 97 e 115 DAS os ajustes foram quadráticos, com pontos de máximas de 12,4 e 12,7 mm para as doses de 6,2 e 5,8 mmol L⁻¹ Ca, respectivamente, significando uma diferença de 18,0 % com o DIC das plantas do tratamento 0,5 mmol L⁻¹ Ca, ao final do ciclo fenológico.

O VRD na época 57 DAS apresentou efeito linear crescente com as doses de Ca, 32,2 cm³ para a dose de 10,0 mmol L⁻¹ Ca, enquanto que aos 84 DAS, não houve diferença estatística entre os tratamentos, com uma média de 189,9 cm³. Já aos 97 DAS, houve um ajuste quadrático para o VRD, com ponto de máxima de 257,0 cm³ para a dose de 6,0 mmol L⁻¹ Ca e aos 115 DAS, o ajuste foi linear-platô. Linear crescente até o ponto de máxima 5,44

mmol L⁻¹ Ca, que correspondeu a um VRD de 351,25 cm³ sem resultar em variação para doses de Ca superiores e que significou plantas com VRD 46% maior que as plantas sob o tratamento 0,5 mmol L⁻¹ Ca, 191,22 cm³.

A produção de biomassa seca total pelas plantas cultivadas com diferentes doses de Ca não apresentou diferença estatística entre os tratamentos nas duas primeiras épocas avaliadas. A MST média das plantas aos 57 e 84 DAS foi, respectivamente, de 10,9 e 88,8 g. Já nas épocas 97 e 115 DAS houve ajustes quadráticos com respectivas máximas de 178,7 e 179,4 g com as doses estimadas de 6,0 e 6,8 mmol L⁻¹ Ca. Observou-se que, ao final do ciclo fenológico, a máxima MST foi 40% maior que o valor observado para MST das plantas cultivadas com 0,5 mmol L⁻¹ Ca, que apresentaram o menor incremento em biomassa a partir dos 84 DAS.

A maior diferença de masa seca entre as partes das plantas foi observada na biomassa foliar, pois aos 115 DAS, a máxima de MSF foi de 111,9 g com a dose de 6,6 mmol L⁻¹ Ca, que significou um aumento de 42 % de MSF em comparação com o produzido pelas plantas do tratamento 0,5 mmol L⁻¹ Ca, que foi de 64,7 g. Também aos 115 DAS, os pontos de máximas observados para MSC e MSR foram de 41,1 e 25,6 g com as doses de 6,2 e 6,4 mmol L⁻¹ Ca, que representou uma diferença de 33 e 34 %, respectivamente, com o observado com o tratamento 0,5 mmol L⁻¹ Ca (MSC = 27,5 g e MSR = 16,7 g).

Aos 97 DAS, também houve ajustes quadráticos para as variáveis de MSF, MSC e MSR, que apresentaram máximas de 88,1; 65,2 e 24,4 g com as doses de 5,8; 6,3 e 6,0 mmol L⁻¹ Ca, respectivamente. Ao passo que, aos 84 DAS somente houve diferença entre os tratamentos para MSC, que com ajuste quadrático apresentou máxima de 34,2 g com a dose de 8,0 mmol L⁻¹ Ca. As médias de MSF e MSR nesta fase foram de 48,1 e 12,6 g, respectivamente.

Na avaliação realizada na primeira fase fenológica, 57 DAS, não houve diferença para as variáveis MSF, MSC e MSR entre os tratamentos avaliados, tendo apresentado médias de 6,6; 2,9 e 1,4 g, respectivamente.

Quanto à produção dos tomateiros, também se verificou que as doses de Ca promoveram efeito significativo ($p < 0,01$) sobre as variáveis de produção avaliadas: NTFL, NTFR, MFFR, MSFR, para os quais houve ajustes quadráticos (Figura 6).

O máximo NTFL obtido foi de 92,9 com a dose de 6,1 mmol L⁻¹ Ca, correspondendo a 62,6 % maior que o registrado com o tratamento 0,5 mmol L⁻¹ Ca (NTFL: 34,8) e o aumento das doses de Ca, promoveu uma redução de 29,3 % no NTFL com o tratamento de 10,0 mmol L⁻¹ Ca.

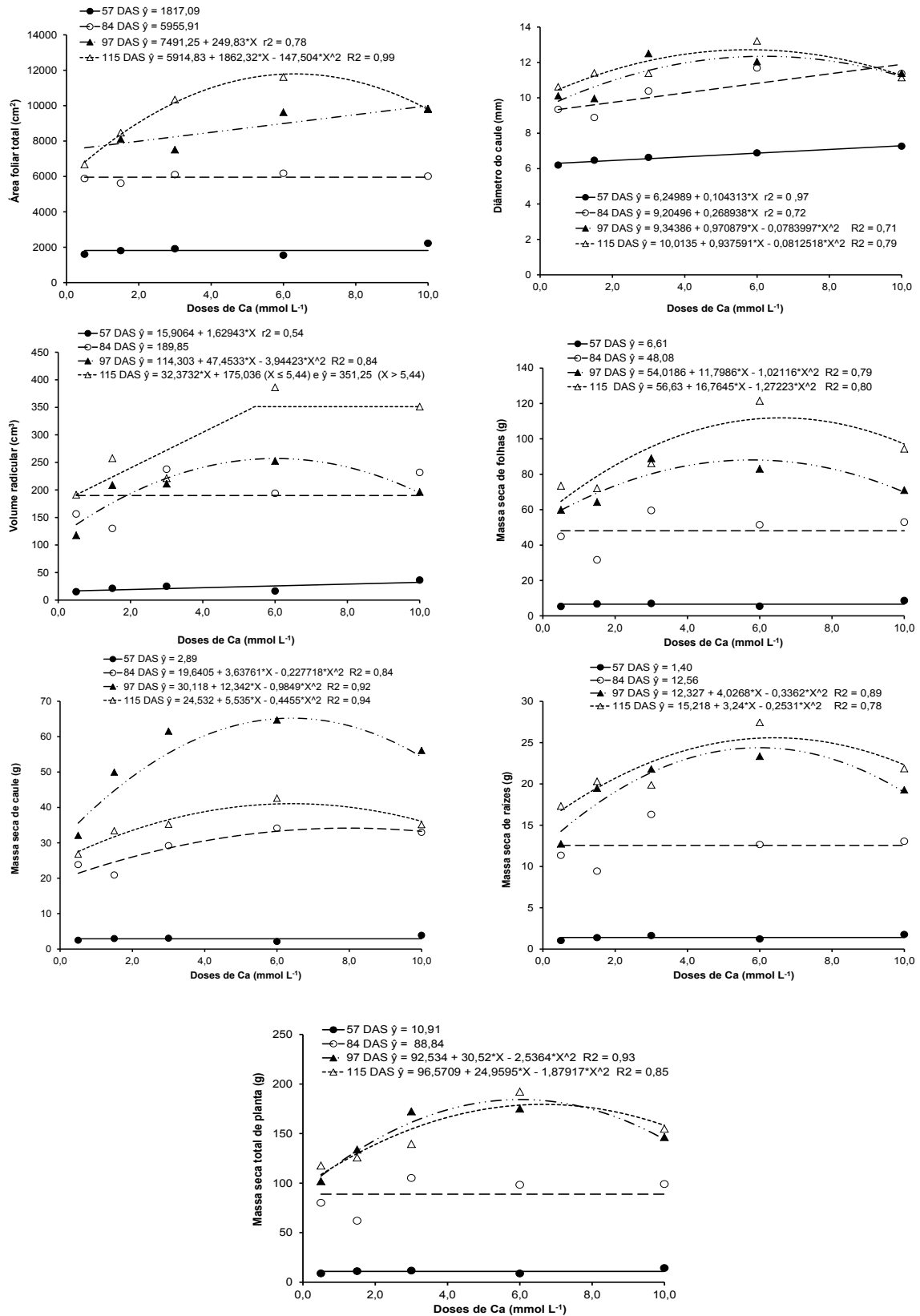


Figura 5. Área foliar, diâmetro do caule, volume radicular e massa seca de folhas, caule, raízes e total de plantas de tomateiro cereja cv. Iracema, em distintas fases fenológicas, em função de doses de cálcio.

O NTFR, MFFR e MSFR apresentaram máximas iguais a 70,8, 843,2 g e 57,0 g com as doses de 7,3; 6,5 e 6,9 mmol L⁻¹ Ca, o que representou um aumento de 72, 72 e 73%, respectivamente, em comparação com o produzido pelas plantas deficientes em Ca (0,5 mmol L⁻¹): NTFR: 19,6; MFFR: 237,8 g e MSFR: 15,4 g. Para estas mesmas variáveis, observou-se que o aumento das doses de Ca, acima do ponto máximo das curvas ajustadas, promoveram uma redução de 11, 24 e 17% no NTFR, MFFR e MSFR, respectivamente, com a dose máxima de Ca estudada, 10,0 mmol L⁻¹ - NFR: 62,8; MFFR: 644,6 g e MSFR: 47,3 g.

Mesmo que o número e as massas fresca e seca dos frutos tenham sido diferentes com as doses de Ca, não houve significancia para as medidas de diâmetro (DFRU) e altura dos frutos (ALTFRU), que apresentaram médias de 27,9 e 27,8 mm, respectivamente. Também não houve significancia para o NFRBER, ainda que se tenha observado a ocorrência, em média, de 17; 2; 4; 0 e 0 % de BER sobre o total de frutos produzidos com os tratamentos 0,5; 1,5; 3,0; 6,0 e 10,0 mmol L⁻¹, respectivamente.

A variável NFRUR apresentou efeito significativo para os tratamentos, (p<0,01) com ajuste de regressão ao modelo quadrático ($\hat{y} = \{(3,63785 - 0,16117x + 0,012578x^2)\} - 10$) R² = 0,84)** , com ponto de mínima de 0,0 NFRUR para a dose de 6,4 mmol L⁻¹. Com os valores observados e a equação ajustada, doses desde 4,5 a 8,0 mmol L⁻¹ apresentaram zero frutos com rachaduras. De acordo com o teste de Tukey, os tratamentos 0,5 e 1,5 mmol L⁻¹ apresentaram os maiores números de NFRUR (3,8 e 1,0), sendo iguais estatisticamente, enquanto que os demais tratamentos apresentaram entre 0,0 e 0,8 NFRUR, sendo estatisticamente iguais entre si.

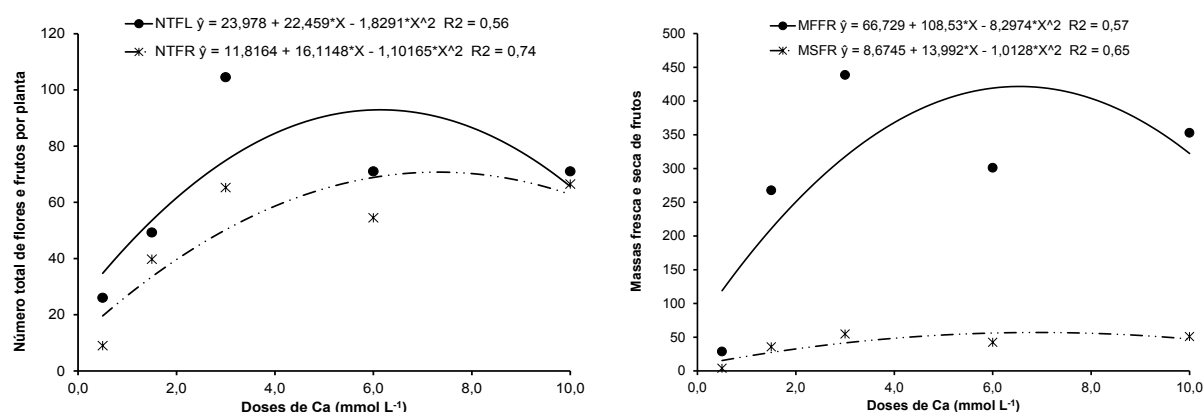


Figura 6. Número total de flores e frutos e massa fresca** e seca total de frutos produzidos por tomateiro cereja cv. Iracema, aos 115 DAS, em função de doses de cálcio.

** Para a obtenção do valor real do NFRUR e MFFR produzida por plantas, deve-se multiplicar o resultado obtido na respectiva equação por 2 (dois).

3.4 Avaliação do estado nutricional dos tomateiros e alocação de nutrientes nos frutos

3.4.1 Teor e acúmulo de nutrientes nos tecidos foliares

Os tratamentos com doses de Ca em SN para o cultivo hidropônico do tomateiro apresentaram efeito significativo ($p < 0,01$) para a interação com as fases do ciclo fenológico da cultura para os teores e acúmulos dos nutrientes nos tecidos foliares, com melhores ajustes de regressão obtidos principalmente a partir da fase de frutificação, 97 e 115 DAS (Figuras 7 a 10).

Os teores e acúmulos de Ca e Mg foram aqueles que mostraram maior efeito dos tratamentos, em todas as quatro fases avaliadas, mas quantitativamente em sentidos opostos.

Observa-se que houve maior teor e acúmulo de Ca foliar quanto maior a dose de Ca disponível em solução nutritiva em todos os estádios fenológicos do tomateiro. Para os teores de Ca na folha índice o modelo de regressão ajustado foi o logarítmico para as quatro fases avaliadas 57, 84, 97 e 115 DAS, respectivamente com máximas de 40,05; 49,24; 61,41 e 63,73 g kg⁻¹ com a dose máxima de 10,0 mmol L⁻¹ Ca. Ao final do ciclo fenológico (115 DAS), a diferença do teor máximo alcançado com aquele obtido com as plantas do tratamento 0,5 mmol L⁻¹ Ca, (4,02 g kg⁻¹ Ca), supera os 93 % (Figura 7).

Já o acúmulo de Ca nos tecidos foliares apresentou um comportamento mais variável de acordo com as fases fenológicas. Aos 57 e 84 DAS, o acúmulo foliar de Ca foi crescente com as doses de Ca, atingindo, respectivamente nessas fases, acúmulos de 442,30 e 2584,43 mg/planta com a dose de 10,0 mmol L⁻¹ Ca. Diferindo que esse crescimento aos 57 DAS foi linear e aos 84 DAS, logarítmico. Enquanto que nas fases finais, de frutificação e maturação, 97 e 115 DAS, os acúmulos foliares de Ca nessas fases apresentaram ajuste linear-platô, com aumento linear até, respectivamente, os pontos de máxima 3857,13 e 4963,02 mg/planta correspondentes às doses de 3,5 e 4,9 mmol L⁻¹ Ca. A partir dos quais não houve diferença estatística no acúmulo foliar de Ca (Figura 9).

Os maiores teores de Mg em folha índice foram observados na plantas deficientes em Ca (0,5 mmol L⁻¹ Ca), que decresceram de 59 a 71% com o aumento nas doses de Ca em solução nutritiva até a máxima dose utilizada, ao longo do ciclo fenológico do tomateiro. Para a fase 57 DAS o modelo ajustado foi o potencial e para as fases 97 e 115 DAS o exponencial, que demonstraram que com a maior dose de Ca, 10,0 mmol L⁻¹ Ca, se registraram os menores teores de Mg para estas fases, 3,5; 3,0 e 3,2 g kg⁻¹, respectivamente. Já para a fase de 84 DAS, o modelo ajustado foi quadrático, com mínima de 3,1 g kg⁻¹ com a dose de 9,4 mmol L⁻¹ Ca (Figura 6).

Houve um ajuste quadrático para o acúmulo de Mg nas folhas do tomateiro aos 57 DAS, tendo sido o mínimo de 33,2 mg/planta Mg com a dose de 6,2 mmol L⁻¹ Ca. Aos 84

DAS o modelo ajustado foi o linear negativo, com o menor acúmulo foliar de Mg obtido com o tratamento de 10,0 mmol L⁻¹ Ca, que foi de 182,2 mg/planta Mg, uma diferença de 54,5 % com o obtido com o tratamento 0,5 mmol L⁻¹ Ca. Para as duas últimas fases, 97 e 115 DAS, os modelos quadráticos indicaram que as máximas foram de 601,1 e 553,9 mg/planta Mg, com as doses de 2,9 e 2,8 mmol L⁻¹ Ca, respectivamente, o que corresponde a 64 e 56% mais que o obtido com a maior dose de Ca (10,0 mmol L⁻¹) (Figura 10).

O S foi o único macronutriente que apresentou teores na folha índice crescentes, ao longo do tempo e com o aumento das doses de Ca em solução nutritiva nos dois últimos estádios fenológicos, 97 e 115 DAS, tendo apresentado ajustes logarítmicos, com máximas de 12,3 e 12,6 g kg⁻¹ S, que significaram 65,5 e 75,4 % mais que o obtido com as plantas do tratamento 0,5 mmol L⁻¹ Ca, respectivamente. Nas duas primeiras fases avaliadas, 57 e 84 DAS, não houve significância entre os tratamentos para os teores foliares de S, sendo as médias iguais a 3,02 e 6,72 g kg⁻¹ S, respectivamente. Nesse mesmo sentido, o acúmulo médio de S nas folhas aos 57 DAS foi de 25,19 mg/planta. Aos 84 DAS, com ajuste logarítmico o acúmulo máximo de S, com o tratamento de 10,0 mmol L⁻¹ Ca, foi de 545,48 mg/planta. Aos 97 DAS, com ajuste quadrático, o ponto de máxima foi de 868,67 mg/planta S com a dose de 6,3 mmol L⁻¹ Ca. Já ao final do ciclo fenológico o acúmulo de S apresentou ajuste linear-platô, com aumento até o ponto de máxima em que se registrou um acúmulo de 1077,12 mg/planta S com a dose de 5,5 mmol L⁻¹ Ca, a partir da qual não se verificou diferença estatística no acúmulo de S em função das doses de Ca.

Os teores de N-total na folha índice apresentaram nítida diminuição ao longo do ciclo fenológico do tomateiro, tendo apresentado aos 57 DAS um ajuste linear decrescente com o aumento das doses de Ca, com o mínimo de 42,6 g kg⁻¹ com o tratamento 10,0 mmol L⁻¹ Ca, que foi 8 % menor que os 46,5 g kg⁻¹ registrado com o tratamento 0,5 mmol L⁻¹ Ca. Para as seguintes fases, 84, 97 e 115 DAS, não houve efeito significativo entre os tratamentos, sendo os teores médios de N-total em folha índice de tomateiros iguais a 40,7; 30,5 e 22,7 g kg⁻¹, respectivamente.

Os teores de P aos 57 DAS, assim como foi para N-total, apresentaram valores decrescentes com o aumento das doses de Ca, sendo que para o P aos 84 DAS, também houve ajuste linear decrescente. Em ambos os casos a diferença entre os tratamentos extremos foi de 23 %, com os maiores teores de P obtidos com o tratamento 0,5 mmol L⁻¹ Ca (7,0 e 7,9 g kg⁻¹) e os mínimos com 10,0 mmol L⁻¹ Ca (5,4 e 6,1 g kg⁻¹), respectivamente aos 57 e 84 DAS. Para as fases 97 e 115 DAS, as médias registradas foram de 7,1 e 5,8 g kg⁻¹ P, respectivamente.

Aos 57 e 97 DAS os teores médios de K em folha índice foram de 59,1 e 48,9 g kg⁻¹, enquanto que aos 84 DAS, houve ajuste linear decrescente, como para o P, com uma diferença de 12% entre os tratamentos 0,5 mmol L⁻¹ Ca e 10 mmol L⁻¹ Ca, que foram de 63,7 e 56,4 g kg⁻¹ K. Na fase final do ciclo fenológico do tomateiro, houve ajuste quadrático para estes teores, com máxima de 52,7 g kg⁻¹ K com a dose de 6,2 mmol L⁻¹ Ca, 30 % maior que os 36,8 g kg⁻¹ K obtido com o tratamento 0,5 mmol L⁻¹ Ca. Com a dose máxima de Ca, houve uma redução de 14 % (45,4 g kg⁻¹ K) com relação ao máximo teor de K observado.

De acordo com o teste de Tukey, o teor médio de K na folha índice aos 57 DAS e o modelo ajustado aos 84 DAS, são estatisticamente iguais.

Observa-se que os teores de P, K e N-total da fase 115 DAS, apresentaram efeito de diluição com o maior crescimento das plantas, fato confirmado pelos seus respectivos acúmulos, que apresentaram ajustes quadráticos, assim como na fase anterior, 97 DAS. As máximas para a fase 97 DAS, foram de 625,4 mg/planta P; 4509,9 mg/planta K e 2757,3 mg/planta N-total, com as doses de 5,6; 5,7 e 5,5 mmol L⁻¹ Ca, respectivamente. Já para a fase 115 DAS, as máximas para o acúmulo desses nutrientes foram de 506,2 mg/planta P; 4351,0 mg/planta K e 2798,2 mg/planta N-total, com as doses de 5,2; 5,9 e 6,1 mmol L⁻¹ Ca, respectivamente. Esses valores máximos obtidos na última fase do ciclo fenológico, representam um incremento de 35, 37 e 47 % em relação ao acumulado em P, K e N-total nas folhas das plantas sob o tratamento 0,5 mmol L⁻¹ Ca, enquanto que o aumento nas doses de Ca, acima dos respectivos pontos de máxima, representaram uma redução de 38; 21 e 24 % no acúmulo de P, K e N-total com o tratamento 10,0 mmol L⁻¹ Ca. As médias para as fases 57 e 84 DAS foram, respectivamente, de 37,1 e 309,4 mg/planta P; 333,2 e 2621,9 mg/planta K e de 302,2 e 1936,9 mg/planta N-total.

Os teores e acúmulos foliares dos micronutrientes também foram influenciados pelos tratamentos com doses de Ca em solução nutritiva no cultivo do tomateiro. Na primeira fase, 57 DAS, observou-se que houve ajuste quadrático para os teores de B, Zn e Mn na folha índice, com um ponto de máxima de 120,7; 47,9 e 321,4 mg kg⁻¹, conferidos pelas doses de 5,4; 3,6 e 2,5 mmol L⁻¹ Ca, respectivamente. Esses teores máximos alcançados representam um aumento de 23, 6 e 4 % nos teores de B, Zn e Mn em relação ao observado com o tratamento com maior restrição na disponibilidade de Ca na solução nutritiva (0,5 mmol L⁻¹ Ca), enquanto que o aumento nas doses de Ca acima dos respectivos pontos de máxima, até os 10,0 mmol L⁻¹ Ca, representaram uma redução de 21, 28 e 51 % nos teores de B, Zn e Mn. Nessa mesma fase, 57 DAS, os teores de Cu na folha índice apresentou ajuste linear decrescente com o aumento das doses de Ca, registrando um 13,9 mg kg⁻¹ Cu com a dose máxima de Ca (10,0 mmol L⁻¹ Ca), uma diferença de 27% em relação aos 19,1 mg kg⁻¹ Cu

obtidos com o tratamento de 0,5 mmol L⁻¹ Ca. Somente houve aumento (linear) nos teores de Fe em folha índice com o aumento das doses de Ca, os 57 DAS, com 133,7 mg kg⁻¹ Fe com a dose de 10,0 mmol L⁻¹ Ca, significando um aumento de 30 % sobre o obtido com o tratamento 0,5 mmol L⁻¹ Ca (93,5 mg kg⁻¹ Fe).

Nas fases reprodutivas, aos 84, 97 e 115 DAS observou-se que em alguns casos não houve efeito significativo dos tratamentos sobre os teores dos micronutrientes na folha índice do tomateiro. As médias nos teores de B aos 84 e 97 DAS foram de 84,0 e 76,6 mg kg⁻¹, enquanto que os teores médios de Zn foram de 31,3; 35,8 e 30,7 mg kg⁻¹ aos 84, 97 e 115 DAS, respectivamente. Os teores médios de Cu aos 84 e 115 DAS foram de 14,9 e 13,6 mg kg⁻¹ e o teor médio de Fe, aos 115 DAS, foi de 136,2 mg kg⁻¹.

Aos 115 DAS, houve ajuste logarítmico para os teores de B em folha índice com o aumento das doses de Ca, com o máximo de 88,1 mg kg⁻¹ B com o tratamento 10,0 mmol L⁻¹ Ca, 54% maior que os 40,5 mg kg⁻¹ B obtidos com o tratamento 0,5 mmol L⁻¹ Ca. O teor máximo de Cu aos 84 DAS, 21,0 mg kg⁻¹, também foi obtido com o tratamento 10,0 mmol L⁻¹ Ca, tendo se ajustado a um modelo logarítmico, com uma diferença de 51% com os teores de Cu nas plantas deficientes em Ca, que foi de 10,31 mg kg⁻¹ Cu.

Assim como o observado para a fase de 57 DAS, os teores de Mn na folha índice também apresentaram ajustes quadráticos para as demais fases, tendo apresentado pontos de máxima de 176,9; 330,9 e 317,4 mg kg⁻¹ Mn com as doses de 5,0; 6,0 e 6,4 mmol L⁻¹ Ca para as fases avaliadas aos 84, 97 e 115 DAS, respectivamente. Observou-se que a diferença dos pontos máximos obtidos nos ajustes com as plantas deficientes em Ca, aumentaram com a evolução do ciclo fenológico do tomateiro. Essas diferenças foram de 4; 25; 59 e 63 % aos 57, 84, 97 e 115 DAS, respectivamente, enquanto que em comparação com a dose máxima de Ca estudada, o tratamento 10,0 mmol L⁻¹ Ca, essas diferenças foram de 51, 30, 32 e 23 %. De acordo com o teste de Tukey, os modelos ajustados aos 97 e 115 DAS para os teores de Mn, são estatisticamente iguais.

Por fim, os teores de Fe em folha índice aos 84 e 97 DAS, apresentaram ajustes quadrático e linear crescente com as doses de Ca, respetivamente. O ajuste quadrático aos 84 DAS, apresentou uma redução de 31% nos teores de Fe até o mínimo de 72,7 mg kg⁻¹, com a dose de 4,9 mmol L⁻¹ Ca, com posterior aumento de 37 % até a dose máxima de Ca. Aos 97 DAS, o teor máximo de Fe na folha índice foi de 166,8 mg kg⁻¹, com a dose de 10,0 mmol L⁻¹ Ca, que foi 26 % maior que o teor registrado com a dose de 0,5 mmol L⁻¹ Ca, 123,4 mg kg⁻¹ Fe.

Quanto ao acúmulo foliar de micronutrientes em tomateiros tratados com doses crescentes de Ca em solução nutritiva, observou-se que não houve efeito significativo dos

tratamentos para os acúmulos de B aos 57, 84 e 97 DAS; de Zn em todas as fases; de Cu e Fe aos 57 e 84 DAS e de Mn aos 84 DAS.

O acúmulo de B nas fases 57, 84 e 97 DAS foi, em média, de 394,43; 3173,58 e 4283,32 $\mu\text{g/planta}$, respectivamente. Ao passo no último estágio fenológico, 115 DAS, houve ajuste ao modelo linear-platô, com máxima de 7206,5 $\mu\text{g/planta}$, com a dose de 5,1 mmol L^{-1} Ca, que foi 48 % maior que o acumulado pelas plantas deficientes em Ca (tratamento 0,5 mmol L^{-1} Ca: 3778,68 $\mu\text{g/planta}$), e a partir do qual no se verificou diferença estatística no acúmulo foliar de B, de acordo com as doses de Ca.

As médias dos acúmulos de Zn foram de 273,8; 1830,0; 3600,0 e 3134,6 $\mu\text{g/planta Zn}$ aos 57, 84, 97 e 115 DAS, respectivamente. Enquanto que os acúmulos foliares médios de Cu aos 57 e 84 DAS foram de 107,2 e 721,9 $\mu\text{g/planta Cu}$. Nas fases subsequentes, 97 e 115 DAS, houve ajuste quadrático para o acúmulo foliar de Cu, com máximas de 1400,86 e 1232,70 $\mu\text{g/planta Cu}$, com as doses de 5,4 e 6,4 mmol L^{-1} Ca, respectivamente. Essas máximas representaram um aumento de 37 e 64 % nos acúmulos de Cu foliar, aos 97 e 115 DAS, comparados ao acumulado nas plantas deficientes em Ca e comparando a dose máxima de Ca estudada (10,0 mmol L^{-1} Ca) com os pontos de máxima, estes apresentaram uma redução de 32 e 24% no acúmulo foliar de Cu nessas duas últimas fenofases.

O acúmulo foliar de Mn aos 57 DAS apresentou ajuste linear decrescente com as doses de Ca, com mínima de 1810,3 $\mu\text{g/planta Mn}$ com o tratamento 10,0 mmol L^{-1} Ca, 38% menor que os 2920,4 $\mu\text{g/planta Mn}$ obtidos com o tratamento 0,5 mmol L^{-1} Ca. Aos 84 DAS, o acumulado médio foi de 12402,5 $\mu\text{g/planta Mn}$, e nas fases subsequentes, 97 e 115 DAS, com os ajustes quadráticos se identificaram as máximas de 27881,6 e 32729,1 $\mu\text{g/planta Mn}$ com as doses de 5,2 e 6,0 mmol L^{-1} Ca, respectivamente. Esses acúmulos máximos obtidos aos 97 e 115 DAS, representam um aumento de 43 e 57 % em relação ao acumulado nas plantas sob o tratamento 0,5 mmol L^{-1} Ca e com o aumento das doses de Ca acima desses pontos, houve uma redução de 44 e 30% no acúmulo foliar de Mn pelas plantas sob o tratamento de 10,0 mmol L^{-1} Ca.

Os acúmulos foliares médios de Fe, aos 57 e 84 DAS, foram de 807,2 e 6511,1 $\mu\text{g/planta Fe}$. Aos 97 DAS, o ajuste quadrático demonstrou que o acúmulo foliar máximo de Fe para essa fase foi de 11858,1 $\mu\text{g/planta Fe}$, com a dose de 5,9 mmol L^{-1} Ca, uma diferença de 26 e 14 % com os acúmulos obtidos com os tratamentos de 0,5 e 10 mmol L^{-1} Ca, respectivamente. Já aos 115 DAS, houve um ajuste linear crescente com as doses de Ca, registrando um acúmulo de 20049,2 $\mu\text{g/planta Fe}$ com o tratamento de 10,0 mmol L^{-1} Ca, tendo sido 52 % maior que os 9651,0 $\mu\text{g/planta Fe}$ acumulado pelas plantas do tratamento 0,5 mmol L^{-1} Ca.

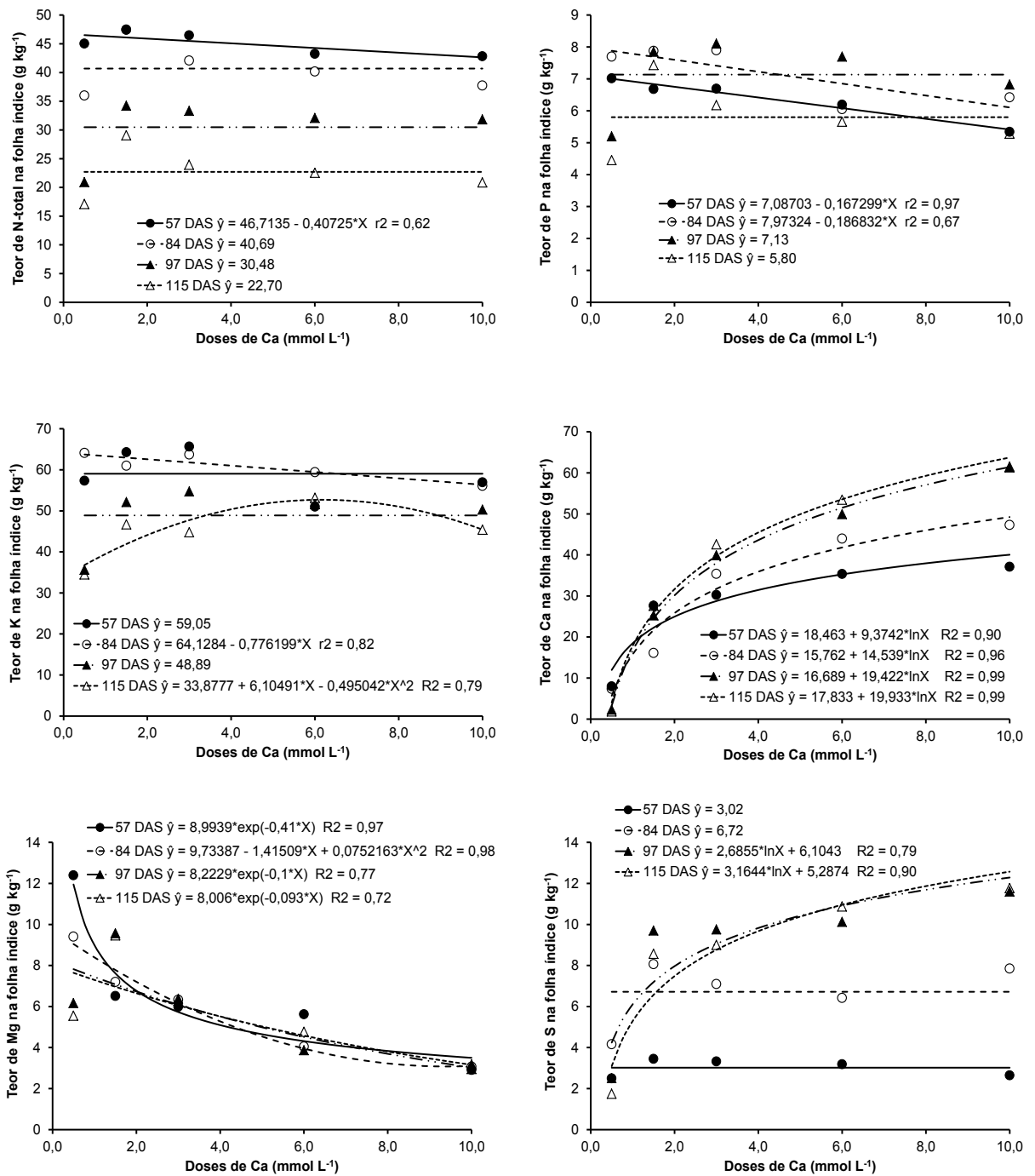


Figura 7. Teores de N-total, P, K, Ca, Mg e S em folha índice de tomateiro cereja cv. Iracema, em distintas fases fenológicas, em função de doses de cálcio.

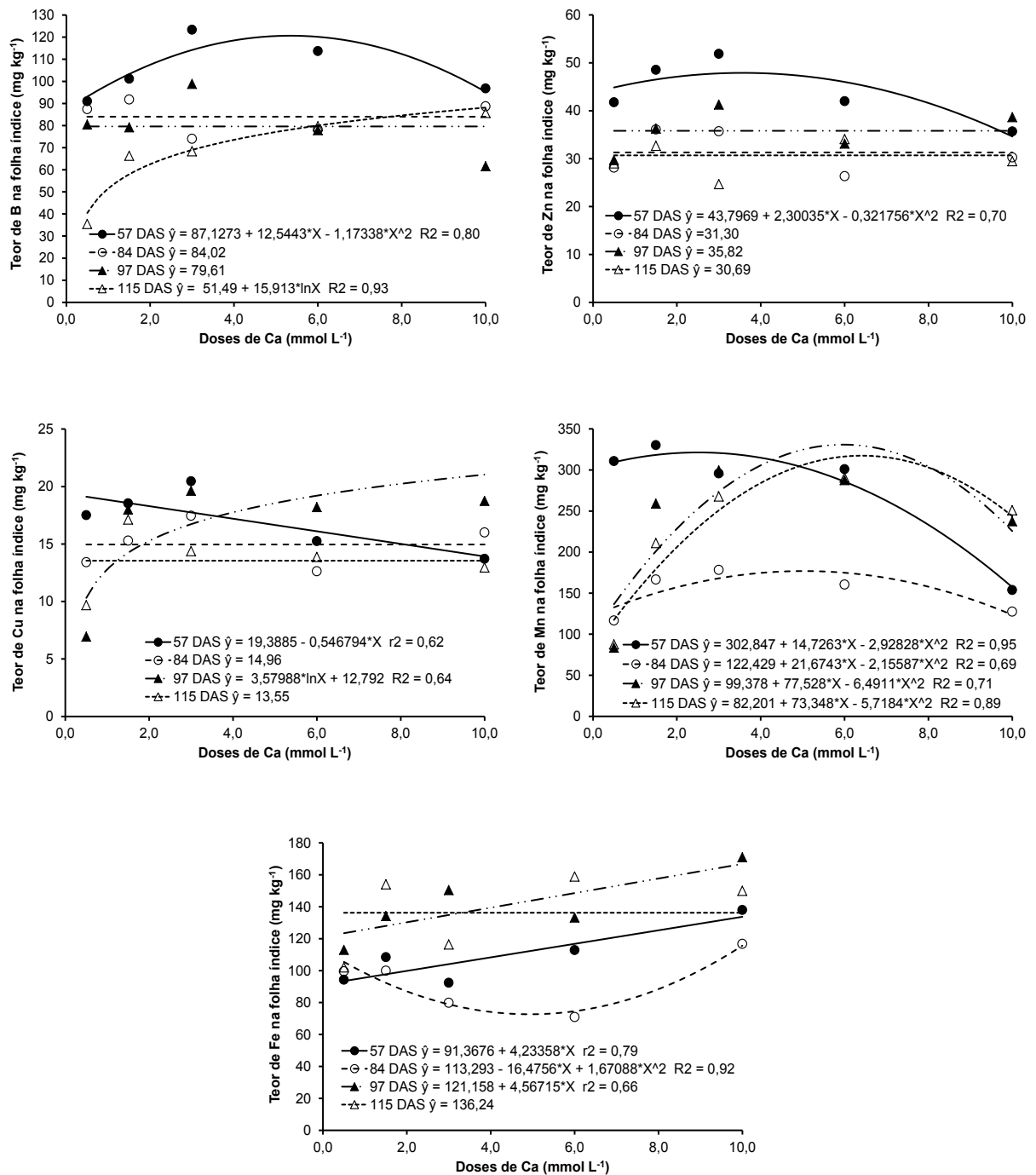


Figura 8. Teores de B, Zn, Cu, Mn e Fe em folha índice tomateiro cereja cv. Iracema, em distintas fases fenológicas, em função de doses de cálcio.

De acordo com os ajustes obtidos para os acúmulos de nutrientes nas folhas de tomateiros cultivados com doses crescentes de Ca, observou-se um aumento no acúmulo de nutrientes com o avançar do ciclo fenológico do tomateiro, excetuando-se o P, Cu e Zn, que apresentaram crescentes acúmulos com máxima na fase de frutificação, 97 DAS, com posterior redução à fase de colheita dos frutos, 115 DAS.

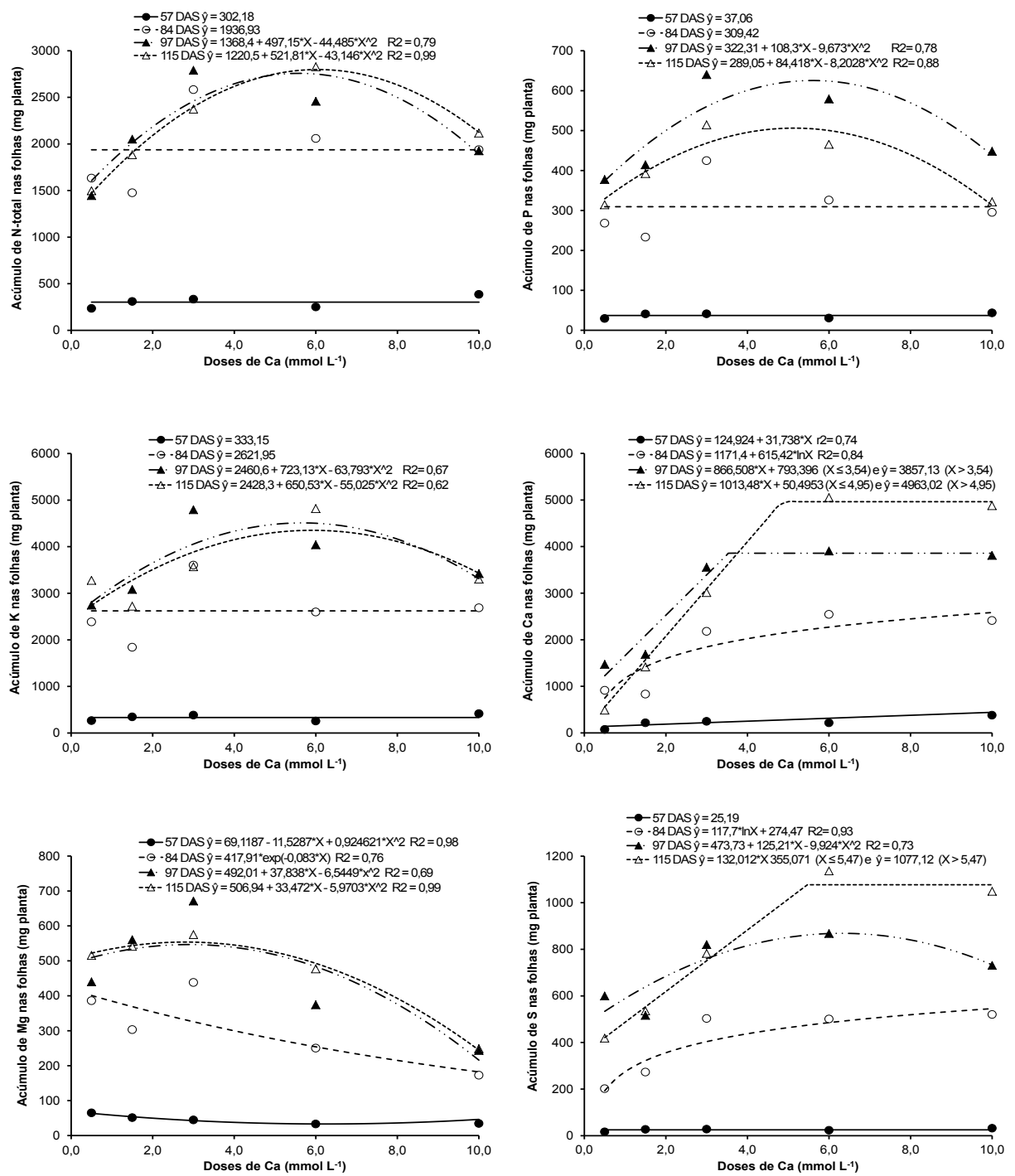


Figura 9. Acúmulos de N-total, P, K, Ca, Mg e S em folha índice tomateiro cereja cv. Iracema, em distintas fases fenológicas, em função de doses de cálcio.

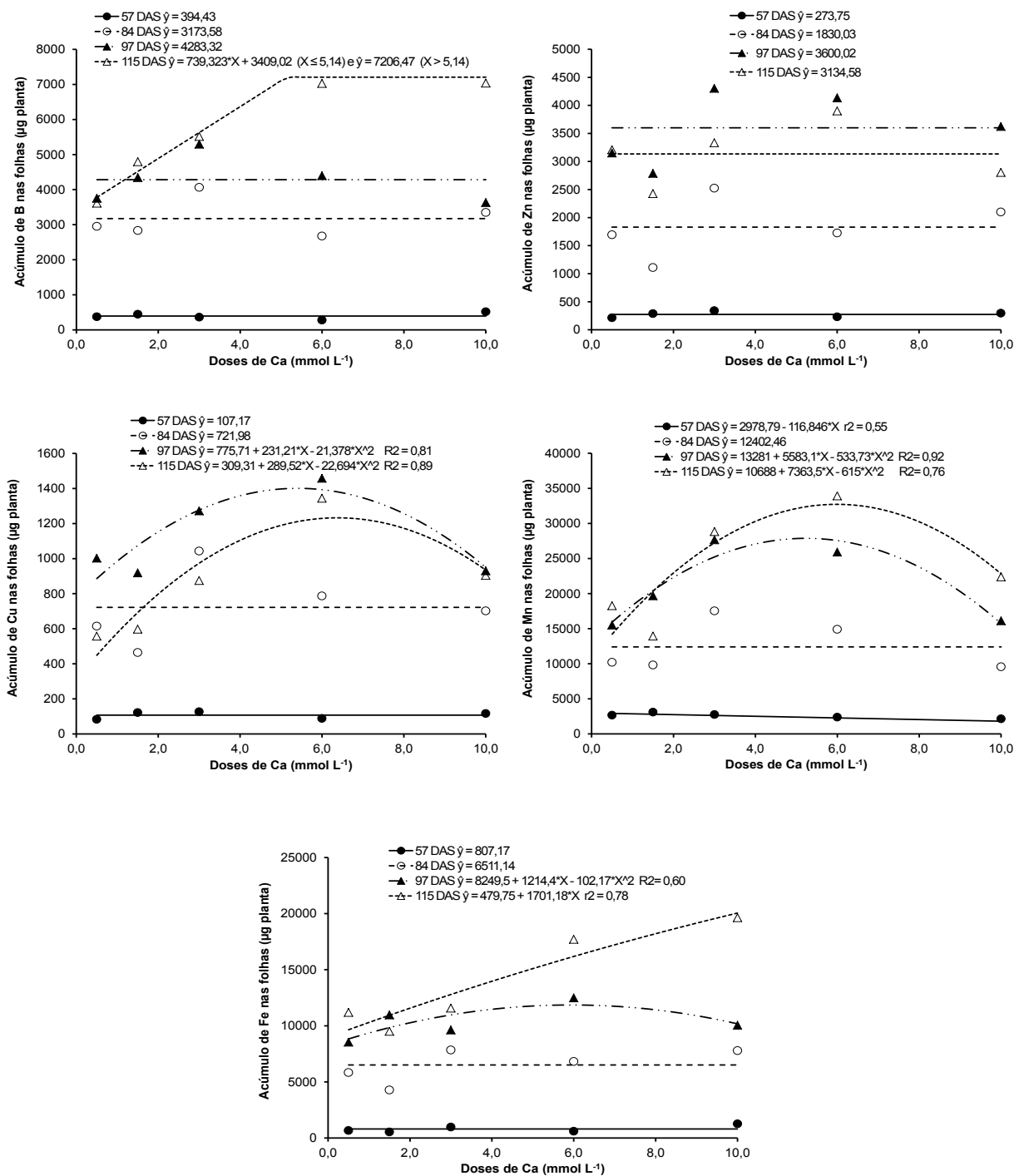


Figura 10. Acúmulos de B, Zn, Cu, Mn e Fe em folha índice tomateiro cereja cv. Iracema, em distintas fases fenológicas, em função de doses de cálcio.

3.4.2 Teores de nutrientes nos frutos

Na tabela 3 apresentam-se os teores nutricionais das partes, distal (D) e proximal (P), dos frutos, dos cachos 1 e 3 e na Figura 11 as razões das concentrações de nutrientes entre essas partes. Devido ao fato dos tomateiros cultivados com o tratamento de $0,5 \text{ mmol L}^{-1} \text{ Ca}$ não produzirem quantidade suficiente de material para as análises das duas partes dos frutos, procedeu-se a análise da totalidade dos frutos de cada planta, apresentando-se o valor médio,

o que não permitiu o cálculo das razões das concentrações de nutrientes entre as partes dos frutos (Tabela 3).

Para os demais tratamentos, de acordo com a análise de variância para os teores de nutrientes dos frutos dos cachos 1 e 3, observou-se que a razão D/P dos frutos apresentou significância para doses de Ca e posição do cacho somente para o elemento Ca, enquanto que para os nutrientes P, K, B e Mn não houve efeito significativo para nenhuma das fontes de variação.

A razão D/P dos teores de N-total, que foi significativo para a fonte de variação doses de Ca, apresentou ajuste quadrático para frutos de ambos os cachos 1 e 3 com redução até pontos de mínima de 89,6 e 88,7 % com as doses de 6,8 e 6,5 mmol L⁻¹ Ca, respectivamente (Figura 11).

Tabela 3. Média dos teores de nutrientes das porções proximal (P) e distal (D) dos frutos de tomateiros cultivados com diferentes doses de Ca em solução nutritiva

B μmol L ⁻¹	Porção do fruto	g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹				
		N-total	P	K	Ca	Mg	S	B	Zn	Cu	Mn	Fe
		Total de Frutos										
0,5		19,35	6,05	36,84	4,90	2,06	0,47	4,80	36,33	7,59	17,88	153,03
		Frutos Cacho 1										
1,5	P	18,61	5,87	38,00	9,33	1,63	0,51	3,44	26,19	6,33	14,74	108,84
	D	23,21	6,31	36,97	6,87	1,64	0,54	2,72	31,71	9,97	16,75	107,59
3,0	P	22,77	5,16	35,81	13,61	1,43	0,31	7,08	22,04	6,04	19,42	104,86
	D	21,96	5,39	34,63	8,42	1,58	0,43	7,08	25,92	7,63	19,19	118,13
6,0	P	21,03	4,99	33,16	15,56	1,14	0,31	9,83	24,13	5,75	15,28	115,98
	D	20,12	5,02	32,30	8,14	1,25	0,29	7,87	27,84	6,66	15,25	109,12
10,0	P	23,68	5,01	35,02	12,17	1,13	0,28	6,20	23,75	7,56	16,96	86,96
	D	23,00	4,94	33,44	16,19	1,06	0,29	6,63	23,63	7,00	17,32	89,72
		Frutos Cacho 3										
1,5	P	18,56	4,80	30,99	8,35	1,51	0,28	8,29	24,59	4,31	13,18	102,22
	D	21,15	4,88	29,96	6,91	1,43	0,24	7,07	30,25	5,69	13,75	98,94
3,0	P	25,08	5,81	34,50	11,92	1,98	0,51	12,75	25,98	6,38	24,10	121,17
	D	21,99	5,76	33,19	8,68	1,89	0,49	11,64	27,38	8,00	22,73	123,42
6,0	P	23,68	4,97	30,60	12,15	1,35	0,30	9,35	31,58	6,16	16,00	109,88
	D	22,52	4,71	29,57	18,62	1,10	0,26	7,85	27,53	4,75	15,84	94,44
10,0	P	24,09	4,92	31,10	10,58	1,21	0,20	8,61	29,19	6,75	17,50	92,88
	D	23,32	4,61	29,82	21,74	1,00	0,20	8,34	25,06	4,69	16,96	74,59

A razão D/P dos teores de Ca dos frutos do cacho 1 apresentou ajuste quadrático, com redução até a mínima de 49,4 %, com a dose de 4,6 mmol L⁻¹ Ca, o que representou uma redução de 36,5 % com o tratamento 1,5 mmol L⁻¹ Ca. Com o aumento das doses de Ca, acima do ponto de mínima, houve um aumento de 62,8 % nessa relação com a máxima dose de Ca aplicada. Já nos frutos do cacho 3 a razão D/P apresentou ajuste linear crescente com o

aumento das doses de Ca, atingindo o máximo de 208,9 % com o tratamento de 10,0 mmol L⁻¹ Ca, uma diferença de 66,5 % em relação ao tratamento 1,5 mmol L⁻¹ Ca. Isso demonstra que quanto maior a disponibilidade de Ca via radicular, maior a alocação de Ca na porção distal (D) dos frutos de tomateiro, ponto crucial para ocorrência da desordem fisiológica BER, especialmente nos frutos mais distantes da raiz.

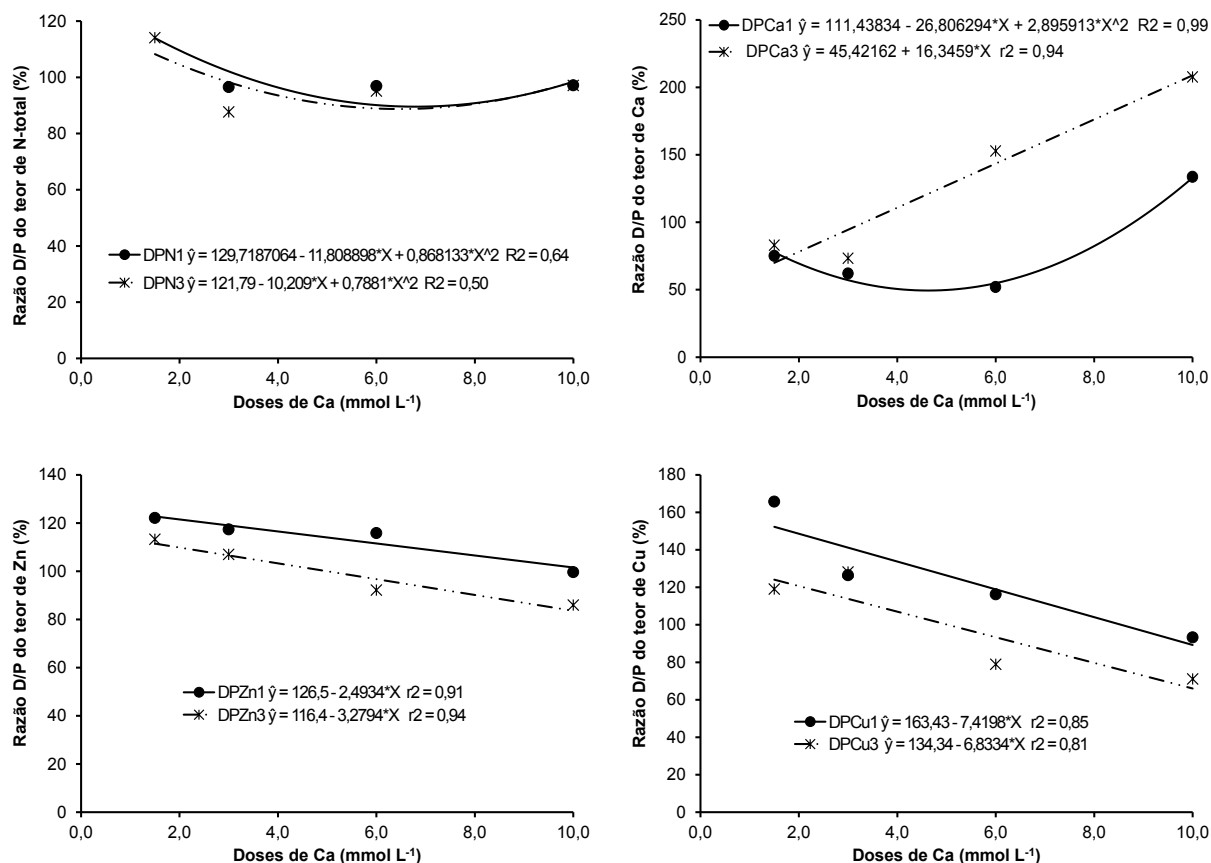


Figura 11. Razão entre os teores dos nutrientes N-total, Ca, Zn e Cu das porções proximal (P) e distal (D), dos frutos de tomateiros cerejea cv. Iracema cultivados com doses de Ca.

Para o nutriente Mg, somente houve efeito significativo para a fonte de variação “cacho”, apresentando médias da razão D/P iguais a 104,4 e 88,9 % para os cachos 1 e 3, respectivamente.

Enquanto que para a razão D/P dos teores de S, apesar de haver demonstrado significância para as doses de Ca e cachos, não houve ajuste significativo a nenhum modelo de regressão. Para as doses estudadas, observou-se que os tratamentos 3,0 e 10,0 mmol L⁻¹ Ca apresentaram as maiores médias da razão D/P, 118,3 e 106,4 %, enquanto que os tratamentos 1,5 e 6,0 mmol L⁻¹ Ca foram menores que os anteriores, mas iguais entre si de acordo com o teste de Tukey, 96,0 e 93,4 %.

Quanto aos micronutrientes, houve significância para ambas as fontes de variação para Zn e Cu, enquanto que para o Fe, somente houve significância para “cachos”. Para os dois

primeiros, houve ajuste linear decrescente com o aumento das doses de Ca em solução nutritiva. Nos frutos o cacho 1, as razões D/P para os teores de Zn e Cu foram maiores que no cacho 3. Com o tratamento de 10 mmol L⁻¹ Ca as razões D/P para os teores de Zn e Cu do cacho 1 foram de 101,6 e 89,2 %, que diferiram negativamente 17,3 e 41,4 %, respectivamente, com o observado nos frutos de tomateiros sob o tratamento de 1,5 mmol L⁻¹ Ca. Enquanto que nos frutos do cacho 3 as diferenças entre as razões D/P para os teores de Zn e Cu, entre os tratamentos 1,5 e 10,0 mmol L⁻¹ Ca, foram de 25,0 e 46,8 %, com mínimos de 83,6 % (Zn) e 66,0 % (Cu). Ao passo que essas razões médias para o Fe foram de 102,3 e 90,3 % para os frutos do cacho 1 e 3, respectivamente.

Dessa forma pode-se observar que os tratamentos com aumento nas doses de Ca em solução nutritiva no cultivo do tomateiro, promoveram aumento no aporte de Ca na parte distal de frutos, principalmente do cacho 3, enquanto houve nítida redução dessa relação para Zn, Cu e N-total e que as razões D/P dos teores de Zn, Cu, Fe e Mg, foram significativamente maiores nos frutos do cacho 1.

Para razão D/P dos teores dos nutrientes B, Mn, P e K não houve significância dos fatores de variação, tendo sido as médias, respectivamente, iguais a 91,5; 103,4; 100,4 e 96,7%.

4. DISCUSSÃO

4.1 Condições climáticas e soma térmica acumulada

A temperatura média diurna (19,8°C) dentro da casa de vegetação, durante a realização do experimento, ficou dentro da faixa considerada ideal para o crescimento e desenvolvimento do tomateiro, que é de 20 a 25°C (Filgueira, 2008).

A temperatura mais amena e com radiação solar menos intensa, promoveu um ciclo fenológico mais longo para o tomateiro cv. Iracema (115 dias) que o obtido com esta mesma cultivar no período de primavera/verão (experimento Capítulo II), porém com menor soma térmica [1122,51 (Arnold,1960) e 1103,23 GD (Ometto, 1981)]. No experimento desenvolvido durante a primavera/verão se registraram temperaturas próximas ao limite basal superior, 34°C e radiação solar média de 19,23 MJ/m² dia⁻¹, que promoveu um ciclo de 84 dias, com acúmulo de 1645,05 e 1631,11 GD – de acordo com as metodologias de Arnold (1960) e Ometto (1981), respectivamente. Dessa forma, o presente experimento apresentou um ciclo 31 dias mais longo e com diferença de até 528 GD menos que o observado na primavera/verão. Por outro lado, Palaretti et al. (2012), cultivando tomateiro cv. Sheila a campo sob mulching e sem limitação quanto ao número de cachos, durante a estação de inverno/primavera com media de 21,2°C obtiveram plantas com um ciclo total de 148 dias e

acúmulo de 1603,25 (Arnold, 1960) e 1603,16 (Ometto, 1981) GD, ou seja, 33 dias e acúmulo de até 500 GD a mais que o presente experimento. Isso indica que a cultura (genótipo) apresenta uma interação dinâmica com as condições ambientais, principalmente a temperatura do ar, à qual apresenta resposta variável (Puiatti et al., 2010).

4.2 Sintomas macroscópicos e avaliação morfoanatômica do tomateiro em resposta às doses de Ca

Em termos anatômicos, a desintegração das membranas e a perda da compartimentação celular ocorrem em tecidos deficientes em Ca, com o colapso das células epidérmicas e subepidérmicas e conseqüentemente o rompimento dos tecidos, prejudicando a formação dos frutos (Ho & White, 2005; Incaper, 2010).

No presente trabalho não se verificou significância estatística para o número de frutos com BER nas plantas cultivadas com doses de Ca em SN, mas se observou que a deficiência de Ca causou desordens a nível anatômico nos tecidos foliares, caulinares e radiculares do tomateiro cv. Iracema e conseqüentemente menor crescimento e produção, demonstrando que os tomateiros sob a deficiência de Ca nem sempre expressam os sintomas relacionados à deficiência, por depender de um complexo de fatores relacionados ao genótipo e ao ambiente.

Miqueloto et al. (2014), verificaram que macieiras, em condições de deficiência de Ca, apresentaram durante a fase de desenvolvimento dos frutos, uma perda precoce da funcionalidade do xilema, o que causou uma redução nos teores de Ca, motivos pelos quais a cultivar demonstra-se susceptível a sofrer com as deficiências de Ca.

Natale, Prado e Môro (2005), demonstraram que o principal efeito da deficiência de Ca em goiaba foi sobre a desorganização da lamela média, com desestruturação da parede celular, devido à alteração na orientação das microfibrilas.

Maia (2012) observou que plantas do minitomate cv. Sindy deficientes em Ca apresentaram leve hipertrofia do floema na nervura central foliar, redução de 42 % do colênquima, pequena redução do parênquima paliçádico e aumento de 25 % do parênquima lacunoso na região intervenal da folha e no caule secundário observou redução de 74 % na espessura da parede celular das esclereides do floema.

Com avaliação anatômica realizada no final do ciclo fenológico do tomateiro, observou-se que os principais efeitos da deficiência de Ca, tratamento 0,5 mmol L⁻¹, foram causados nas folhas, caule primário e nas raízes, bem mais agravado que o observado por Maia (2012), na fase vegetativa. Dessa forma, verifica-se que a deficiência de Ca causa primeiramente danos a nível anatômico, que se tornam visíveis e mais graves com a permanência dessa deficiência e

com o avanço do ciclo fenológico do tomateiro (Silveira et al., 2002; White & Broadley, 2003; Fontes, 2011).

4.3 Avaliações alométricas e de produção de frutos

A expressão dos sintomas de deficiência de Ca pelo tomateiro depende do nível de (in)disponibilidade de Ca ao qual cada genótipo está submetido, das condições ambientais e do estágio fenológico considerado. No presente trabalho, observou-se que a limitação no crescimento se acentuou com a sucessão das fases fenológicas. Mesmo disponibilizando somente $0,5 \text{ mmol L}^{-1}$ Ca para o tomate cv. Iracema, não se observou diferenças significativas com os demais tratamentos no estágio vegetativo da cultura, 57 DAS. Isso ocorre porque nas fases iniciais do crescimento a demanda nutricional é pequena e pode ser atendida por concentrações baixas de Ca, se o volume da solução não for muito reduzido. Comportamento similar foi relatado por Maia (2012) para mini-tomate cv. Sindy cultivado com $1,0 \text{ mmol L}^{-1}$ Ca em sistema hidropônico, aos 60 dias após aplicação do tratamento. Apesar de esta autora ter observado que as plantas deficientes em Ca apresentaram volume radicular 37,5 % ($33,3 \text{ cm}^3$) menor que as plantas do tratamento controle ($2,0 \text{ mmol L}^{-1}$ Ca: $53,3 \text{ cm}^3$) e de coloração marrom, bem como redução de mais de 20 % na produção de massa seca total (17,2 g), de 50 % no teor de Ca foliar ($10,6 \text{ g kg}^{-1}$ Ca) e 63 % no acúmulo de Ca foliar (85,3 mg/planta Ca).

Com o aumento da demanda ao longo do ciclo do tomateiro, as concentrações de 0,5 e $1,5 \text{ mmol L}^{-1}$ Ca tornaram-se insuficientes e as plantas apresentaram os principais sintomas dessa deficiência, como a deformação e necrose das margens das folhas jovens, morte dos tecidos meristemáticos, podridão-apical dos frutos e limitações ao crescimento, desenvolvimento e produção pelas plantas, igualmente relatado por Alvarenga (2004) e Souza et al (2007).

Em geral, os sintomas de deficiência de Ca apresentam as mesmas expressões nos tomateiros, mas isso depende da interação de vários fatores como a fisiologia do genótipo (susceptibilidade ou tolerância à deficiência de Ca), a variabilidade das condições ambientais (disponibilidade de água, temperatura, umidade relativa do ar, luminosidade, etc.), do manejo da cultura, do nível de disponibilidade de Ca e equilíbrio osmótico da solução nutritiva e do estágio fenológico de ocorrência da deficiência (Ho et al, 1993; Terraza et al., 2008).

Quanto maior for e mais cedo ocorrer a restrição de Ca às plantas, mais rapidamente e mais graves são os efeitos e a apresentação destes sintomas. Carvalho et al., 2016, observaram que a omissão de Ca por 50 dias no cultivo do tomateiro cv. Moneymaker, comparado com as plantas cultivadas sob $5,0 \text{ mmol L}^{-1}$ Ca em solução nutritiva, causou redução de 82% na altura

(22 cm), 93% da área foliar (339,5 cm²), 86% da massa seca total das plantas (4 g) e redução de 34% do índice de cor verde das folhas (15,2).

Terraza et al., (2008) cultivando híbridos de tomateiros tipo bola e saladete, com doses de Ca, de 2,3 a 5,5 mmol L⁻¹ Ca, observaram que não houve diferença estatística para a produção dos frutos destes híbridos aos 160 DAS, apesar de haver uma tendência ao aumento linear do número de frutos produzidos pelo híbrido bola com o aumento nas doses de Ca, enquanto que essa tendência foi inversa para o híbrido saladete.

4.4 Avaliação do estado nutricional dos tomateiros e alocação de nutrientes nos frutos

A maior concentração de Ca na SN facilita a absorção pela planta por fluxo de massa, de acordo com o coeficiente de transpiração da cultura, o que explica o aumento expressivo dos teores de Ca nos tecidos foliares do tomateiro e a competição com os frutos em enchimento (Terraza et al., 2008).

Nos frutos, o movimento do Ca desde o pedúnculo à porção distal dos frutos depende de fatores como o tamanho dos frutos, da taxa de divisão e crescimento celular, bem como da insuficiência do sistema vascular para o rápido transporte do Ca à parte distal dos frutos, que define a concentração desse macronutriente e a susceptibilidade dos frutos às desordens fisiológicas. De modo que os tecidos da porção distal dos frutos são mais suscetíveis às desordens por deficiência de Ca, podendo, em casos mais graves, se espalhar por todo o fruto (Ho & White, 2005; Gilliam et al., 2011; Freitas & Mitcham, 2012).

Análises de frutos com BER demonstraram malformação acentuada nos vasos xilemáticos, com a formação de um gradiente decrescente dos teores de Ca desde os tecidos da porção proximal dos frutos à porção distal (Adams & Ho, 1992; Ho et al, 1993)

No presente experimento verificou-se que os maiores teores e acúmulos de Ca e demais nutrientes foram registrados nos tecidos foliares do tomateiro e que o aumento da disponibilidade de Ca na SN associada às temperaturas amenas (Fernandes, Martinez & Fontes, 2002), promoveram aumento nos teores desse macronutriente na parte distal dos frutos, em relação à porção proximal, principalmente naqueles do cacho 3, demonstrando o efeito do transporte de Ca via xilemática aos tecidos com maior atividade celular e transpiração e a diminuição da probabilidade de ocorrência de BER. Por outro lado, com o aumento na concentração de Ca na SN, houve redução dos teores de Zn e Cu e N-total na porção distal dos frutos, principalmente no cacho 3, e para os demais nutrientes não se observaram efeitos destacáveis quanto à diferenças nas porções dos frutos, mas os teores de Zn, Cu, Fe e Mg foram significativamente maiores nos frutos do cacho 1.

De acordo com Terraza et al. (2008), o aumento na concentração de Ca na SN de cultivo de dois híbridos de tomate, promoveu incremento somente no teor de Ca nas folhas, na ordem de 21 a 27 mg kg⁻¹ e diminuição de 88% no número de frutos com BER. Os frutos com BER apresentaram menores teores de Ca e P e maiores de Mg, comparados com os frutos sem BER. Já Fernandes, Martinez & Fontes (2002), cultivando tomateiro tipo longa vida com várias soluções nutritivas e conduzido com um cacho, observaram que a porção proximal dos frutos apresentou maiores teores de Ca e K e, ao contrário, as menores de Mg.

Os teores dos nutrientes B, Zn, Cu, Fe P e K na folha índice de tomateiros ao final do ciclo fenológico (115 DAS), sob os distintos tratamentos, estão dentro da faixa considerada adequada para a cultura, enquanto que os teores de Mn, Ca e S estão acima do limite superior dessa faixa, com doses de Ca acima de 3,0 mmol L⁻¹ em SN, acima de 6,0 mmol L⁻¹ para S. Já os teores de Mg e N-total atingiram níveis críticos, por estarem abaixo dos teores mínimos considerados adequados para o tomateiro, com doses maiores que 6,0 mmol L⁻¹ em SN para o Mg. A faixa considerada como referência para os teores foliares de tomateiro, publicadas por Prezotti (2010), indicam os seguintes valores: 40-60; 4-8; 30-50; 14-40; 4-8; 3-10 g kg⁻¹, respectivamente para N, P, K, Ca, Mg e S e 30-100; 30-100; 5-15; 50-250; 100-300 mg kg⁻¹, respectivamente para B, Zn, Cu, Mn e Fe.

Com base nestas referências, os teores foliares de N (32 g kg⁻¹) e P (13 g kg⁻¹) diagnosticados por Fernandes, Martinez & Fontes (2002) estiveram abaixo do nível crítico e os teores de B (209 mg kg⁻¹) e Mn (665 g kg⁻¹) estiveram muito acima do limite, enquanto que os teores dos demais nutrientes estavam dentro da faixa considerada

O aumento na disponibilidade de Ca²⁺ causou um desbalanço catiônico na SN e uma competição pelos sítios de absorção e transporte, principalmente com o Mg²⁺, refletindo nos teores e acúmulos nos tecidos e órgãos do tomateiro, com efeito inversamente proporcional. Por outro lado, observou-se que houve aumento nos teores e acúmulos de B e S, com o aumento na disponibilidade de Ca²⁺ em SN, ao final do ciclo fenológico do tomateiro.

A interação iônica é um dos principais fatores que afetam a disponibilidade, absorção e distribuição dos nutrientes, principalmente entre os elementos catiônicos K⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺ (Malavolta, 2006; Marschener, 2012). Como observado, as altas concentrações de Ca²⁺ na SN promoveram efeitos principalmente sobre a absorção e transporte de Mg²⁺, não tendo sido refletido efeitos importantes sobre o K⁺.

Abrahão, Villas Bôas & Bull (2014), verificaram que não houve influencia das diferentes relações K:Ca:Mg sobre a produção dos minitomates *Sweet Million* e *Sweet Grape* e que os teores foliares de macronutrientes variaram de acordo com as concentrações dos nutrientes nas SN utilizadas.

O Ca e o B possuem características comuns quanto à suas funções nas plantas: função estrutural na parede celular, baixa ou nula redistribuição, reduzida concentração citoplasmática, alteração do crescimento de plantas sob deficiência, entre outros e, há muito tempo se conhece que há uma relação B-Ca²⁺ na nutrição mineral das plantas em que a quantidade e disponibilidade de um deles influi na distribuição e nas exigências do outro (Ramón, Carpena & Gárate 1990).

Vários estudos indicam que, dependendo da cultura ou organismo, pode haver um efeito sinérgico entre o Ca e o B, sendo que os principais resultados observados demonstram que o B pode mitigar o efeito da deficiência de Ca e que sob deficiência severa de B, que cause danos à estrutura xilemática e nos processos de absorção e distribuição, induz-se à deficiência de Ca nos frutos de tomateiro (Yamauchi, Hara & Sonida, 1986; Redondo-Nieto et al., 2003; El-Hamdaoui et al., 2003; Turan, Taban & Taban, 2009; González-Fontes et al., 2014).

Turan, Taban e Taban (2009) cultivando trigo com diferentes combinações de doses de Ca e B, observaram que a aplicação de altas concentrações de Ca promoveu alívio da toxicidade de B, por diminuir sua absorção e translocação na planta. Souza et al. (2011), também verificaram efeito sinérgico com maiores aplicações de Ca e B no cultivo do feijoeiro, que apresentou maior acúmulo de Ca, Mg e B na parte aérea das plantas e maior produtividade.

No presente experimento verificou-se um efeito sinérgico do aumento da concentração de Ca na SN com a maior capacidade de absorção e transporte de B às folhas do tomateiro, não tendo sido observado o mesmo efeito sobre os frutos, nos quais se verificou teores estatisticamente iguais de B entre as partes dos frutos de ambos os cachos.

O aumento logarítmico nos teores e lineares-platô dos acúmulos foliares de Ca pode ser explicado pelo fato de as maiores proporções de Ca na planta encontram-se em formas insolúveis, principalmente como pectatos de Ca, o principal componente da lamela média da parede celular, e como sais cálcicos, principalmente nos vacúolos de células especializadas (idioblastos), na forma de cristais de oxalato de Ca (Franceschi & Nakata, 2005; Karp, 2005; Marschner, 2012), contribuindo para o balanço iônico e para a manutenção da baixa concentração de Ca livre no citosol, mas que restringe a redistribuição desse nutriente (Clark, 1984).

Quanto ao aumento nos teores de S detectados nas folhas índices de plantas com maiores doses de Ca em SN, pode estar associada ao desbalanço eletroquímico gerado no meio, que além de afetar a relação catiônica Ca²⁺: Mg²⁺: K⁺, também causou uma interação com o P, com redução nas duas primeiras fases avaliadas e que, por conseguinte, facilitou o aumento dos teores foliares de S, já que reduziu indiretamente a competição entre P e S.

Em relação aos teores foliares dos micronutrientes Zn, Cu, Mn e Fe, na última fase de avaliação, observa-se que somente houve efeito significativo para o Mn, que apresentou ajuste quadrático, com o aumento nas doses de Ca em SN, enquanto que os demais apresentaram teores médios entre os tratamentos. Altas concentrações de Ca^{2+} na solução poderia causar um efeito diretamente sobre a redução na disponibilidade de Zn, Cu, Mn e Fe às plantas, por provocar o aumento do pH da solução, conforme elucidado por Malavolta, Vitti & Oliveira (1989). Devido ao fato de se manter o pH ajustado dentro da faixa considerada satisfatória para a cultura (5,5 a 6,5), não se observou esse efeito antagônico.

A redução linear nos teores de Zn e Cu nos frutos, com aumento nas doses de Ca na SN podem ser por um efeito de competição pela concentração dos maiores teores de Ca na parte distal dos frutos, principalmente no cacho 3. Regiões em que os teores desses micronutrientes foram nitidamente menores, igual os teores de Fe foram menores nos frutos do cacho 3.

O Mn^{2+} pode ser absorvido metabolicamente, de forma similar ao Ca^{2+} e Mg^{2+} , ou passivamente se em altas concentrações na SN (Dechen & Nachtigall, 2007), o que possivelmente ocorreu no presente experimento, mesmo com redução das concentrações propostas por Fernandes, Martinez & Fontes (2002), afinal, verificou-se altos teores de Mn na folha índice e nos frutos do tomateiro.

Também há de se observar que as plantas apresentaram maior crescimento (maiores AFT, DIC, VRD e biomassa) com doses de Ca próximas dos $6,0 \text{ mmol L}^{-1}$, o que favoreceu os maiores teores e acúmulos foliares de nutrientes. Isso indica aproximadamente o ponto de melhor equilíbrio nutricional para o tomateiro cv. Iracema, segundo as condições utilizadas nesse experimento, o que refletiu também nos seus parâmetros produtivos (NTFL, NTFR, MFFR e MSFR).

Os efeitos variáveis a cada fase fenológica, além dos tratamentos, que tem impacto cumulativo, também podem ser devidos aos os fatores externos inerentes ao cultivo e aos erros experimentais, que demonstram que o comportamento não é padrão e pode causar maior variabilidade, como o verificado sobre os teores foliares de Cu, Zn e Fe.

5. CONCLUSÕES

- O ciclo fenológico do tomateiro cereja cv. Iracema foi de 115 dias e acúmulo de soma térmica de 1122,51 graus-dias;

- A deficiência de Ca em SN se manifesta com doses de 0,5 e 1,5 mmol L⁻¹ Ca e caracteriza-se por redução do crescimento, desenvolvimento e produção em plantas com teores foliares na ordem de 22,7; 5,80; 36,8; 7,9; 7,6 e 3,1 g kg⁻¹, respectivamente de N-total, P, K, Ca, Mg e S e 53,1; 30,7; 13,6; 127,9 e 136,2 mg kg⁻¹, respectivamente de B, Zn, Cu, Mn e Fe;

- As doses estimadas de 6,0 a 7,0 mmol L⁻¹ Ca, resultaram em melhor crescimento e produção do tomateiro cv. Iracema, com teores foliares na ordem de 22,7; 5,8; 52,7; 62,0; 4,0 e 10,0 g kg⁻¹, respectivamente de N-total, P, K, Ca, Mg e S e 72,4; 30,7; 13,6; 343,9 e 136,2 mg kg⁻¹, respectivamente de B, Zn, Cu, Mn e Fe;

- O aumento na disponibilidade de Ca, promove aumento no aporte de Ca e redução nos teores de Zn, Cu e N-total na parte distal dos frutos. Os frutos do cacho 1 apresentam maiores teores de Zn, Cu, Mg e Fe;

- Os sintomas visuais e anatômicos da carência de Ca se acentuaram na fase frutificação, com alterações mais conspícuas nos tecidos foliares, caulinares e radiculares, ao final do ciclo fenológico (115 DAS), causadas pela deficiência mais severa de Ca (0,5 mmol L⁻¹ B), que promoveu um superdesenvolvimento do floema e aumento na espessura do limbo foliar, provocou lesões na região cortical do caule primário, com células hipertrofiadas e colapsadas e o encurtamento dos ápices radiculares em relação às primeiras raízes laterais.

CAPÍTULO II

EFEITOS FITOTÉCNICOS E ANATÔMICOS DA DISPONIBILIDADE DE BORO NO CULTIVO DE TOMATEIRO DO GRUPO CEREJA

1. INTRODUÇÃO

O tomateiro é uma cultura de grande importância social e econômica, tanto no Brasil como em todo o mundo, sendo tema de constantes estudos para melhoria e aumento de sua produtividade, exigindo assim, melhor conhecimento sobre seu manejo nutricional (Prado et al., 2013).

O boro (B) é um nutriente que apresenta funções bioquímicas importantes que favorecem vários processos metabólicos, contribuindo para o adequado desenvolvimento das plantas e é fundamental para a produção e a qualidade do produto final (Power & Woods, 1997; Cakmak & Römheld, 1997; Malavolta, 2006; Marschner, 2012; Choi et al., 2015).

A principal função conhecida desse micronutriente está relacionada à síntese, constituição e regulação das paredes e membranas celulares, caracterizando-se como elemento de função estrutural e insignificante redistribuição floemática (Santos et al., 1990; Cakmak & Römheld, 1997; Bolaños et al., 2004). Tais características associadas ao rápido desenvolvimento do tomateiro e à reduzida taxa transpiratória das suas gemas e frutos, em relação às folhas (Kinet & Peet, 2006), causam problemas inicialmente nos tecidos meristemáticos, com redução, desorganização e morte destes tecidos, devido às limitações impostas à divisão e diferenciação celulares (Mengel & Kirkby, 2001), resultando em restrição à expansão foliar e ao crescimento global das plantas (Liu et al., 2014).

A insuficiência de disponibilidade do nutriente B para as plantas causa, primariamente, alterações no metabolismo e nos aspectos morfológicos e anatômicos (Silveira et al., 2002; Ryden et al., 2003; Huang & Snapp, 2004; Camacho-Cristóbal et al., 2008; Liu et al., 2014) para depois manifestar os sintomas visualmente, quando já compromete mais pronunciadamente a produtividade e qualidade dos frutos (White & Broadley, 2003; Fontes, 2011), caracterizando-se como um problema econômico para todos os níveis da cadeia produtiva do tomateiro (Bastías et al., 2010; Puiatti et al., 2010).

Em geral, o B ainda é um dos nutrientes menos estudados e de manejo menos compreendido no reino vegetal (Marschner, 2012; Prado et al., 2013). No Brasil é o micronutriente mais limitante ao bom desenvolvimento e produção do tomateiro, devido às frequentes ocorrências de deficiências nos cultivos (Prezotti, 2010), exigindo, com isso, melhor conhecimento sobre a nutrição boratada do tomateiro, de acordo com as cultivares, seus estádios fenológicos e as condições ambientais onde estão inseridas (Puiatti et al., 2010;

Prado et al., 2013). Ademais, um tema ainda pouco estudado e sem informações relevantes disponíveis, é a avaliação integrada dos diferentes graus de deficiência de B e as decorrentes alterações morfoanatômicas desencadeadas nas plantas de tomate.

Diante da carência destas informações sobre a nutrição boratada na cultura do tomateiro, objetivou-se com este trabalho avaliar os efeitos da aplicação de quatro doses de boro sobre a fenologia, desempenho agrônômico, estado nutricional e as possíveis alterações morfoanatômicas em folhas, caule e raízes de tomateiro tipo cereja cultivado em sistema hidropônico.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Material vegetal e condições de cultivo

O experimento foi conduzido durante a primavera-verão de 2013/2014, em casa de vegetação do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 20° 45' 14" S, 42° 52' 55" W, altitude 648 m.

Mudas do tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.) híbrido BRS Iracema do grupo cereja (Embrapa® & Agrocinco®), de crescimento indeterminado, foram produzidas em bandejas de poliestireno expandido, 68x34 cm com 128 células, contendo substrato comercial, regadas uma vez ao dia com água deionizada.

Quando as plântulas apresentaram duas folhas definitivas, aos 18 dias após a semeadura (DAS), foram selecionadas e transplantadas para um sistema hidropônico, com solução nutritiva (SN) para fase vegetativa (Tabela 1), com metade da força iônica. Antes do transplante, todo o substrato foi eliminado do sistema radicular com água corrente. O sistema hidropônico utilizado foi composto por bandejas de 24 L contendo solução estática aerada, cobertas com placas de poliestireno expandido, que serviram de suporte para o cultivo de 18 plantas em cada bandeja.

Aos 23 DAS, as plantas foram selecionadas e passaram a ser cultivadas em SN de fase vegetativa com o total da força iônica. Aos 32 DAS, quando com 5 a 6 folhas definitivas, as plantas foram novamente selecionadas e transferidas para as unidades experimentais e cultivadas com SN de fase vegetativa de acordo com os tratamentos de doses de cálcio (Tabela 1). Cada unidade experimental foi constituída por caixas plásticas de 36 L de capacidade, em que se cultivaram quatro plantas em cada uma, fixadas em tampas de poliestireno expandido, que recobriam as caixas, e tutoradas com fitilho. Cada planta dispunha de aproximadamente 0,36 m² de área útil. Aplicou-se a SN de fase reprodutiva aos 43 DAS, após realização da avaliação de final da fase vegetativa.

Os tratamentos se constituíram de quatro doses de B, considerando-se como Controle: 20 e 25 $\mu\text{mol L}^{-1}$ B, para as fases vegetativa e reprodutiva respectivamente; Baixas Concentrações: 1 e 10 $\mu\text{mol L}^{-1}$ B; e como Alta Concentração: 50 $\mu\text{mol L}^{-1}$ B. Utilizou-se ácido bórico como fonte de B (Tabela 1).

Tabela 1. Composição das soluções nutritivas, modificadas de Fernandes, Martinez & Fontes (2002), para o cultivo do tomateiro cereja durante todo seu ciclo fenológico, em sistema hidropônico

	Fase Vegetativa	Fase Reprodutiva
	mmol L^{-1}	mmol L^{-1}
N- NO_3^-	8,0	12,0
P- H_2PO_4^-	2,0	3,0
K^+	4,0	8,6
Ca^{2+}	2,0	3,0
Mg^{2+}	1,0	1,5
S- SO_4^{2-}	1,0	1,5
	$\mu\text{mol L}^{-1}$	$\mu\text{mol L}^{-1}$
Fe-EDTA	50,0	60,0
Mn	15,0	20,0
B	1,0; 10,0; 20,0 e 50,0	1,0; 10,0; 25,0 e 50,0
Zn	4,0	4,0
Cu	0,9	1,3
Mo	0,7	0,7

Cada planta foi retirada do sistema e avaliada em um estágio fenológico do tomateiro (Rocha, 2009): 1) *Crescimento vegetativo*: até o aparecimento do primeiro cacho floral em 51% das plantas; 2) *Florescimento e início da frutificação*: desde quando 52% das plantas apresentaram o primeiro cacho floral até que 51% delas apresentaram frutos; 3) *Plena frutificação*: quando 52% das plantas apresentaram frutos até que 51% delas apresentaram frutos em ponto de colheita; 4) *Colheita*: desde quando 52% das plantas apresentaram frutos em ponto de colheita até o final da colheita. Dessa forma, as avaliações foram realizadas aos 43, 53, 66 e 84 DAS. A SN da fase reprodutiva foi ministrada a partir da primeira avaliação.

O experimento foi conduzido seguindo um esquema de parcela subdividida, tendo nas parcelas as quatro doses de B (1,0; 10,0; 25,0 e 50,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ Ca^{2+}) e nas subparcelas as quatro fases fenológicas (43, 53, 66 e 84 DAS) em que se realizaram as avaliações, no delineamento inteiramente casualizado (DIC), com quatro repetições.

A SN de todas as unidades experimentais teve aeração constante, pH monitorado e ajustado à faixa de 5,5 a 6,5 e manutenção do volume. As reposições periódicas dos nutrientes absorvidos foram realizadas com base na redução de até 30% da condutividade elétrica inicial. A troca completa da SN foi realizada a cada três semanas.

Todas as plantas foram conduzidas com apenas uma haste e três cachos. A poda apical foi realizada acima da terceira folha do terceiro cacho, aos 48 DAS, e não houve desbastes dos frutos. Durante o período reprodutivo, emissão e abertura floral, procedeu-se diariamente a vibração manual dos cachos florais para promover a queda dos grãos de pólen sobre o estigma e conseqüentemente, a polinização.

Armadilhas com a finalidade de atrair e reduzir a população de pragas vetores de viroses, como moscas-branca e pulgões, foram distribuídas no interior da casa de vegetação na altura das plantas. Cada armadilha correspondia a uma folha de plástico amarelo coberto com óleo mineral para a fixação dos insetos que são atraídos por essa cor.

2.2 Avaliações e registro de informações

2.2.1 Soma térmica e radiação solar

Durante o experimento, registraram-se diariamente as temperaturas máximas e mínimas do ar no interior da casa de vegetação, à altura das plantas (Figura 1).

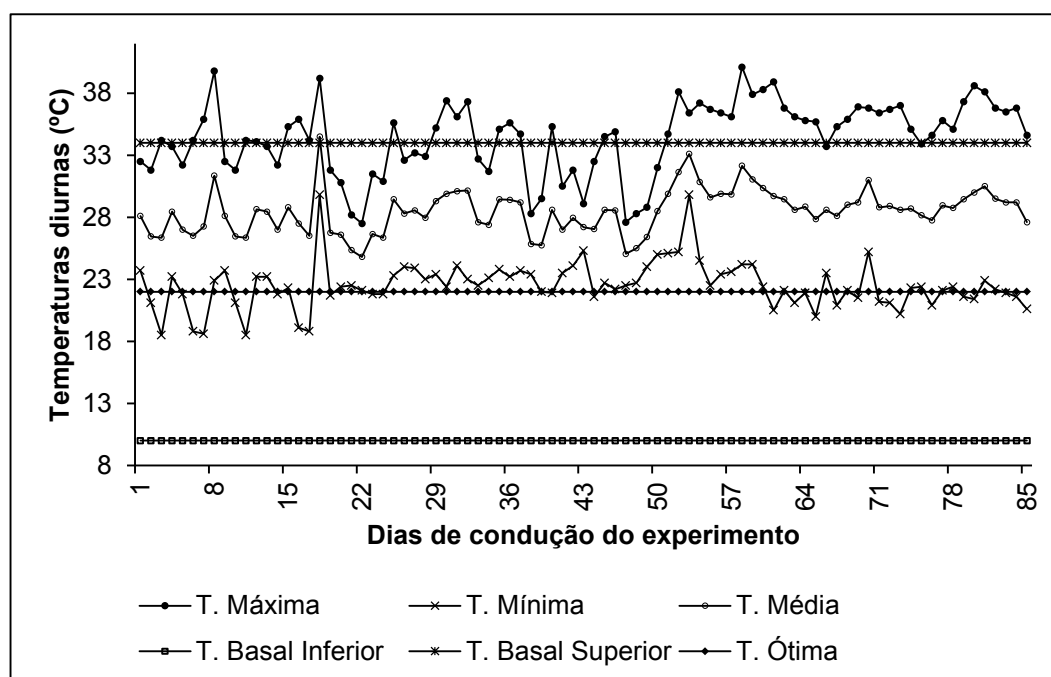


Figura 1. Temperatura ao longo do ciclo da cultura do tomateiro cultivado sob doses de boro em solução nutritiva no interior de casa de vegetação.

Com esses dados calcularam-se as somas térmicas ou graus-dias (GD °C) diárias e acumuladas para o tomateiro, de acordo com as metodologias propostas por Arnold (1960) (M1) e por Ometto (1981) (M2):

$$GD = (T_{med} - T_b)$$

(M1): \Rightarrow se $T_{med} < T_b$ então $T_{med} = T_b$

$$(M2): \quad GD = \frac{(T_M - T_m)}{2} + (T_m - T_b) \quad \text{e} \quad GD = \frac{2(T_M - T_m)(T_m - T_b) + (T_M - T_m)^2 - (T_M - T_B)^2}{2(T_M - T_m)}$$

\Rightarrow quando $T_m > T_b$ e $T_M < T_B$
 \Rightarrow quando $T_m > T_b$ e $T_M > T_B$

em que:

T_M , T_m e T_{med} são as temperaturas máxima, mínima e média diária do ar (°C) no interior da casa de vegetação durante o experimento, sendo que a T_{med} foi calculada pela média aritmética da T_M e T_m ; T_B , T_b e T_{ot} são as temperaturas cardinais basal superior, basal inferior e ótima, respectivamente, consideradas adequadas para emissão de folhas pelas plantas de tomateiro, em que se assumiram $T_B = 34^\circ\text{C}$, $T_b = 10^\circ\text{C}$ e $T_{ot} = 22^\circ\text{C}$ (Silva & Giordano, 2000).

Com esses dados, a partir do transplântio, calcularam-se os graus-dias (GD) diários para cada fase de desenvolvimento da cultura, que acumulados indicam a soma térmica acumulada para o tomateiro. Os estádios (fases) de desenvolvimento considerados para estes cálculos se definem como: Fase I: Inicial – da sementeira ao transplântio; Fase II: Desenvolvimento vegetativo – do transplântio ao florescimento; Fase III: Florescimento – do início do florescimento ao início de frutificação; Fase IV: Frutificação – do início da frutificação ao início da maturação e Fase V: Amadurecimento – do início da maturação ao final da colheita.

Os dados sobre a radiação global incidente foram coletados de uma estação automática do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizado a aproximadamente 500 m do local do experimento (Figura 2).

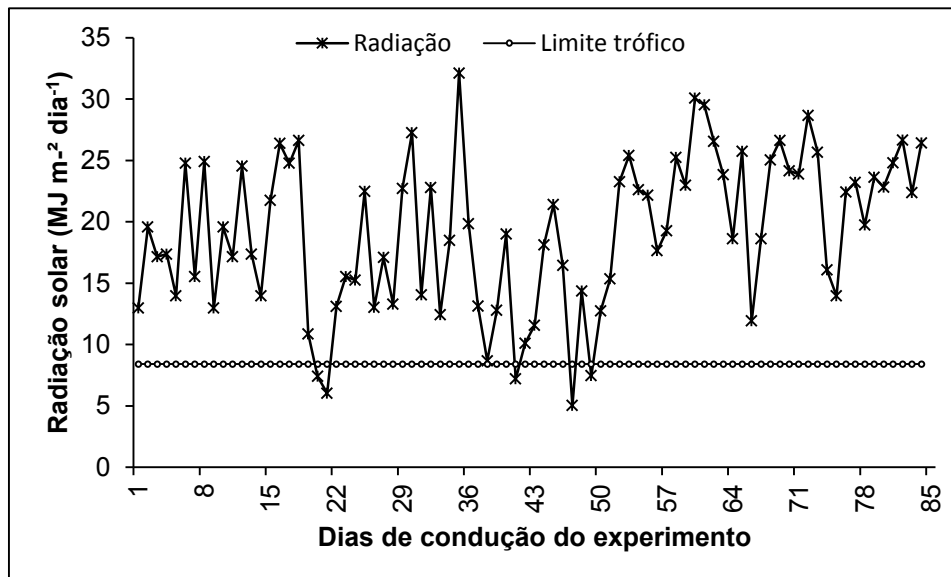


Figura 2. Média de radiação solar global registrada durante a condução do experimento em Viçosa, MG.

2.2.2 Sintomas macroscópicos e avaliação morfoanatômica do tomateiro em resposta às doses de B

Durante a condução do experimento se observaram e se realizaram os devidos registros de todos os sinais e sintomas demonstrados pelas plantas como efeitos dos tratamentos aplicados.

Na primeira e quarta avaliações, 43 e 84 DAS, se amostraram materiais das plantas para análise anatômica: A terceira folha completamente expandida a partir do ápice, da qual se analisou o pecíolo e a parte mediana do segundo par de folíolos; Porções do caule, de aproximadamente 5 cm de comprimento, uma porção do entrenó logo abaixo da folha índice (com crescimento secundário) e uma porção logo abaixo do meristema apical, na primeira amostragem (sem ainda apresentar crescimento secundário); Porções da raiz em diferentes estádios de desenvolvimento, com seus meristemas e Meristema da parte aérea, na primeira amostragem. As amostras foram fixadas em solução de FAA₅₀ (formaldeído, ácido acético e álcool etílico 50% 1:1:18 v/v) por 48 horas e conservadas em etanol 70% (Johansen, 1940).

Aproximadamente 0,25 cm² de cada material foi desidratado em série etílica crescente e incluídos em metacrilato (Historesin-Leica Instruments, Heidelberg, Alemanha) de acordo com as recomendações do fabricante. As amostras foram seccionadas transversal e longitudinalmente com 5 µm de espessura em micrótomo rotativo de avanço automático (modelo RM2155, Leica Microsystems Inc., Deerfield, USA) e os cortes corados com azul de toluidina pH 4,4 (O'Brien, Feder & Mccully, 1965) e montados em resina sintética (Permount, Fisher). As observações e a documentação fotográfica foram feitas em fotomicroscópio (modelo Olympus AX70TRF, Olympus Optical, Tóquio, Japão) acoplado à câmera digital (modelo Zeiss Axio Cam, Carl Zeiss, Jena, Alemanha).

Amostras de raízes foram coletadas, lavadas em água corrente e coradas com violeta cristal 1% e fotografadas para ilustração macromorfológica dos efeitos do B nas raízes.

Todas as análises morfoanatômicas foram realizadas no laboratório de anatomia vegetal da UFV.

Procedeu-se a análise qualitativa das características anatômicas, com descrição das principais alterações observadas decorrentes das diferentes concentrações de B disponibilizadas via SN.

2.2.3 Avaliações alométricas

Em cada estágio fenológico em que as plantas foram avaliadas, registraram-se o número de folhas (NFO); a altura das plantas (APL, cm), do coleto até o ponto de poda apical; diâmetro do caule à altura do coleto (DIC, mm) e o volume de raízes (VRD, cm³), que foi

determinado pelo método da proveta, em que colocando-se as raízes em uma proveta graduada, contendo volume conhecido de água, seu valor é equivalente à diferença de volume proporcionado na proveta ($1\text{ml} = 1\text{ cm}^3$), conforme descrito por Basso (1999).

A área foliar total das plantas (AFT, cm^2) foi determinada utilizando-se o medidor de área foliar LI-3100 (Li-Cor, inc. Lincoln, Nebraska, USA).

Seccionaram-se as plantas avaliadas em folhas, caule, raízes e frutos, que foram devidamente acondicionados e identificados em sacos de papel e secos em estufa de circulação forçada de ar (65°C) até atingirem peso constante. Então, pesaram-se as amostras, com auxílio de uma balança digital (0,001 g), obtendo-se a massa seca dos respectivos tecidos: folhas (MSF, g), caule (MSC, g) e raízes (MSR, g), que somados representaram a massa seca total da planta (MST).

Na quarta avaliação, com o objetivo de obter as características dos frutos e produção, registraram-se também: número total de frutos por planta (NFR); massa fresca e seca totais de fruto por planta (MFFR e MSFR, g) e diâmetro equatorial dos frutos (mm).

2.2.4 Avaliação do estado nutricional dos tomateiros e alocação de nutrientes nos frutos

Para determinação do estado nutricional de cada planta em cada fase de avaliação, analisaram-se a folha índice e os frutos da quarta avaliação. A folha índice, ou diagnóstica, é a terceira folha completamente expandida a partir do ápice e os frutos amostrados foram aqueles do terço médio dos cachos 01 e 03, que foram seccionados transversalmente, à altura equatorial, em duas partes: proximal (P) e distal (D) em relação ao pedúnculo.

De posse da massa seca de cada parte da planta (folha índice e frutos), procedeu-se a moagem das amostras em moinho tipo Wiley, a 20 mesh, e então se realizou o processo analítico para determinação do teor dos nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Zn, Cu, Mn e Fe) em cada tecido analisado.

Com a extração por digestão nitro-perclórica (A.O.A.C.,1975), se determinaram os teores de P, dosado colorimetricamente pelo método de redução do fosfomolibdato pela vitamina C em espectrofotômetro a $\lambda=725\text{ nm}$; K, por fotometria de emissão de chama; S por turbidimetria do sulfato em espectrofotômetro a $\lambda= 420\text{ nm}$; e Ca, Mg, Cu, Fe e Zn por espectrofotometria de absorção atômica.

Os teores de N-total foram obtidos pelo método Kjeldahl (Bataglia et al., 1983), a partir de digestão sulfúrica e titulação com HCl. Os teores de B foram determinados por digestão via seca, seguida de dosagem com azometina-H base e determinados por espectrofotômetro a $\lambda= 420\text{ nm}$ (Malavolta, Vitti & Oliveira, 1997).

De posse das concentrações de nutrientes nos frutos, procedeu-se o cálculo da razão entre os teores de nutrientes das porções distal (D) e proximal (P) dos frutos dos cachos 1 e 3 através da equação: $D/P(\%) = [(D/P)*100]$.

2.3 Análises estatísticas

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e de regressão, das doses de B estudadas dentro de cada fase de desenvolvimento do tomateiro, com nível de 5% de significância do teste t de Student.

Para a escolha dos modelos de equações de regressão se consideraram aqueles que melhor representassem o caráter biológico de cada variável, a significância dos coeficientes de regressão e coeficiente de determinação ($R^2 = S.Q.Regressão/S.Q.Tratamento$) para cada um.

Ainda que o estudo das doses de B seja de caráter quantitativo, há o efeito qualitativo entre as fases de desenvolvimento avaliadas, razão pela qual se utilizou a comparação pelo teste de Tukey ($\alpha= 5\%$) das quatro fases dentro de cada dose de B estudada.

Para as variáveis NFR, DFR, MSFR e MSFR, procedeu-se análise de variância e de regressão com os dados transformados ($\sqrt{x + 10}$), devido os dados originais não responderem às pressuposições da ANOVA. Pelo mesmo motivo as concentrações de nutrientes e suas relações nos frutos foram analisados por comparação pelo teste de Tukey ($\alpha= 5\%$).

Para todas as análises estatísticas se utilizou o *software* SAEG.

3. RESULTADOS

3.1 Condições climáticas e soma térmica acumulada

Durante a realização do experimento, a temperatura média do ar dentro da casa de vegetação variou de 24,80 a 34,50°C, acima da temperatura considerada ótima para o desenvolvimento do tomateiro (22°C) e próxima da temperatura basal superior (34°C), sendo que em algumas ocasiões as temperaturas máximas e mínimas excederam esses limites (Figura 1).

As temperaturas máximas de 39,80; 39,20; 38,10; 40,10; e 38,60°C e mínimas de 18,50; 21,70; 21,60; 20,10 e 20,20°C foram os picos extremos de temperatura atingidos dentro da casa de vegetação durante as fases I, II, III, IV e V, respectivamente.

Devido às constantes altas temperaturas e radiação solar incidente, principalmente após os 52 DAS – final da fase de florescimento e início da frutificação, observou-se que as plantas apresentaram enrolamento e distorção do limbo foliar de modo a reduzir a área fotossinteticamente ativa, bem como, houve um efeito de escaldadura em parte das folhas

expostas diretamente à radiação solar. Esses sintomas evoluíram à necrose e morte dos tecidos afetados, reduzindo paulatinamente a área foliar.

A média de radiação global incidente registrada durante o experimento foi de 19,23 MJ/m² dia⁻¹, com máxima de 32,11 MJ/m² dia⁻¹ e a mínima de 5,02 MJ/m² dia⁻¹ (Figura 2). Somente em alguns poucos dias se registrou radiação abaixo do limite trófico (8,40 MJ/m² dia⁻¹), a princípio da fase II e meados da fase III, mas que não foi persistente, ou seja, predominando radiação solar acima do nível trófico para o tomateiro.

O ciclo fenológico do tomateiro foi de 84 dias, compreendidos entre os dias 04/11/2013 a 28/01/2014. O total de graus-dias (GD) acumulados calculados de acordo com metodologia proposta por Arnold (1960), M1 = 1645,05, foi maior que o GD obtido com a metodologia de Ometto (1981), M2 = 1631,11, devido à amplitude térmica registrada durante a condução do experimento (Tabela 2).

Tabela 2. Duração, em dias, dos estádios fenológicos do tomateiro cultivado com doses de boro e suas respectivas somas térmicas acumuladas pelos métodos de Arnold (1960) [M1] e Ometto (1981) [M2]

Fase	Fase de desenvolvimento	Descrição	Dias	GD	
				M1	M2
I	Inicial	Semeadura - Transplântio	17	320,20	318,92
II	Desenvolvimento vegetativo	Transplântio - Florescimento	25	468,05	465,25
III	Florescimento	Florescimento - Frutificação	10	198,70	197,91
IV	Frutificação	Frutificação - Maturação	13	278,15	273,07
V	Maturação	Maturação - Colheita	19	379,95	375,96
Total			84	1645,05	1631,11

3.2 Sintomas macroscópicos e avaliação morfoanatômica do tomateiro em resposta às doses de B

Os tomateiros-cereja cultivados com doses de B foram responsivos aos diferentes tratamentos, com expressão de sintomas típicos de deficiência, tanto no nível macroscópico quanto no nível anatômico na menor dose aplicada (1,0 µmol L⁻¹ B), enquanto que para as doses de 10 a 50 µmol L⁻¹ B as plantas apresentaram desenvolvimento aparentemente adequado, sem sintomas que caracterizassem estado de deficiência ou excesso de B.

Os primeiros sintomas de deficiência de B em tomateiros cultivados sob a maior restrição de B em solução nutritiva (1,0 µmol L⁻¹) surgiram tão somente 48h após a aplicação dos tratamentos. As folhas mais novas apresentaram início de encarquilhamento e distorção, curvando-se para baixo. Também se apresentavam muito frágeis, com aspecto quebradiço e se rompiam com muita facilidade durante as atividades de manejo (Figura 3).

Os sintomas da deficiência de B nas plantas sob esse tratamento evoluíram rapidamente. Na sequência as mesmas folhas jovens e o meristema caulinar, apresentaram coloração arroxeada, púrpura, na zona intervenal e progrediram para aspecto de necrose e morte

definitiva das gemas apicais, com consequente perda da dominância apical e limitação ao lançamento de novas folhas, flores, frutos e brotações laterais.

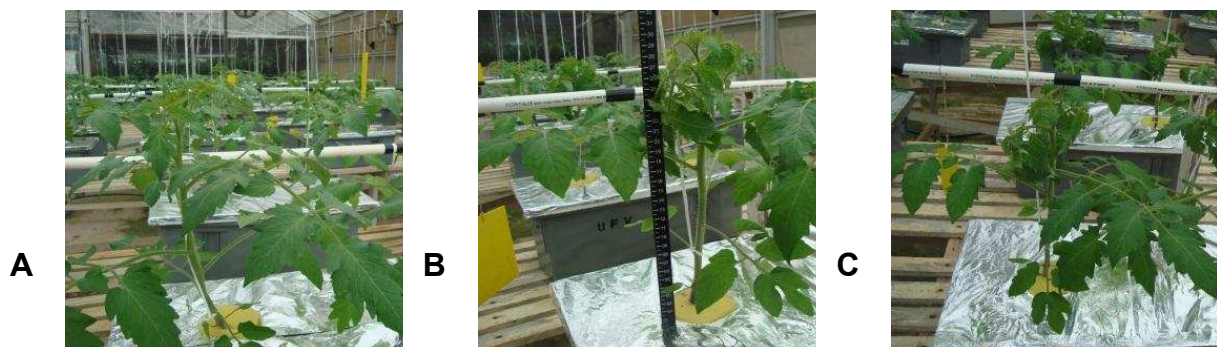


Figura 3. Plantas de tomateiro aos 34 DAS, dois dias após a aplicação dos tratamentos com doses de B em solução nutritiva. A- planta com tratamento controle ($25 \mu\text{mol L}^{-1}$ B); B, C- plantas com a maior deficiência de B ($1 \mu\text{mol L}^{-1}$ B).

Esses eventos foram observados até dez dias após a aplicação dos tratamentos, por ocasião da primeira avaliação (43 DAS), evidenciando a drástica limitação ao crescimento e desenvolvimento das plantas devido à carência de B (Figura 4).

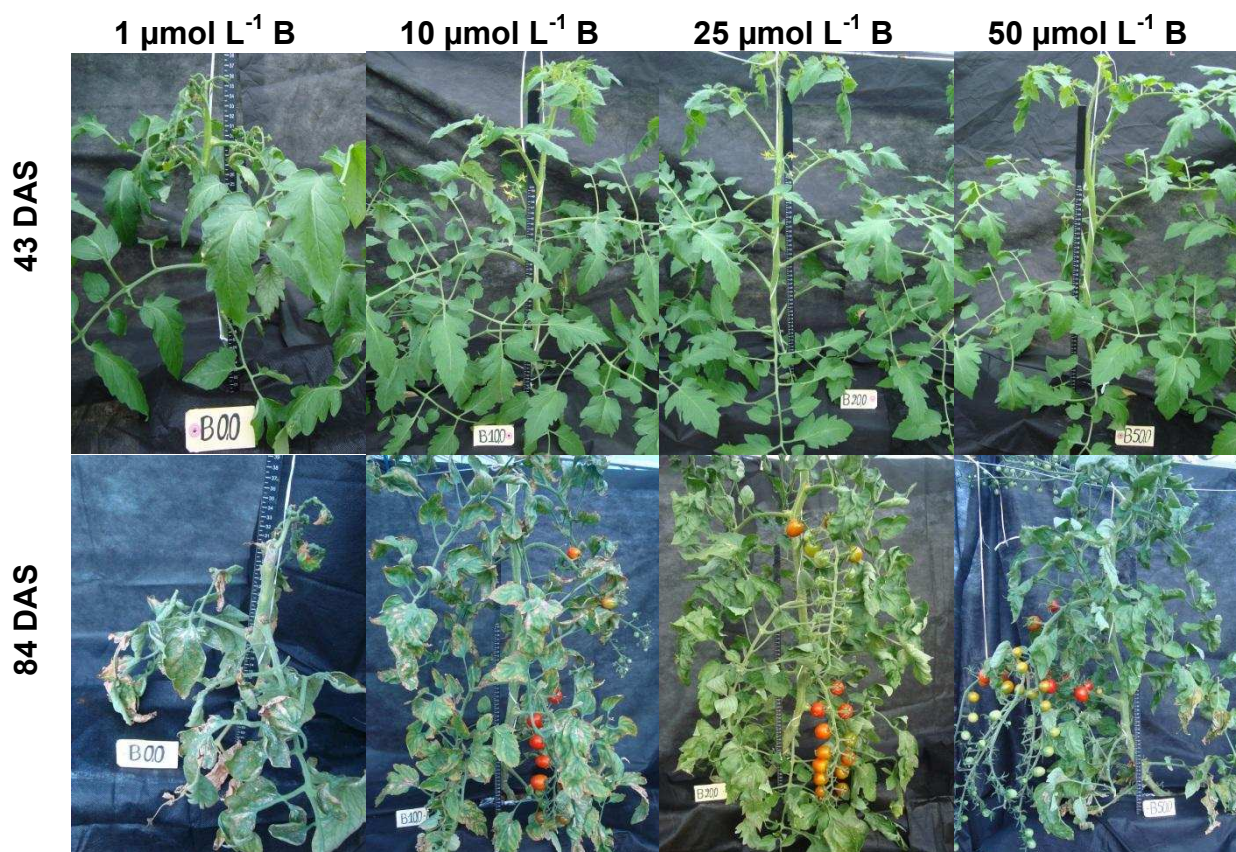


Figura 4. Tomateiros cereja cv. Iracema, aos 43 e 84 dias após a semeadura (DAS), cultivados com as doses de 1, 10, 25 e 50 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de B em solução nutritiva hidropônica em casa de vegetação.

Plantas deficientes apresentaram menor número de folhas, altura, diâmetro do caule, volume radicular e produção de biomassa, além de ausência de estruturas reprodutivas.

Com a reduzida taxa de crescimento dessas plantas, observou-se menor exigência na reposição de água e nutrientes, comparadas com as plantas dos demais tratamentos, que por sua vez apresentaram maior vigor vegetativo sem sintomas aparentes de deficiência ou toxicidade de B ou outros nutrientes.

As características anatômicas gerais da folha e do caule do tomateiro cereja, não foram afetadas qualitativamente pelos tratamentos impostos, salvo pela maior restrição de boro, onde a atividade cambial atípica culminou na desorganização estrutural dos tecidos vasculares (Figuras 5 e 6).

As maiores alterações anatômicas verificadas nos caules de tomateiros (Figura 5) ocorreram em plantas submetidas à $1\mu\text{mol L}^{-1}\text{B}$ (deficiência) (Figuras 5 A, D, G, J), em relação às doses de $25\mu\text{mol L}^{-1}\text{B}$ (dose recomendada) (Figuras 5 B, E, H, K) e de $50\mu\text{mol L}^{-1}\text{B}$ (dose elevada) (Figuras 5 C, F, I, L), aos 43 DAS.

Sob $1\mu\text{mol L}^{-1}\text{B}$, o ápice caulinar tornou-se necrosado (Figura 5 A). A necrose iniciou-se na região do procâmbio, com produção de compostos fenólicos e degradação da lamela média, até atingir toda região de promeristema. Nessa condição, a região cortical do caule apresentou estrutura incomum, sem diferenciação clara entre o parênquima clorofiliano, o colênquima e o parênquima fundamental. Quando a região cortical já estava totalmente diferenciada e o câmbio vascular já estava ativo, indicando o início do crescimento secundário, verificou-se desenvolvimento incomum do colênquima e maior número de camadas de células iniciais cambiais e de suas derivadas em plantas cultivadas sob $1\mu\text{mol L}^{-1}\text{B}$ (Figura 5 D).

Nas folhas (Figuras 6 A-F), as alterações anatômicas mais conspícuas também ocorreram em condições de deficiência de boro ($1\mu\text{mol L}^{-1}\text{B}$). Nessas condições, a região da nervura principal do limbo apresentou alterações em relação aos demais tratamentos, como epiderme parcialmente colapsada, menor desenvolvimento do colênquima e tecido vascular mais desenvolvido, especialmente o floema (Figura 6 A). A deficiência de boro também provocou alterações na região internervural, que exibiu maior espessura e maior desenvolvimento dos tecidos vasculares, especialmente o floema (Figura 6 D).

O sistema radicular dos tomateiros apresentou alterações conspícuas entre as doses de boro (Figuras 6 G-L) na avaliação aos 43 DAS, principalmente no que diz respeito à distância entre o ápice radicular e a emissão das primeiras raízes laterais. Sob deficiência de boro, a distância entre o ápice radicular e a primeira raiz lateral foi menor em relação aos demais

tratamentos, ou seja, sob deficiência de boro as raízes se tornaram mais encurtadas pela diferenciação precoce de células e tecidos a partir do ápice (Figura 6 H).

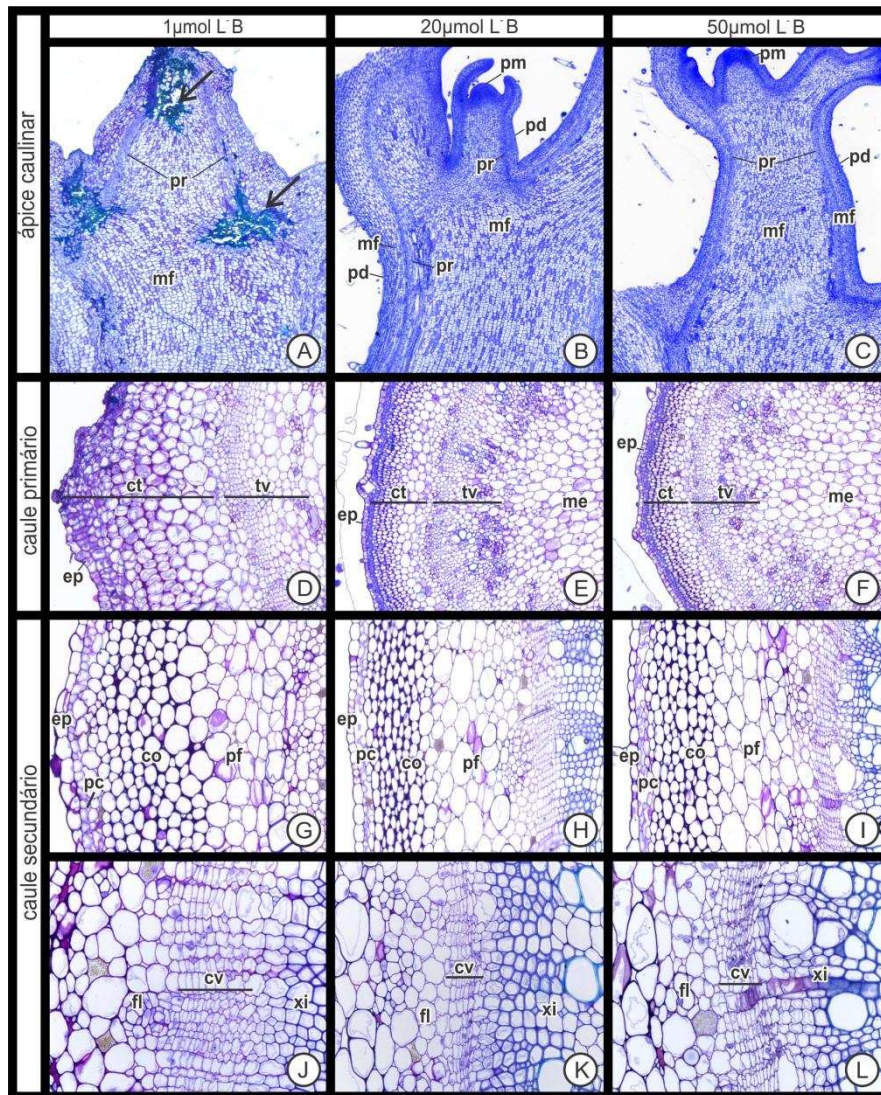


Figura 5. Fotomicrografias de caules de tomateiros em cultivo hidropônico sob 1 (A, D, G, J), 25 (B, E, H, K) e $50\mu\text{mol L}^{-1}$ (C, F, I, L) de boro aos 43 DAS (A-C, seções longitudinais; D-L, seções transversais). A-C, ápices caulinares. D-F, caules em crescimento primário. G-L, caules em crescimento secundário. Setas indicam regiões do procâmbio necrosadas com produção de compostos fenólicos (coloração esverdeada). co: colênquima; ct: côrtex; cv: câmbio vascular; ep: epiderme; fl: floema; me: medula; mf: meristema fundamental; pf: parênquima fundamental; pc: parênquima clorofiliano; pd: protoderme; pm: promeristema; pr: procâmbio; tv: tecido vascular; xi: xilema.

Porém, não foram observadas alterações anatômicas notáveis nas raízes em seção transversal, considerando as diferentes doses do boro (Figuras 6 G, I, K). Algumas diferenças observadas entre os tratamentos podem ser relacionadas com o número de polos de xilema, que varia muito no mesmo sistema radicular, e o estágio de desenvolvimento, que varia entre o final do crescimento primário e o início do crescimento secundário.

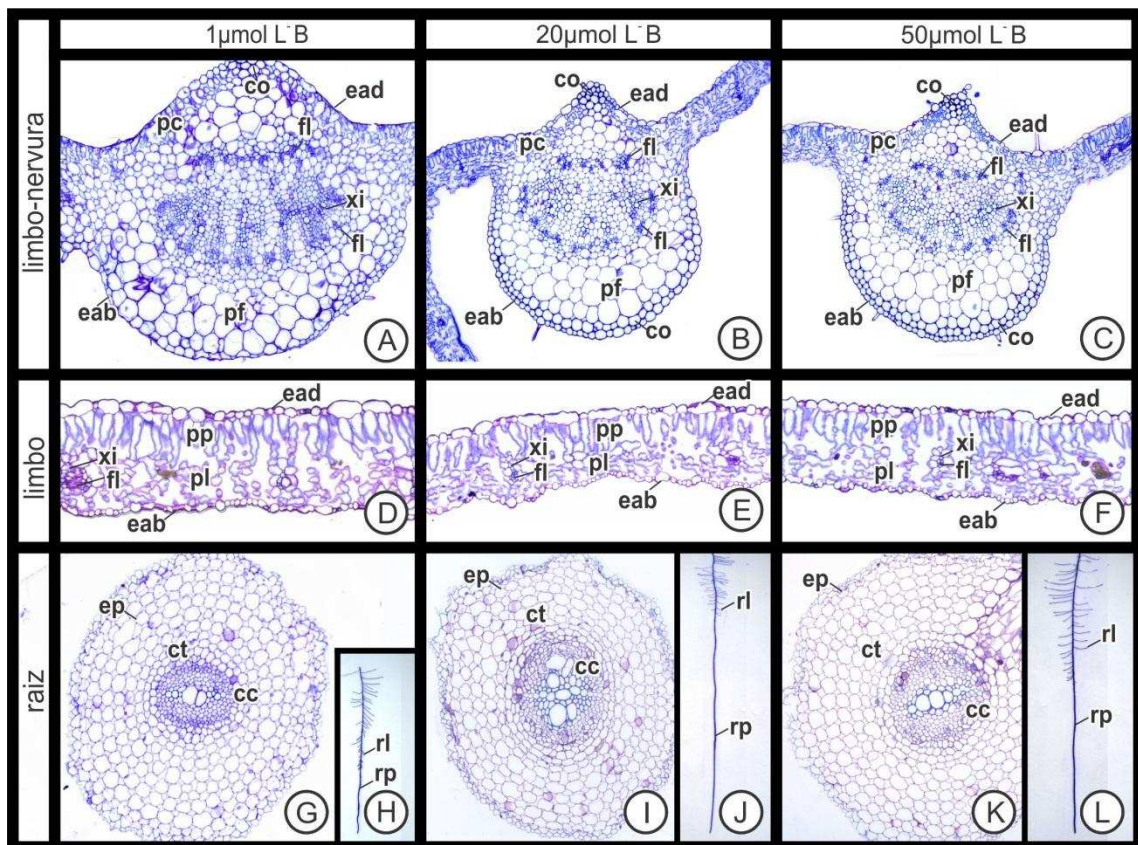


Figura 6. Fotomicrografias de folhas (A-F) e raízes (G-L) de tomateiros em cultivo hidropônico sob 1 (A, D, G, H), 25 (B, E, I, J) e $50\mu\text{mol L}^{-1}$ (C, F, K, L) de boro aos 43 DAS (A-G, I, K, seções transversais; H, J, L, peças inteiras). A-C: região da nervura principal do limbo; D-F: região internervural do limbo; G-L: raízes. cc: cilindro central; co: colênquima; ct: córtex; eab: epiderme abaxial; ead: epiderme adaxial; ep: epiderme; fl: floema; pc: parênquima clorofiliano; pf: parênquima fundamental; pp: parênquima paliçádico; pl: parênquima lacunoso; rp: raiz principal; rl: raiz lateral; xi: xilema.

Na avaliação das amostras coletadas aos 84 DAS, as alterações anatômicas em folhas (Figura 7), caules (Figura 8 D-F) e raízes (Figura 8 G-L) também foram evidentes sob deficiência de boro ($1\mu\text{mol L}^{-1}$ B). Em caules e folhas, as alterações decorrentes da deficiência de boro foram ainda mais acentuadas nesse estágio fenológico.

Na região da nervura principal de folhas de tomateiros cultivados sob deficiência de boro (Figura 7 A-B), a epiderme apresentou-se parcialmente colapsada, além de ocorrer menor desenvolvimento do colênquima. Na região internervural foi evidente o maior desenvolvimento do tecido vascular, principalmente o floema (Figura 7 G). As folhas também tornaram-se notavelmente mais espessas na região internervural sob deficiência de boro (Figura 7 G).

Nos caules de tomateiros cultivados sob deficiência de boro (Figura 8 A), houve formação de áreas necróticas na região cortical, a partir do parênquima fundamental. Porém, as maiores alterações ocorreram na região da faixa cambial e dos tecidos vasculares

secundários (Figura 8 D). As células iniciais e as derivadas imediatas do cambio vascular aumentaram em número, assim como as células em diferenciação do xilema e do floema secundários. Destaca-se a menor quantidade de tecidos vasculares secundários produzidos e a ausência de elementos de vaso típicos do xilema secundário em condições de deficiência de boro. Outra alteração anatômica que se destaca nessa condição é o menor espessamento das paredes celulares das fibras externas ao floema (Figura 8 D).

A deficiência de boro aos 84 DAS também ocasionou o encurtamento das raízes, ou seja, a diminuição da distância entre o ápice radicular e o aparecimento da primeira raiz lateral (Figura 8 H). Assim como na avaliação aos 43 DAS, não houve diferenças conspícuas entre as seções transversais das raízes nas diferentes doses de boro (Figura 8 G-L), apenas diferenças sutis que podem ser relacionadas com a variação do número de polos de xilema e do estágio de desenvolvimento das raízes.

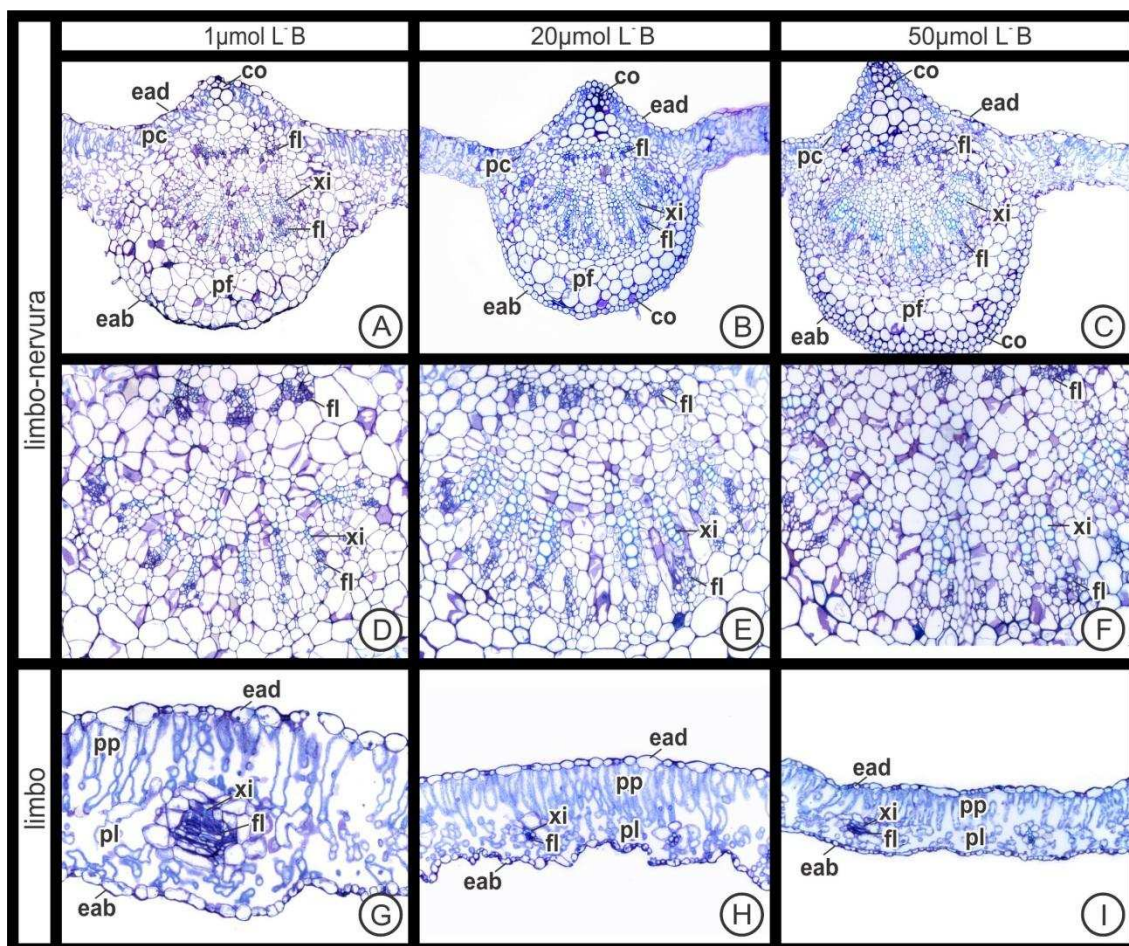


Figura 7. Fotomicrografias de folhas de tomateiros em cultivo hidropônico sob 1 (A, D, G), 25 (B, E, H) e $50\mu\text{mol L}^{-1}$ (C, F, I) de boro aos 84 DAS (seções transversais). A-C: região da nervura principal; D-F: detalhes da região da nervura principal; G-I: região internervural do limbo. co: colênquima; eab: epiderme abaxial; ead: epiderme adaxial; fl: floema; pc: parênquima clorofiliano; pf: parênquima fundamental; pp: parênquima paliçádico; pl: parênquima lacunoso; xi: xilema.

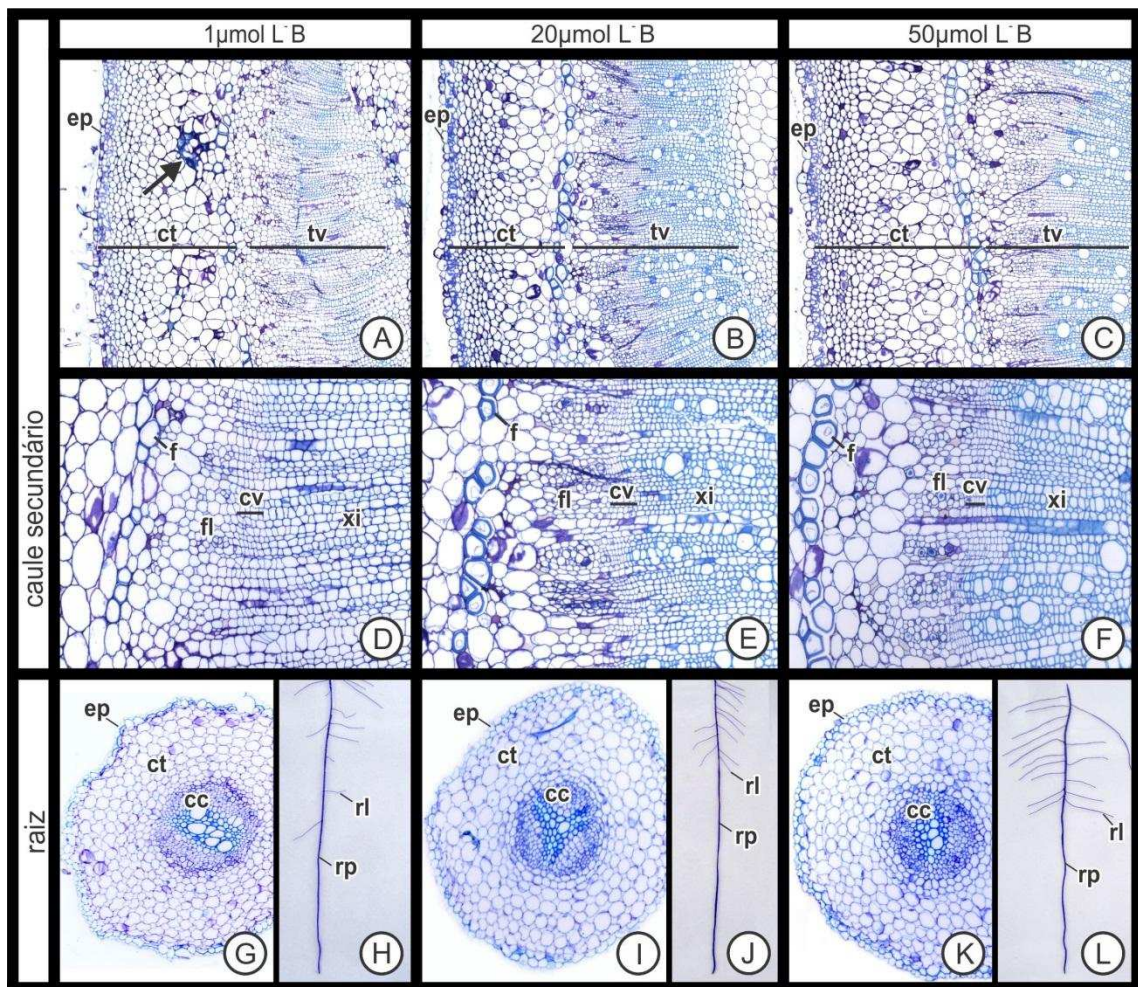


Figura 8. Fotomicrografias de caules (A-F) e raízes (G-L) de tomateiros em cultivo hidropônico sob 1 (A, D, G, H), 25 (B, E, I, J) e 50 $\mu\text{mol L}^{-1}$ (C, F, K, L) de boro aos 84 DAS. (A-G, I, K, seções transversais; H, J, L, peças inteiras). Setas indicam regiões do córtex necrosadas, com produção de compostos fenólicos (coloração esverdeada). cc: cilindro central; co: colênquima; ct: córtex; eab: epiderme abaxial; ead: epiderme adaxial; ep: epiderme; f: fibras externas ao floema; fl: floema; pc: parênquima clorofiliano; pf: parênquima fundamental; pp: parênquima paliádico; pl: parênquima lacunoso; rp: raiz principal; rl: raiz lateral; tv: tecido vascular; xi: xilema.

3.3 Avaliações alométricas e de produção de frutos

As variáveis biométricas APL, DIC, NFO, AFT, VRD, MSF, MSC e MSR dos tomateiros (Figura 9) foram significativamente afetadas pelas doses de B aplicadas ao longo do ciclo fenológico do tomateiro, tendo o crescimento das plantas e acúmulo de massa apresentado ajustes sigmoidais, em respostas a essas doses. Houve interação altamente significativa entre as doses de B estudadas e as fases do ciclo fenológico do tomateiro em que foram realizadas as avaliações.

As plantas sob o tratamento 1 $\mu\text{mol L}^{-1}$ B não apresentaram diferenças expressivas nos atributos biométricos para as diferentes fases fenológicas, segundo o teste de Tukey, devido às limitações impostas pela constante deficiência de B ao longo do experimento. Somente houve

diferença significativa para o VRD das plantas sob esse tratamento, tendo sido maiores e estatisticamente iguais nas fases de 66 e 84 DAS.

As plantas submetidas aos tratamentos 10, 25 e 50 $\mu\text{mol L}^{-1}$ B apresentaram incremento em todas as variáveis biométricas em função do tempo de cultivo, tendo apresentado maior DIC, MSF, MSC e MSR ao final do ciclo fenológico, com significativa diferença entre os estádios avaliados, conforme o esperado. O tratamento de 25 $\mu\text{mol L}^{-1}$ B promoveu maior diâmetro do caule (23,31 mm) e o tratamento de 50 $\mu\text{mol L}^{-1}$ B, maior acúmulo de massa seca das plantas (MSF: 98,2g; MSC: 76,5g; MSR: 22,2 g). Enquanto que as plantas sob o tratamento 1 $\mu\text{mol L}^{-1}$ B, ao final do ciclo fenológico, apresentaram DIC: 10,8 mm; MSF: 17,8 g; MSC: 13,1 g e MSR: 5,9 g, o que representa, respectivamente, uma redução de 53; 82; 83 e 73% destes atributos nas plantas deficientes em B.

Os atributos APL e AFT também foram favorecidos pelos tratamentos 10, 25 e 50 $\mu\text{mol L}^{-1}$ B, mas não apresentaram incremento constante até o final do ciclo fenológico do tomateiro, como os demais atributos, pois, aos 48 DAS realizou-se a poda apical das plantas, fazendo com que a altura das plantas permanecesse estável a partir de então, enquanto que as plantas sob a deficiência drástica de B (1 $\mu\text{mol L}^{-1}$ B) tiveram seus meristemas atrofiados nos primeiros dias após a aplicação dos tratamentos.

Aos 43 DAS, antes da realização da poda apical, se observa o efeito negativo da deficiência de B sobre o crescimento inicial dos tomateiros. As plantas cultivadas com 1 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de B já apresentavam altura 57% menor que as plantas sob os demais tratamentos. Aos 53 DAS, as plantas do tratamento 50 $\mu\text{mol L}^{-1}$ B, que atingiram maior altura até a realização da poda apical (112,9 cm), eram 70% maiores que as plantas do tratamento 1 $\mu\text{mol L}^{-1}$ B (35,4 cm).

Quanto a AFT, houve uma progressiva diminuição a partir dos 66 DAS devido à senescência e perda das folhas baixas pela ocorrência de “queimadura” e enrolamento dos bordos foliares com o excesso de radiação e temperatura no interior da casa de vegetação. Nessa fase as plantas sob deficiência de B (1 $\mu\text{mol L}^{-1}$ B) apresentavam AFT de 1387,9 cm^2 , 85% menos que as plantas do tratamento 50 $\mu\text{mol L}^{-1}$ B, que foi de 9492,5 cm^2 .

Houve um ajuste quadrático para o VRD aos 66 DAS, sendo o ponto de máxima alcançado com a dose de 33 $\mu\text{mol L}^{-1}$ B, 324,7 cm^3 , 73% maior que o apresentado pelas plantas deficientes em B, que foi de 87,0 cm^3 .

Verifica-se que os tratamentos com as doses de 10 a 50 $\mu\text{mol L}^{-1}$ B proporcionaram melhores condições para que as plantas completassem seu ciclo fenológico, comparativamente com o tratamento de 1 $\mu\text{mol L}^{-1}$, sendo mais expressivos os resultados obtidos para as plantas cultivadas com 25 e 50 $\mu\text{mol L}^{-1}$ B. Os ajustes de regressão

demonstram que doses menores que $25 \mu\text{mol L}^{-1}$ B tendem a proporcionar redução progressiva nos atributos biométricos do tomateiro, sugerindo uma deficiência desse micronutriente. Já a dose máxima estudada, $50 \mu\text{mol L}^{-1}$ B, não apresentou sintomas de toxidez de B e em alguns casos promoveu ligeira melhora nos atributos biométricos em comparação com o tratamento controle, $25 \mu\text{mol L}^{-1}$ B.

Os resultados alcançados com as doses de 25 e $50 \mu\text{mol L}^{-1}$ B, que são próximas daquelas praticadas pelos produtores de tomate, indicam que a faixa entre a deficiência e a toxicidade do B não é tão estreita como defendido em algumas publicações, pelo menos nas condições em que se conduziu este experimento.

Quanto aos atributos relacionados à produção (Figura 10), houve efeito significativo ($p < 0,01$) para as doses de B estudadas, sendo que as plantas cultivadas sob a dose mais restritiva ao crescimento, $1 \mu\text{mol L}^{-1}$ B, não apresentaram produção de frutos, caracterizando o problema mais grave da deficiência de B no cultivo do tomateiro.

Para NFR houve ajuste quadrático em resposta às doses de B, com máxima estimada de 80 frutos para a dose de $35 \mu\text{mol L}^{-1}$ B. A dose máxima estudada, $50 \mu\text{mol L}^{-1}$ B, resultou em 9% de redução no número de frutos produzidos. Já para a MFFR e MSFR, houve um ajuste ao modelo de raiz quadrada para MFFR e quadrático para MSFR, sendo os pontos de máxima de 592,5 e 62,2 g, para as doses estimadas de 31 e $35 \mu\text{mol L}^{-1}$ B, respectivamente.

Quanto ao diâmetro transversal equatorial dos frutos, observou-se que os frutos do primeiro cacho (DC1) apresentaram maior calibre, 29,7 mm, comparado com os frutos dos cachos dois (DC2) e três (DC3), que foram de 21,0 e 21,3 mm. Para os dois primeiros, os ajustes foram hiperbólicos, com valor máximo para a dose de $50 \mu\text{mol L}^{-1}$ B e para o último, o ajuste foi raiz quadrada, com ponto de máxima para a dose de $28 \mu\text{mol L}^{-1}$ B.

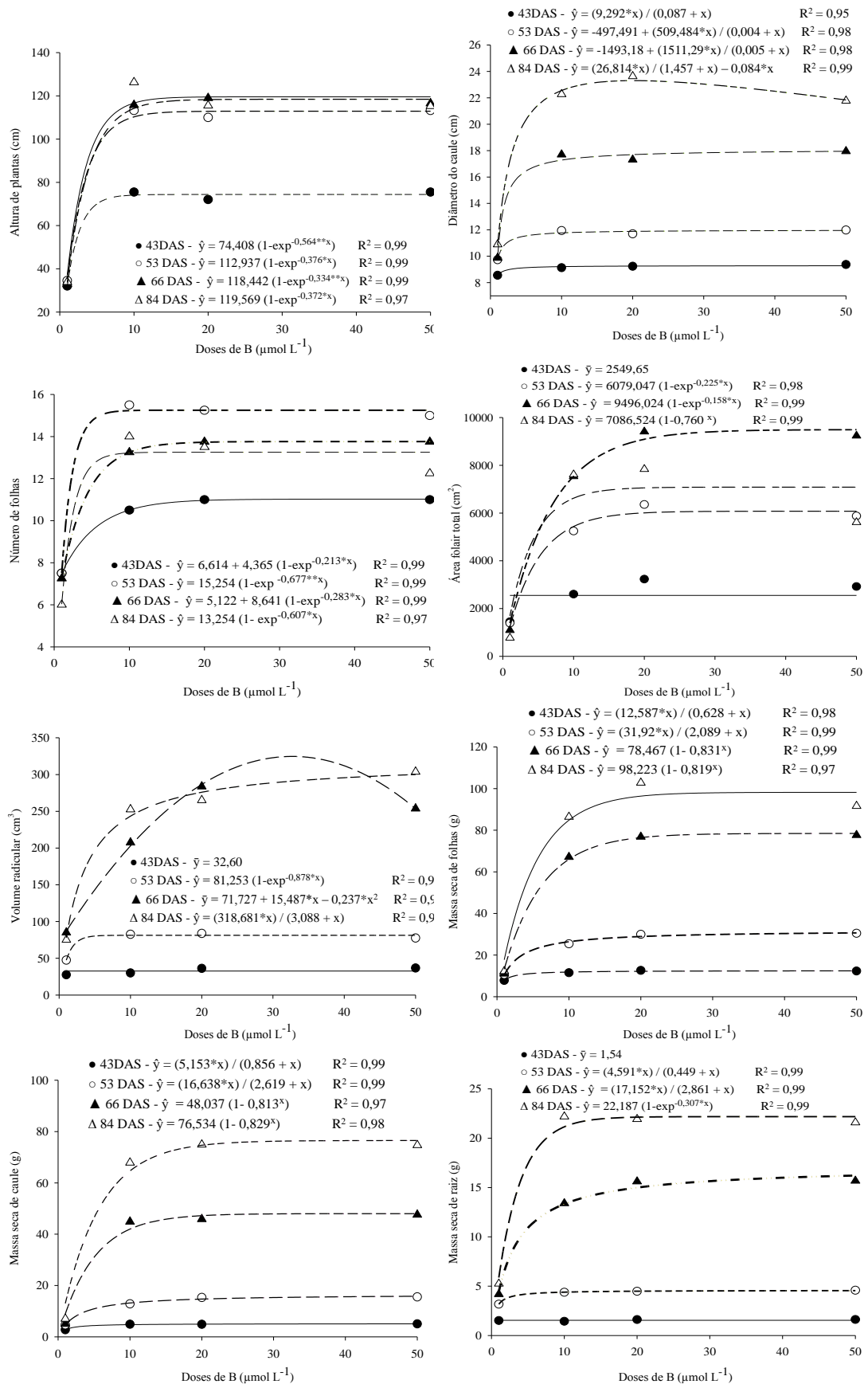


Figura 9. Altura de plantas, diâmetro do caule, número de folhas, área foliar, volume radicular e massas secas de folhas, caules e raízes de tomateiro cereja cv. Iracema, em distintas fases fenológicas, em função de doses de boro.

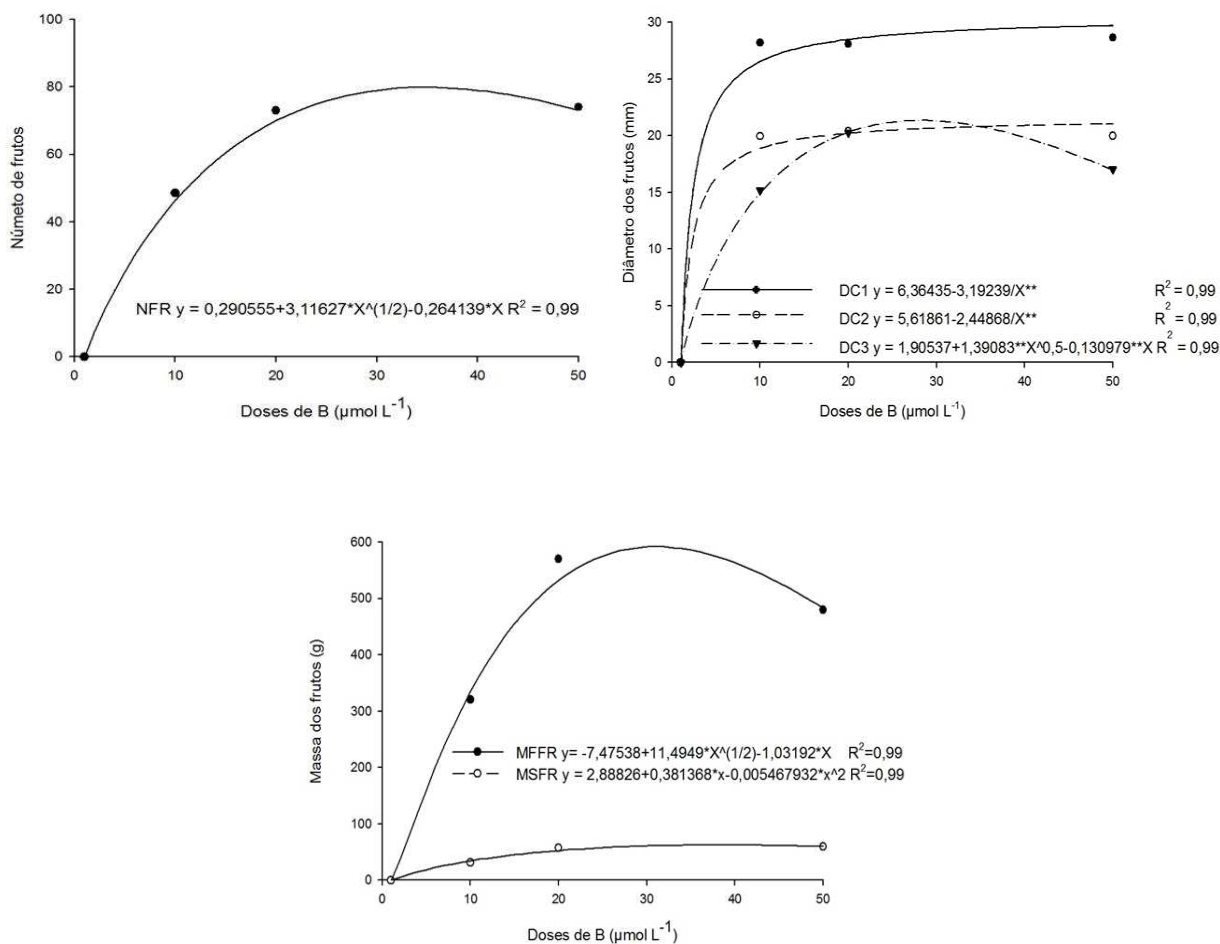


Figura 10. Número total, massa fresca e seca total de frutos produzidos por planta e diâmetro equatorial dos frutos dos cachos 1, 2 e 3 de tomateiro cereja cv. Iracema, em função das doses de boro.

3.4 Avaliação do estado nutricional dos tomateiros e alocação de nutrientes nos frutos

As doses de B aplicadas via SN no cultivo hidropônico de tomateiros tipo cereja cv. Iracema apresentaram efeito significativo e interativo com as fases do ciclo fenológico da cultura para a maioria dos elementos minerais analisados na folha índice (Figuras 11 e 12). O efeito de interação entre os fatores estudados somente não foi significativo para Zn, P, K e Mg em folha índice.

Devido à limitação ao crescimento das plantas sob a menor disponibilidade de B ($1 \mu\text{mol L}^{-1}$ B) houve, nessas plantas, maior concentração de grande parte dos nutrientes nos tecidos foliares, em comparação com as plantas sob os demais tratamentos.

3.4.1 Teores de nutrientes nos tecidos foliares do tomateiro

O teor de B na folha índice apresentou ajuste quadrático para as três primeiras fases avaliadas e um crescimento linear aos 84 DAS. O tratamento $1 \mu\text{mol L}^{-1}$ B resultou em menores teores de B em folha índice e, igualmente aos resultados do tratamento $10 \mu\text{mol L}^{-1}$

B, não apresentou diferença estatística entre as fases fenológicas avaliadas. O final da fase vegetativa e início de floração, aos 43 DAS, foi a fase com maior teor de B na folha índice, $96,6 \text{ mg kg}^{-1}$ B para uma dose estimada de $32 \mu\text{mol L}^{-1}$ B. Nas duas fases subsequentes, observou-se uma redução nesses teores, correspondendo a $72,8$ e $66,0 \text{ mg kg}^{-1}$ B aos 53 e 66 DAS, respectivamente, ambos para uma dose estimada de $27 \mu\text{mol L}^{-1}$ B e SN. Já ao final do ciclo fenológico, 84 DAS, houve um aumento linear crescente com as maiores doses de B experimentadas, alcançando-se o máximo de $94,8 \text{ mg kg}^{-1}$ B para o tratamento $50 \mu\text{mol L}^{-1}$ B (Figura 12).

Os ajustes obtidos para os teores de Zn, Cu, Mn e P foram similares, com os maiores valores registrados nas plantas sob o tratamento $1 \mu\text{mol L}^{-1}$ B, devido ao efeito de concentração pelo menor crescimento das plantas, que apresentaram menor produção de massa seca. Com o aumento das doses de B em solução nutritiva observou-se redução dos teores desses nutrientes na folha índice do tomateiro, de maneira pouco expressiva entre os tratamentos 10, 25 e $50 \mu\text{mol L}^{-1}$ B, em cada fase avaliada. Os teores estimados de Zn, Cu, Mn e P na folha índice do tomateiro variaram de $34,3$ a $68,7 \text{ mg kg}^{-1}$ Zn; $9,5$ a $28,2 \text{ mg kg}^{-1}$ Cu; $120,6$ a $440,4 \text{ mg kg}^{-1}$ Mn e de $4,3$ a $8,2 \text{ g kg}^{-1}$ P. Para o Zn, os teores estimados para cada tratamento são estatisticamente iguais nas fases 43 e 53 DAS, bem como aqueles estimados aos 66 e 84 DAS. Para os teores de Cu, Mn e P há diferença estatística entre as fases fenológicas, ainda que as diferenças sejam pequenas (Figuras 11 e 12).

Os teores de Fe e Ca apresentaram tendência à diminuição de seus valores na folha índice, a partir da fase inicial de desenvolvimento dos tomateiros (até os 66 DAS) e com posterior aumento na fase final de seu ciclo fenológico (84 DAS). Mas esse comportamento foi variável de acordo com os tratamentos de B, havendo diferentes ajustes para as fases em que se realizaram as avaliações. Somente houve igualdade entre os teores estimados de Fe, para cada tratamento, nas fases 43 e 53 DAS. Os teores de Fe em folha índice variaram de $59,0$ a $137,1 \text{ mg kg}^{-1}$, enquanto os teores de Ca nestes tecidos variaram de $30,3$ a $46,4 \text{ g kg}^{-1}$, ao longo do ciclo fenológico do tomateiro. Os maiores teores de Ca em folha foram observados nas plantas sob o tratamento $1 \mu\text{mol L}^{-1}$, com ligeira redução destes teores com o aumento das doses de B antes do final do ciclo da cultura, pois aos 84 DAS, não houve diferença significativa entre os tratamentos.

Os maiores teores foliares de Mg e S foram observados nas plantas deficientes em B, $1 \mu\text{mol L}^{-1}$, apresentando redução destes teores com as maiores doses de B antes da fase de 53 DAS para Mg e de 66 DAS para S, com posterior aumento. Estes foram os únicos nutrientes que apresentaram um ajuste quadrático para a fase 84 DAS, em que a máxima de Mg foi de aproximadamente $6,9 \text{ g kg}^{-1}$, com o tratamento $50 \mu\text{mol L}^{-1}$ B, e o máximo de S foi de

aproximadamente $7,4 \text{ g kg}^{-1}$, com o tratamento $1 \mu\text{mol L}^{-1}$ B. Enquanto que os mínimos destes nutrientes foram de $4,4 \text{ g kg}^{-1}$ Mg, aos 53 DAS com o tratamento $50 \mu\text{mol L}^{-1}$ B, e de $3,6 \text{ g kg}^{-1}$ S, aos 84 DAS com uma dose estimada de $26 \mu\text{mol L}^{-1}$ B.

Os teores de K e N-total diminuíram com o avanço dos estádios fenológicos do tomateiro, demonstrando maior efeito do tempo do que dos tratamentos estudados. Somente houve igualdade estatística para os teores de K, dentro de cada tratamento, nas fases 53 e 66 DAS e a diferença mais nítida entre os tratamentos está no efeito de as plantas deficientes em B, $1 \mu\text{mol L}^{-1}$, terem apresentado os menores teores foliares de K, ao contrário dos demais nutrientes. Os teores de K e N-total em folha índice variaram de $43,9$ a $62,7 \text{ g kg}^{-1}$ K e de $24,5$ a $46,2 \text{ g kg}^{-1}$ N-total.

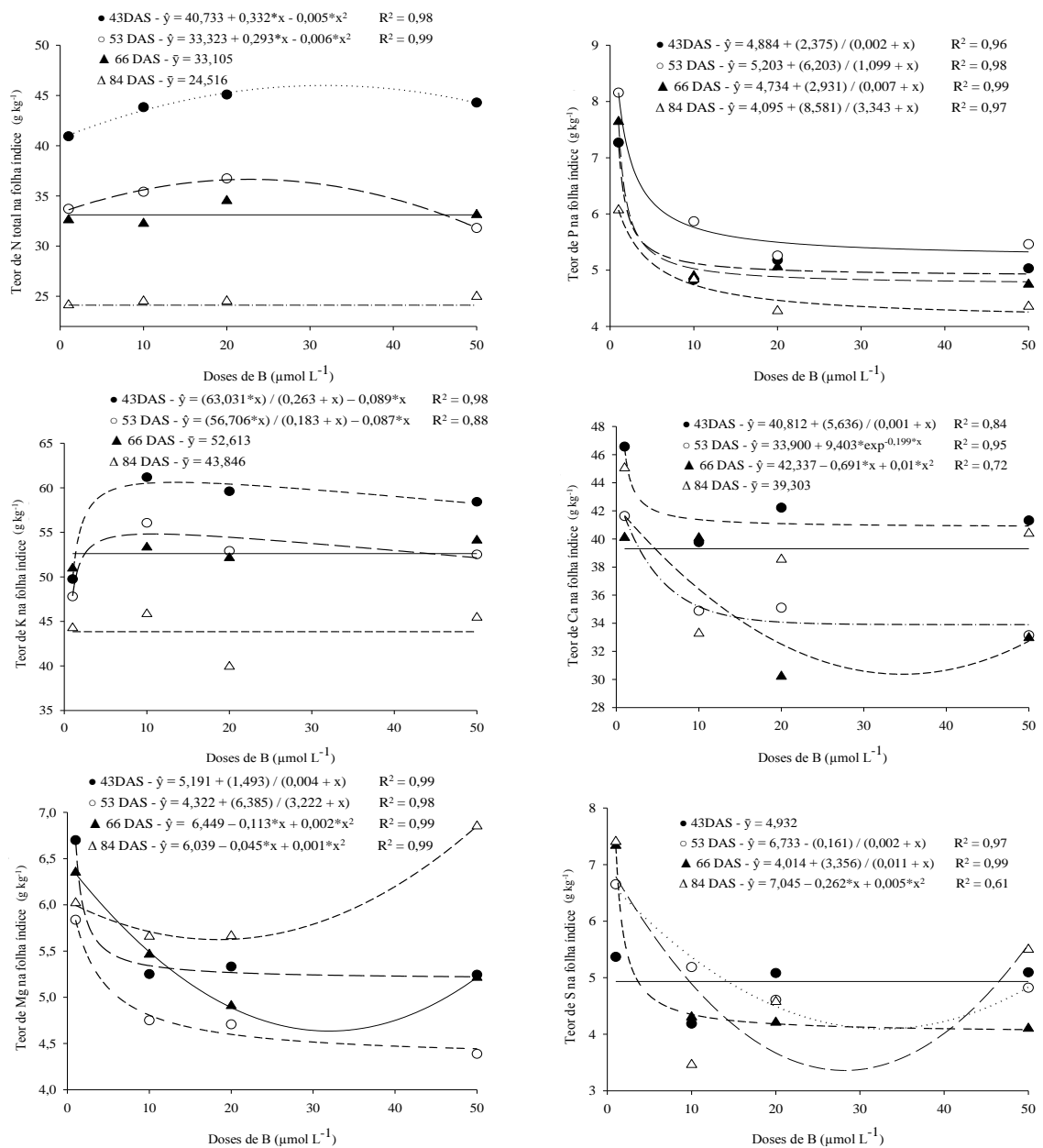


Figura 11. Teores de N-total, P, K, Ca, Mg e S na folha índice de tomateiro cereja cv. Iracema, em distintas fases fenológicas, em função de doses de boro.

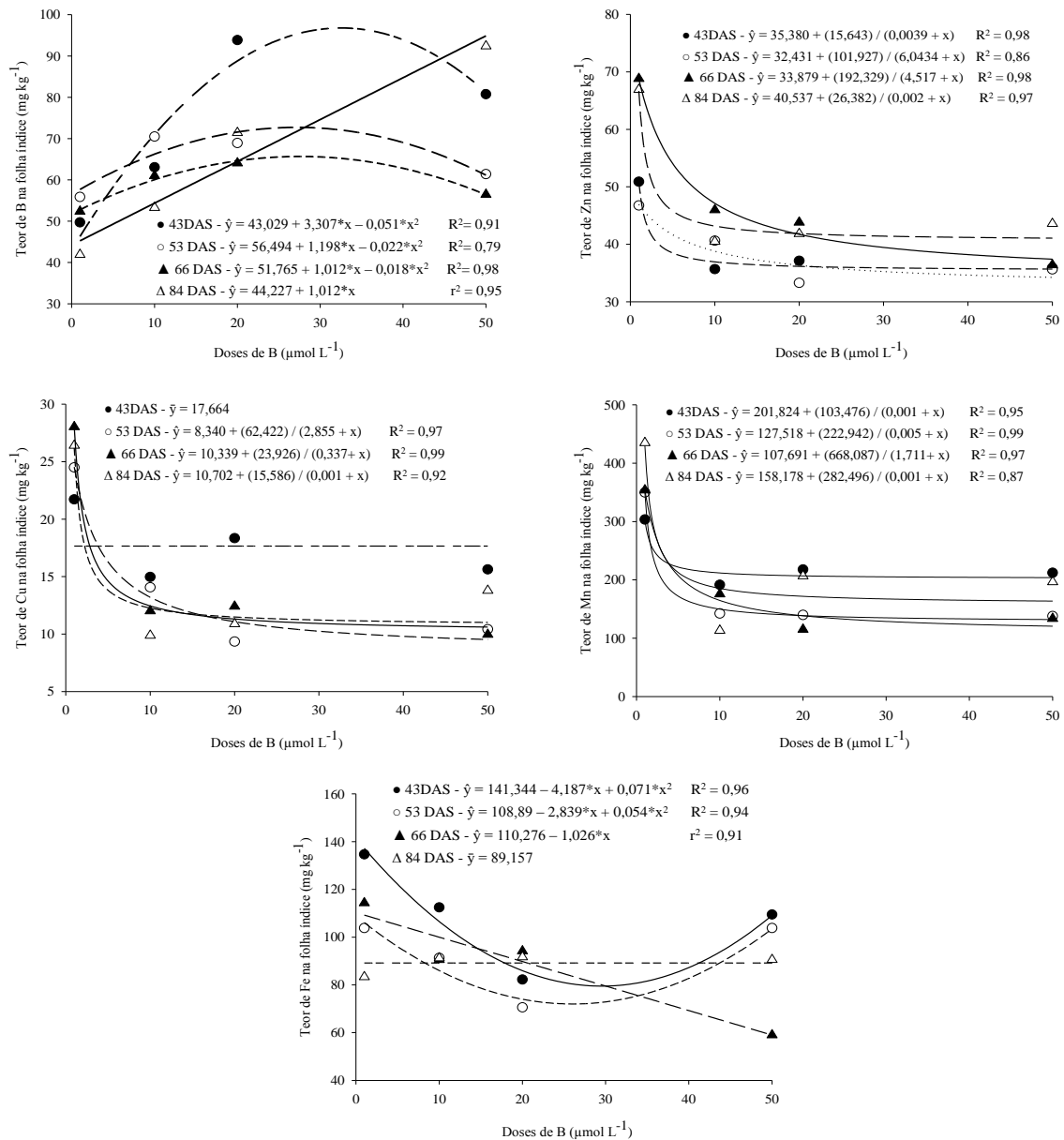


Figura 12. Teores de B, Zn, Cu, Mn e Fe na folha índice de tomateiro cereja cv. Iracema, em distintas fases fenológicas, em função de doses de boro.

3.4.2 Teores de nutrientes nos frutos

Os frutos do cacho 1 apresentaram maiores teores de nutrientes que os frutos do cacho 3, exceto para os teores de B e Ca, que não apresentaram significância para nenhuma das fontes de variação. Mesmo assim, salienta-se que o aumento das doses de B em SN promoveu um aumento de 73% no teor deste micronutriente nos frutos do cacho 1, enquanto que no cacho 3 este aumento foi de apenas 6% (Tabela 3).

As doses de B só afetaram as concentrações de Fe e S, que foram maiores tanto no cacho 1 quanto no cacho 3 quando se empregaram 25 e 50 $\mu\text{mol L}^{-1}$ B, respectivamente, na SN.

Os teores de Mn e N-total foram maiores em frutos do cacho 1. A dose de 10 $\mu\text{mol L}^{-1}$ B, foi aquela que promoveu menor teor de Mn nos frutos do cacho 3.

Tabela 3. Média dos teores de nutrientes dos frutos inteiros dos cachos 1 e 3 de tomateiros grupo cereja cv. Iracema cultivado com doses crescentes de B

B $\mu\text{mol L}^{-1}$	N-total	P	K	Ca [#]	Mg	S	B [#]	Zn	Cu	Mn	Fe
	g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹				
Cacho 01 A											
10	35,48aA	7,90	48,38	14,98	2,33	1,74b	17,88	58,05	11,56	19,49aA	106,46
25	33,40aA	7,36	47,92	14,71	2,41	1,76b	21,88	61,51	10,74	18,20aA	109,93 ⁺
50	35,65aA	8,03	52,12	15,04	2,43	2,59a ⁺	31,01	58,33	10,88	20,53aA	93,64
Cacho 03 B											
10	25,01aB	5,69	38,00	15,38	2,09	1,30b	25,42	51,13	8,12	11,49bB	82,80
25	28,57aB	5,93	42,40	14,92	2,44	1,52b	26,75	48,08	8,00	15,25abB	99,03 ⁺
50	26,05aB	5,72	39,91	14,86	2,18	2,46a ⁺	27,06	48,68	6,85	12,15abB	69,86

[#] Não apresenta diferença significativa entre os tratamentos nem entre os cachos 1 e 3. Letras minúsculas iguais, dentro de cada cacho, indicam igualdade estatística entre as médias. Letras maiúsculas iguais, para cada dose entre os cachos 1 e 3, indicam igualdade estatística entre as médias. + Dose de B que promoveu maior teor do nutriente (S e Fe) nos frutos do respectivo cacho.

Na tabela 4 apresentam-se os teores de nutrientes das partes dos frutos dos cachos 1 e 3. A partir dessas concentrações foram calculadas suas razões entre as porções proximal (P) e distal (D) dos frutos. Tais valores foram expressos em porcentagem e são apresentados na Tabela 5.

Tabela 4. Média dos teores de nutrientes das porções proximal (P) e distal (D) dos frutos de tomateiro cereja cv. Iracema cultivados com doses crescentes de B

B $\mu\text{mol L}^{-1}$	Porção do fruto	N-total	P	K	Ca	Mg	S	B	Zn	Cu	Mn	Fe
		Frutos Cacho 1							Frutos Cacho 3			
10	P	36,16	7,59	48,18	15,33	2,28	1,73	23,92	51,50	10,13	19,83	61,09
	D	34,80	8,21	48,57	14,63	2,38	1,76	11,84	64,59	13,00	19,16	151,83
25	P	32,67	7,17	46,60	14,85	2,41	1,86	21,34	55,22	9,66	18,66	117,44
	D	34,13	7,55	49,23	14,57	2,41	1,67	22,42	67,79	11,83	17,75	102,42
50	P	34,75	7,25	50,54	15,48	2,27	2,45	30,73	47,00	8,09	19,72	73,53
	D	36,55	8,80	53,70	14,59	2,59	2,74	31,28	69,67	13,66	21,33	113,75
10	P	25,13	5,42	38,33	15,44	1,96	1,30	27,22	45,63	7,41	12,28	59,25
	D	24,90	5,96	37,67	15,31	2,23	1,31	23,63	56,63	8,83	10,71	106,34
25	P	28,68	5,57	43,98	14,91	2,49	1,47	29,00	43,46	6,42	16,00	112,31
	D	28,46	6,30	40,83	14,92	2,39	1,57	24,49	52,71	9,58	14,50	85,75
50	P	26,59	5,37	38,72	15,10	2,16	2,49	23,08	44,41	5,13	12,00	49,29
	D	25,50	6,07	41,09	14,61	2,21	2,43	31,03	52,96	8,58	12,29	90,44

As razões D/P de B e Fe se alteraram com as doses de B da SN. Para o B, as doses 25 e 50 $\mu\text{mol L}^{-1}$ B, no cacho 1 e a dose de 50 $\mu\text{mol L}^{-1}$ B, no cacho 3, promoveram as melhores razões D/P, indicando que a maior disponibilidade de B via SN, favorece maiores aportes desse micronutriente na parte distal dos frutos. Para os frutos do cacho 1 das plantas sob o tratamento 10 $\mu\text{mol L}^{-1}$ B a razão D/P dos teores de B foi 50% menor que as dos demais tratamentos e 62% menor que a dos frutos do cacho 3, das plantas sob o tratamento 50 $\mu\text{mol L}^{-1}$ B.

Tabela 5. Razão entre os teores de nutrientes das porções proximal (P) e distal (D) dos frutos de tomateiro cereja cv. Iracema cultivados com doses crescentes de B

	N-Total ⁺	P	K	Ca	Mg	S	B	Zn	Cu	Mn	Fe	
B $\mu\text{mol L}^{-1}$	DP (%) Cacho 01											
	10	96 b	109	102	95	105	97	50 b	127	112	96	218 a
	25	105 a	114	106	98	107	98	102 a	131	122	97	80 b
	50	105 a	121	106	94	114	111	101 a	159	157	112	162 a
	DP (%) Cacho 03											
10	97 b	101	94	97	115	114	87 b	124	108	89	189 a	
25	100 a	105	96	101	101	112	92 b	121	146	69	90 b	
50	97 b	117	106	96	102	95	141 a	120	168	96	185 a	

⁺ N-total, único nutriente que apresentou interação significativa, com maior teor no cacho 1

Quanto à razão D/P dos frutos para os teores de Fe, observou-se que os frutos, de ambos os cachos, das plantas cultivadas com o tratamento de 25 $\mu\text{mol L}^{-1}$ B em SN apresentaram o menor aporte de Fe à parte distal dos frutos, comparativamente aos demais tratamentos, que promoveram aumento de 62 a 118% nesse aporte.

Quanto à razão dos teores de Ca entre as partes distal e proximal dos frutos, somente houve equivalência para os frutos obtidos do cacho 3 de plantas cultivadas sob o tratamento 25 $\mu\text{mol L}^{-1}$ B. Os demais frutos, provenientes de ambos cachos, apresentaram menor concentração de Ca, de 2 a 6%, na porção distal do fruto que na porção proximal.

Para N-total a razão DP foi maior nos frutos do cacho 1, principalmente com as doses 25 e 50 $\mu\text{mol L}^{-1}$ B.

Verifica-se que os tratamentos não promoveram efeitos significativos para a diferenciação dos teores de nutrientes, exceto de B, Fe e N-total, entre as partes distais e proximais dos frutos tanto do cacho 1 quanto do cacho 3, indicando que as diferentes doses de B aplicadas via SN não influenciaram nos parâmetros de mobilidade e concentração destes elementos nos frutos.

4. DISCUSSÃO

4.1 Condições climáticas e soma térmica acumulada

Durante a realização do experimento, a temperatura média dentro da casa de vegetação ficou dentro da faixa considerada tolerável para o desenvolvimento da cultura do tomateiro, que é de 10 a 35°C (Alvarenga, 2004). A elevação da temperatura acima dos 35°C (dia) e 25°C (noite) pode acarretar o abortamento de flores, redução da taxa fotossintética e da fixação dos frutos, além de maior ocorrência de distúrbios fisiológicos (Alvarenga, 2004; Lopes & Stripari, 1998 apud Palaretti et. al., 2012).

Como o experimento foi desenvolvido durante um período de subida de temperatura, final da primavera e início do verão, as temperaturas registradas estiveram acima da faixa indicada ideal para cada estágio fenológico (Filgueira, 2008), especialmente a partir do final da fase de floração, aos 52 DAS, com temperaturas máximas continuamente acima dos 34-35°C, com picos de até 40°C. Isso provocou um encurtamento do ciclo fenológico do tomateiro, dada a relação direta da fisiologia da planta com a temperatura ambiente e com a intensidade, qualidade e duração da radiação solar incidente (Andriolo, 2000; Selina & Bledsoe, 2002; Taiz & Zeiger, 2013). A temperatura e a radiação solar são os fatores climáticos que mais afetam o crescimento, desenvolvimento e a produtividade do tomateiro (Hoogenboom, 2000).

A temperatura do ar é um fator crucial para as mudanças dos estágios de desenvolvimento das plantas, com grande influência na distribuição dos fotoassimilados. Temperaturas altas, $\approx 25^{\circ}\text{C}$, favorecem o crescimento foliar e a expansão do ápice, enquanto que temperaturas baixas, $\approx 15^{\circ}\text{C}$, os desfavorecem (Hermes et al., 2001).

Para completar cada etapa do ciclo fenológico, as plantas necessitam o acúmulo de certa quantidade de calor, denominada comumente pelo índice de graus-dia (GD), que representa a estimativa da soma térmica, da energia disponível diariamente para as plantas, acima da temperatura basal mínima para o seu desenvolvimento (Ometto, 1981). Um potencial para os cultivos olerícolas, mas que ainda dispõe de poucas informações para a cultura do tomateiro (Palaretti et. al., 2012).

Zamban (2014), em experimentação com dois híbridos de tomate tipo italiano (Netuno e San Vito) cultivados a campo, durante a primavera/verão, registrou radiação média incidente de $17,6 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, que variou de 0,14 a $32,40 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. Mesmo que em uma localização geográfica diferente, esses valores são muito próximos daqueles registrados no presente experimento. Enquanto que em termos de temperatura, esta autora registrou uma maior amplitude entre as temperaturas mínimas e máximas, de 8,5 a $32,9^{\circ}\text{C}$, o que conferiu uma temperatura média de $21,0^{\circ}\text{C}$, bastante abaixo dos $28,5^{\circ}\text{C}$ registrados no presente

experimento, dentro de casa de vegetação. Sob as condições mencionadas, esta autora obteve ciclos fenológicos de 117 e 121 dias e somas térmicas acumuladas de 1749,4 e 1717,50 GD para os híbridos Netuno e San Vito, respectivamente. No mínimo, um mês mais longo e com mais 86 GD que o observado no presente trabalho. Essa mesma autora, durante o verão-outono (temperatura média de 20,5°C e absolutas de 9,6 e 32,3°C) obtiveram ciclos de 104 e 111 dias e soma térmicas acumuladas de 1532,6 e 1495,2 GD para os híbridos Netuno e San Vito, respectivamente.

Por outro lado, Palaretti et al. (2012), trabalhando com tomateiro à campo, durante a estação de inverno-primavera registraram temperatura média de 21,2°C, com valores absolutos de 9,9 e 35,2°C, dentro dos limites basais considerados para o tomateiro (Silva & Giordano, 2000), registraram ciclo de 148 dias e acúmulo de 1603,25 (Arnold, 1960) e 1603,16 (Ometto, 1981) GD. Um plantio com 64 dias a mais que esse experimento e com menor soma térmica acumulada. Esses autores mencionam que o método de Ometto (1981) para o cálculo da soma térmica deve ser empregado quando se observar maior amplitude térmica por proporcionar menor variabilidade nos resultados, o que se observa no presente trabalho.

Segundo Marouelli, Silva & Silva (2012), o tempo desde o transplante até início da colheita, varia de 95 a 125 dias. Ao contrario do registrado por esses autores, os tomateiros utilizados no presente trabalho apresentaram um ciclo fenológico muito curto com elevada soma térmica. Com isso, verifica-se que as diferentes durações dos ciclos fenológicos dos tomateiros, não assumem efeito linear com a temperatura (Kinet & Peet, 2006), indicando que outras variáveis podem influenciar o ciclo da cultura, como o manejo nutricional (como as deficiências nutricionais) e a condução das plantas (como o cultivo de tomateiro dentro de casa de vegetação, em sistema hidropônico e com somente uma haste e três cachos produtivos).

As plantas deficientes em B ($1 \mu\text{mol L}^{-1}$ B), apresentaram senescência fisiológica ainda mais precoce que as plantas sob os demais tratamentos, sem produção significativa de frutos.

4.2 Sintomas macroscópicos e avaliação morfoanatômica do tomateiro em resposta às doses de B

Além da regulação dos estádios fenológicos, o desequilíbrio dos fatores envolvidos no cultivo do tomateiro podem causar alguns distúrbios fisiológicos, anatômicos e morfológicos que comprometem o crescimento, a produção e a qualidade dos frutos produzidos (Alvarenga, 2004; Marschner, 2012; Taiz & Zeiger, 2013).

Os sintomas de deficiência de B observados são os tipicamente relatados na literatura, como a limitação ao crescimento com a redução das zonas de crescimento aéreo e radicular; diminuição da superfície foliar, com folhas jovens cloróticas, deformadas, quebradiças, espessas e pequenas; abortamento floral; fendas nos ramos, pecíolos e má formação dos frutos (Smit & Combrink, 2004; Epstein & Blom, 2006; Dechen & Nachtigall, 2007; Hänsch & Mendel, 2009).

Os sintomas de B mais observados em cultivos comerciais de tomate são a clorose internerval dos folíolos das folhas jovens, que permanecem pequenas, deformadas e enroladas para dentro. Além da promoção ao nanismo, morte da gema apical e, se a deficiência for persistente à fase reprodutiva, os frutos podem apresentar manchas marrons e alto índice de lóculo aberto (Prezotti, 2010).

Seja em condição de deficiência ou excesso de nutrientes, as plantas podem externar sintomas macroscópicos característicos que podem auxiliar no diagnóstico do seu estado nutricional (Marschner, 2012), os quais também podem ser avaliados através de análise química do material vegetal (Malavolta, 2006; Fontes, 2011) ou por análises anatômicas e ultraestruturais (Maia, 2012). Entretanto, pode não haver externalização destes sintomas e as plantas sofrerem deficiência ou toxidez oculta, as quais causam igualmente limitação ao crescimento, desenvolvimento e produção das plantas (Fontes, 2011).

A evidência dos sintomas macroscópicos caracteriza o último estágio de uma série de eventos metabólicos. A insuficiência de disponibilidade de minerais para as plantas causam, primariamente, alterações no metabolismo e nos aspectos morfológicos e anatômicos (Silveira et al., 2002) para depois manifestar os sintomas visualmente, quando já comprometem mais pronunciadamente a produtividade e qualidade dos frutos (Fontes, 2011; White & Broadley, 2003). Tais alterações podem influenciar na espessura e forma de determinados tecidos, comprometendo a funcionalidade dos mesmos, interferindo na translocação de nutrientes, e consequentemente, no desenvolvimento da planta (Marschner, 2012).

De longe os problemas com deficiência de B nos cultivos brasileiros de tomate são mais comuns que os casos de toxicidade, sendo um problema devido às alterações anatômicas promovidas pela deficiência desse nutriente que acarreta os problemas a nível produtivo.

Com o presente experimento, observou-se diferenciação precoce das células e tecidos da região meristemática e de alongamento celular radicular e resultaram em raízes mais espessas e encurtadas, da mesma maneira que Jezler (2015) observou em cafeeiros sob deficiência de B. Segundo Taiz & Zeiger (2013), as alterações morfoanatômicas ocorridas nos ápices radiculares sob deficiência de B seriam um efeito secundário, relacionado ao desbalanço de

auxinas (AIA), a partir dos danos primariamente ocorridos no meristema apical do caule, região sintetizadora de fitorreguladores.

As plantas expostas ao tratamento $1 \mu\text{mol L}^{-1}$ B, apresentaram as principais alterações morfoanatômicas nos tecidos foliares, caulinares e radiculares. Alterações estas acentuadas na última fase avaliada, 84 DAS, por caracterizar a permanente deficiência de B na SN.

Hajiboland, Farhanghi & Aliasgharpour (2012), em estudo morfoanatômico dos tecidos foliares, caulinares e radiculares das culturas aipo, repolho, nabo e tabaco observaram que a deficiência de B provocou importante limitação ao desenvolvimento dos primórdios foliares e dos feixes vasculares, com redução dos elementos traqueais, desorganização do floema, hipertrofia do parênquima foliar (tabaco) e afinamento das paredes celulares do colênquima do caule (aipo).

Maia (2012) em um trabalho em que analisou a relação da nutrição boratada do tomateiro cereja cv. Sindy com as alterações morfoanatômicas, aos 60 DAS, observou que as alterações anatômicas mais drásticas, tanto nas folhas como no caule, foram causadas pela omissão de B, com a desorganização dos feixes vasculares, em que o xilema e o floema apresentaram composição celular atípica e câmbio vascular com atividade atípica. Também se observou que as plantas sob essa deficiência apresentaram inibição da elongação e da divisão celular, com necrose da região apical.

A deficiência de B causa desorganização na deposição de pectatos e formação da lamela média. Causando também rápido endurecimento da parede celular, complexando-se com carboidratos, controlando a disposição das microfibrilas de xiloglucanos e de celulose, o que não permite o aumento normal no volume da célula, limitando a divisão e diferenciação celular, primariamente nos tecidos meristemáticos (Malavolta, Vitti & Oliveira, 1989; Mengel & Kirkby, 2001; Ryden et al., 2003; Huang & Snapp, 2004; Camacho-Cristóbal et al., 2008; Liu et al., 2014). O alongamento da planta é também prejudicado pelo fato de o B ter efeito direto na formação de vasos xilemáticos.

Os tomateiros cultivados sob os tratamentos 10 , 25 e $50 \mu\text{mol L}^{-1}$ B não apresentaram alterações morfoanatômicas destacáveis, nem mesmo quanto à maior dose de B utilizada, o dobro do comumente utilizado no cultivo do tomateiro.

Algumas espécies podem ser mais tolerantes que outras ao excesso de B e haver atraso no aparecimento dos sintomas característicos de toxidez, dependendo da demanda pelo nutriente (Huang et al., 2014). Com isso, o tomateiro cereja cv. Iracema apresentou tolerância a doses de até $50 \mu\text{mol L}^{-1}$ B em solução nutritiva em sistema hidropônico de duas fases.

4.3 Avaliações alométricas e de produção de frutos

As plantas deficientes em B ($1 \mu\text{mol L}^{-1}$ B), sofreram limitações ao crescimento como a morte do meristema apical e apresentaram os menores valores para todas as variáveis biométricas avaliadas, um efeito estritamente relacionado à falta de B suficiente no meio de cultivo, enquanto que as plantas sob os demais tratamentos apresentaram limitação ao crescimento estabelecido pela poda apical realizada aos 48 DAS.

Jezler (2015) sugeriu que a deficiência de B em cafeeiro inicialmente afetou os primórdios foliares em expansão e que somente com uma deficiência severa continuada haveria o colapso do meristema apical. No presente caso, o tomateiro com seu metabolismo acelerado (Kinet & Peet, 2006), sob o tratamento mais restritivo na disponibilidade de boro, $1 \mu\text{mol L}^{-1}$ B, foi muito rapidamente afetado pela deficiência, tendo perdido a dominância apical e restringido muito rigorosamente o crescimento e o desenvolvimento das plantas. Houve uma redução em mais de 60% na expressão dos atributos de crescimento comparativamente às plantas cultivadas com disponibilidade adequada de B em solução SN. Da mesma forma Choi et al. (2015) verificaram uma redução de 60% no acúmulo de massa seca total dos tomateiros sob deficiência de boro.

Em experimentação com tomate tipo cereja cv. Sindy, Maia (2012) observou drástica redução do crescimento de plantas cultivadas sob a omissão de B, tendo as plantas apresentado atrofiamento (aspecto roseta), folhas mais espessas e necrosadas, ausência de estruturas reprodutivas e redução de aproximadamente 90% no volume radicular e no acúmulo de biomassa seca total, em comparação com as plantas bem nutridas.

Choi et al. (2015), verificaram aumento no diâmetro das raízes de tomateiros deficientes em B, com limitação global no crescimento, menor produção de biomassa total e não emissão de estruturas reprodutivas. Aos 36 dias após a aplicação dos tratamentos, uma redução de 17% no número de folhas e 40% na altura de tomateiros cultivados sob omissão de B, comparado com plantas cultivadas com dose de $46 \mu\text{mol L}^{-1}$ B. Tendo as folhas jovens apresentado enrolamento para dentro e as mais velhas se mostrarem rígidas e muito frágeis.

Autores constataram que a forte limitação ao crescimento e as alterações morfológicas do sistema radicular são os sintomas mais evidentes da deficiência de B (Mei et al., 2011; Wimmer & Eichert, 2013). No presente experimento, se observou que as plantas deficientes em B apresentaram menor volume radicular (Figura 5) e encurtamento das raízes (Figuras 6 e 8), ou seja, a diminuição da distância entre o ápice radicular e o aparecimento da primeira raiz lateral. A diminuição da superfície radicular em contato a SN prejudica a absorção de água e nutrientes pela planta.

4.4 Avaliação do estado nutricional dos tomateiros e alocação de nutrientes nos frutos

O fato de o B ser absorvido e transportado via fluxo transpiratório e não apresentar translocação na planta faz com que as maiores concentrações deste micronutriente ocorram nas folhas completamente expandidas, com maior taxa transpiratória, frente aos tecidos caulinares, radiculares e dos frutos (Hu & Brown, 1997; Reid, 2014).

O B não está distribuído homogeneamente nas plantas. É mais acumulado em áreas marginais das folhas e entre nervuras, sendo translocado com a corrente de transpiração. A concentração de B dentro da mesma folha pode variar em 100 vezes e a análise foliar, então, representa somente um valor médio. O teor também aumenta com a idade da planta e em casos extremos, o B pode atingir níveis tóxicos em folhas velhas e estar deficiente em pontos de crescimento na mesma planta. A taxa de transpiração afeta grandemente o transporte de B dentro das folhas e sua distribuição (Oertli, 1994, Saure, 2001).

Os teores de B mais elevados na folha índice na primeira avaliação, 43 DAS, podem ser atribuídos ao fato de as plantas estarem em um estágio fenológico de crescimento exponencial, sem a competição como drenos deste micronutriente entre as folhas e os frutos, com grande capacidade responsiva, o que pode ser verificado com um ajuste quadrático para o aumento da disponibilidade de B até uma dose estimada de $32 \mu\text{mol L}^{-1}$ B. Comportamento parecido nas duas fases subsequentes, mas que demonstram que o B disponível às plantas passa a sofrer competição com as estruturas reprodutivas ao longo do seu desenvolvimento, alterando a concentração de B nos seus tecidos. Já as plantas cultivadas com as doses mais limitantes de B (1 e $10 \mu\text{mol L}^{-1}$ B), apresentaram menores diferenças entre os teores de B na folha índice ao longo do ciclo fenológico do tomateiro, demonstrando que quanto maior a deficiência de B, maiores são as limitações anatômicas e morfofisiológicas às quais estão as plantas submetidas, como defendido por Wimmer & Eichert, 2013.

Devido à limitação ao crescimento e desenvolvimento dos tomateiros sob deficiência de B, $1 \mu\text{mol L}^{-1}$ B, as plantas sob esse tratamento apresentaram as maiores concentrações nutricionais na folha índice, devido ao efeito de concentração, exceto para os teores de B, que era o elemento limitante na SN, e K, que foram menores nessas plantas.

Com a análise química dos tecidos dos tomateiros certificou-se que o estado nutricional das plantas submetidas às doses de B estava majoritariamente dentro da faixa de teores de nutrientes considerada adequada para o tomateiro: 30-100; 30-100; 5-15; 50-250; 100-300 mg kg^{-1} , respectivamente para B, Zn, Cu, Mn e Fe e 40-60; 4-8; 30-50; 14-40; 4-8; 3-10 g kg^{-1} , respectivamente para N, P, K, Ca, Mg e S (Prezotti, 2010). Somente ressalta-se que os teores de N-total atingiu nível crítico - igualmente observado por Fernandes, Martinez & Fontes

(2002), os teores de Cu e Mn apresentaram valores acima dessa faixa com o tratamento 1 $\mu\text{mol L}^{-1}$ B e os teores de K e Ca foram altos nas suas primeiras fases fenológicas.

Segundo Malavolta, Vitti & Oliveira (1989) a faixa do teor foliar de B considerado adequado para o tomateiro, é de 50 a 70 mg kg^{-1} e que teores menores que 15 mg kg^{-1} , são considerados manifestação de deficiência nutricional, o que não foi verificado nem mesmo para o tratamento mais restritivo desse micronutriente em SN.

As maiores concentrações de Ca foliares foram observadas nas plantas com maior deficiência de B (1 $\mu\text{mol L}^{-1}$ B), além de um efeito de concentração também pode ser devido a uma possível relação antagônica entre B e Ca, em que a deficiência de B poderia facilitar a abertura de canais de Ca^{2+} e aumentar a concentração deste cátion no citoplasma, podendo o Ca apresentar um papel intermediário na via de transdução desencadeada com a deficiência de B e aliviar essa deficiência (Quiles-Pando et al., 2013; González-Fontes et al., 2014). A concentração e a disponibilidade de B ou Ca influenciam a distribuição bem como as exigências um do outro (Ramón, Carpena & Gárate 1990; Redondo-Nieto, et al., 2003).

A relação B- Ca^{2+} tem sido tema de estudos cada vez mais detalhados na nutrição vegetal, pois ambos os nutrientes possuem funções parecidas nas plantas e sua interação contribui para a regulação de alguns processos fisiológicos, como a formação das paredes celulares (Turan, Taban & Taban, 2009; González-Fontes et al., 2014).

A deficiência de B pode causar danos à formação do xilema, o que ocasiona um sistema vascular pouco apto para o transporte de Ca (Ho et al, 1993.) Esse fato foi observado pelos autores Yamauchi, Hara e Sonida (1986) e Oliveira et al. (2009) na cultura do tomateiro, em que a deficiência de B inibiu o transporte de Ca e induziu a alterações no metabolismo desse macronutriente na parede celular, de modo que houve uma deficiência de Ca indireta nas plantas, com ocorrência de BER.

Isso não foi observado no presente experimento, já que sob deficiência de B se verificou que os teores de Ca, tanto na folha índice como nos frutos se mantiveram dentro dos teores considerados satisfatórios. Jezler (2015) constatou maiores concentrações de P, Ca, S e Mn em folhas de cafeeiro deficientes de B na SN.

Com o aumento na disponibilidade de B na SN, tratamentos 10, 25 e 50 $\mu\text{mol L}^{-1}$ B, observou-se que não houve expressivo efeito entre estes tratamentos para os teores nutricionais na folha índice do tomateiro, exceto nos teores de B, Ca e Mg na última fase fenológica, 84 DAS. Enquanto que nos frutos, o aumento na disponibilidade de B promoveu maiores teores nutricionais nos frutos do cacho 1 e houve efeito significativo para o aumento dos teores somente de B, Fe e N-total na porção distal dos frutos, tanto do cacho 1 quanto do cacho 3.

De modo que os frutos do primeiro cacho apresentaram melhor estado nutricional, demonstrando que são drenos fortes, que competem mais por assimilados com os frutos recém-formados e alocados mais distante das raízes e são menos susceptíveis a apresentarem efeitos de deficiência nutricionais (Smit & Combrink, 2004). O tamanho do fruto e a produtividade são dependentes da produção e distribuição de assimilados, que são controlados pelas atividades da fonte, do dreno e pela vascularização dos tecidos vegetais (Kinet & Peet, 2006).

Smit e Combrink (2004), observaram aumento nos teores de B, Ca, Mg e Zn, e redução nos teores de Mn, em folha índice de tomateiros com o aumento na disponibilidade de B em SN (2, 15, 30 e 60 $\mu\text{mol L}^{-1}$ B), em sistema hidropônico de três fases. Enquanto que não verificaram efeito desses tratamentos na concentração foliar de N e P. Estes autores observaram que a dose ideal de B para a cultivar estudada por eles foi de 15 $\mu\text{mol L}^{-1}$ B, enquanto que se utiliza dose de 30 $\mu\text{mol L}^{-1}$ B no cultivo de tomates na Holanda.

Quanto ao efeito do tempo entre os estádios fenológicos do tomateiro, observou-se que houve aumento constante somente nos teores foliares de B, enquanto que os teores de K e N-total apresentaram diminuição com o avanço do ciclo fenológico, com possível redistribuição aos frutos – dada a alta mobilidade destes nutrientes na planta. Enquanto os teores de Zn, Cu, Mn e P não apresentaram grande diferença entre as fases fenológicas e os teores de Fe, Ca, Mg e S apresentaram redução até a fase de frutificação (66 DAS), com posterior aumento, à fase de colheita (84 DAS).

5. CONCLUSÕES

- O ciclo fenológico do tomateiro cereja cv. Iracema foi de 84 dias e acúmulo de soma térmica de 1631,11 graus-dias;

- A concentração de $1 \mu\text{mol L}^{-1}$ B em solução nutritiva provocou grande limitação ao crescimento e desenvolvimento do tomateiro, desde a fase vegetativa, com agravamento nas fases subsequentes, impossibilitando a produção de frutos;

- A dose estimada de $35 \mu\text{mol L}^{-1}$ B resulta em melhor crescimento e produção do tomateiro cv. Iracema, com teores foliares de nutrientes na ordem de 24,5; 4,3; 43,8; 39,3; 5,7 e 4,0 g kg^{-1} respectivamente de N-total, P, K, Ca, Mg e S e 79,6; 41,3; 11,1; 166,2 e 89,2 mg kg^{-1} respectivamente de B, Zn, Cu, Mn e Fe;

- O aumento na disponibilidade de B promove maiores teores de nutrientes nos frutos e maior aporte de B, Fe e N-total na porção distal dos frutos do cacho 1;

- As alterações anatômicas mais conspícuas nos tecidos foliares, caulinares e radiculares do tomateiro são causadas pela deficiência de B ($1 \mu\text{mol L}^{-1}$ B). Na região da nervura principal de folhas a epiderme está parcialmente colapsada e com menor desenvolvimento do colênquima. Na região internervural o tecido vascular se desenvolveu mais, principalmente o floema e o limbo se tornou mais espesso. As maiores alterações no caule ocorrem na região da faixa cambial e dos tecidos vasculares secundários, com menor quantidade de tecidos vasculares secundários produzidos, ausência de elementos de vaso típicos do xilema secundário e menor espessamento das paredes celulares das fibras externas ao floema. As raízes se tornaram mais curtas, com menor distância entre o ápice radicular e o a primeira raiz lateral.

CAPÍTULO III

EFECTOS DE LA APLICACIÓN FOLIAR DE BORO EN LA CULTURA DEL TOMATERO

1. INTRODUCCIÓN

El boro (B) es uno de los micronutrientes que más afectan los cultivos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), principalmente por la ocurrencia de su deficiencia, que depende de múltiples factores, como de las condiciones climáticas, características físicas y químicas del suelo, las especies agrícolas cultivadas (genotipos) (Shorrocks, 1997) y del manejo fitotécnico/nutricional de los cultivos (aporte de fuentes de B vía radicular o foliar, cultivos sin suelo, ajustes del pH del suelo o disolución nutritiva, etc.).

Fisiológicamente, el B presenta muy baja movilidad floemática en el tomatillo y tiene, principalmente, funciones estructurales relacionadas a la síntesis y regulación de paredes y membranas celulares (Santos et al., 1990; Cakmak & Römheld, 1997; Bolaños et al., 2004). La cultura del tomatillo presenta alta y constante exigencia en este micronutriente, debido a su rápido desarrollo, por presentar estructuras vegetativas y productivas concomitantemente y por la reducida tasa transpiratoria de los meristemas y frutos, frente a las hojas (Kinet & Peet, 2006).

La deficiencia de B resulta en daños estructurales en las plantas, con la pérdida de la integridad y estabilidad de las membranas y paredes celulares, causando, inicialmente, reducción del crecimiento de los tejidos meristemáticos (extremidades de raíces y ramos) que, en seguida, se tornan desorganizados y mueren (Mengel & Kirkby, 2001), restringiendo el crecimiento global de las plantas (Liu et al., 2014).

Además, la deficiencia de B promueve grande limitación al crecimiento del tubo polínico y en la germinación de los granos de polen, lo que perjudica enormemente la producción y la calidad de los frutos (Brown et al., 2002; Salam et al., 2010; Choi et al., 2015). Por tanto, suplir adecuadamente las exigencias nutricionales del tomatillo por el B es muy necesario.

El suministro de B a los cultivos se puede realizar a través de las semillas, del suelo o disolución nutritiva y por aplicaciones foliares, siendo esta última técnica utilizada tanto para corregir deficiencias como para complementar o suplementar la fertilización vía radicular, en todo el ciclo de la cultura o durante el estadio productivo de las plantas (Marschner, 2012; Prado et al., 2013).

Para la eficacia de la fertilización foliar con B al tomatillo, se hace necesario un mejor conocimiento sobre los aspectos básicos sobre la nutrición de la cultura, como la identificación del estadio de desarrollo ideal para efectuar la aplicación; las mejores

concentraciones y fuentes de B a utilizar; y el tiempo de absorción y su movilidad en la planta, ya que, los pocos estudios hasta ahora realizados sobre la nutrición foliar boratera del tomatero no son concluyentes (Davis et al., 2003; Prado et al., 2013).

El ácido bórico y el bórax son las fuentes de B más comúnmente empleadas en la nutrición mineral de las culturas. Ambos poseen gran solubilidad y, en general, son fácilmente absorbibles, pero hay que averiguar cuál de ellos sería más eficiente en suministrar B vía foliar al tomatero y si habría mejor efecto con la utilización de un tensoactivo constituido por polioles (alcoholes con múltiples grupos hidroxila) y productos de hidrólisis de almidón, de muy baja toxicidad, bien como experimentar, con y sin el tensoactivo, los efectos de la aplicación foliar de B-etanolamina, un compuesto con enlace covalente con el B, que presenta propiedades mejoradoras en la absorción foliar.

Aunque no se haya verificado que el B presente redistribución en el floema en el tomatero, se estima que el ion B pueda formar complejos con los polioles del tensoactivo y posiblemente, además de su absorción, mejorar su translocación en las plantas

Eso implica en un estudio para el ajuste fino en la nutrición de B en la cultura del tomate, con el cual se planteó este trabajo con el objetivo de evaluar el efecto de aplicaciones foliares de fuentes de B (ácido bórico, bórax y B-etanolamina) con o sin tensoactivo poliol sobre el desarrollo de tomatero tipo *cherry*, a lo largo de su ciclo fenológico.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1 Material vegetal y condiciones de cultivo

El ensayo fue desarrollado en el invernadero del Departamento de Química Agrícola y Bromatología de la Universidad Autónoma de Madrid/UAM, Madrid, España, durante la primavera del año 2015.

Los plántones de tomate (*Solanum lycopersicum* L. var. Tangerino F1) tipo *cherry* producidos en bandeja de polipropileno con sustrato comercial adquiridas de un vivero especializado, fueron seleccionados, tuvieron el sustrato lavado en agua corriente y trasplantados al sistema hidropónico.

El sistema hidropónico utilizado fue compuesto por tiestos plásticos de 15L con disolución nutritiva (DN) estática aireada, cubiertas con placas de poliestireno expandido, que sirvieron de soporte para el cultivo de cuatro plantas por tiesto, que fueron tutoradas con cuerdas de nylon y con una sola rama.

El pH de la DN fue mantenido entre 6,0-6,5 y el volumen de los tiestos fue mantenido diariamente con agua destilada. Hubo un control periódico de la conductividad eléctrica (CE), limitando la depleción hasta un 30% de la CE inicial con el reemplazo proporcional de nos

nutrientes absorbidos por las plantas, excepto el B, que fue repuesto de acuerdo con la depleción de este verificada por medio de lectura periódica de alícuotas de la disolución nutritiva por el método de la azometina H. El reemplazo de la disolución nutritiva, se realizó a cada 15 días.

El invernadero donde se llevó a cabo el experimento era totalmente cubierto por cristal y poseía recursos para mantener, y que registraban, las condiciones ambientales internas más o menos controladas dentro de lo considerado ideal para el crecimiento y desarrollo del tomatero, que es de 20 a 25°C durante el día y de 11 a 18°C por la noche y humedad relativa de 50 a 60% (Filgueira, 2008) (Figuras 1 y 2).

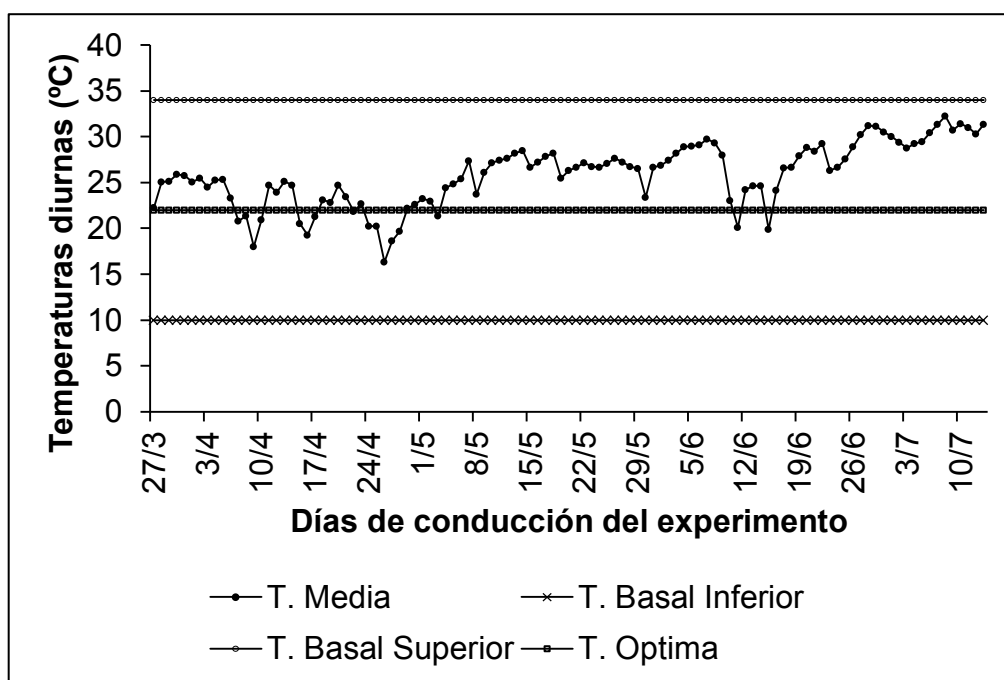


Figura 1. Temperatura media diurna (6 a 18h) del aire en el interior del invernadero a lo largo del ciclo del tomatero cultivado bajo diferentes suministros de B.

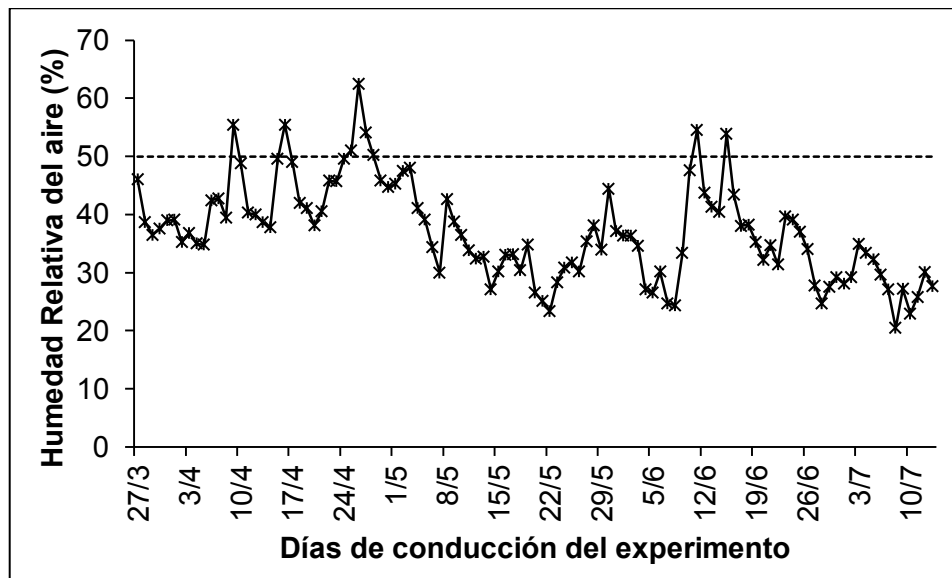


Figura 2. Porcentual medio de la humedad relativa diaria del aire (6 a 18h) en el interior del invernadero a lo largo del ciclo del tomatillo cultivado bajo diferentes suministros de B.

2.2 Diseño experimental y los tratamientos

El ensayo fue un factorial $3 \times 2 + 2$: tres fuentes de boro utilizadas en las aplicaciones foliares [ácido bórico (H_3BO_3), Bórax ($Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$) y B-etanolamina] con o sin uso de tensoactivo, más dos tratamientos adicionales – referentes a la cantidad suministrada de B vía DN - que correspondieron a los testigos/controles: un relativo positivo (Control+), que representó el suministro, vía DN, de la dosis de B comúnmente utilizada en el cultivo del tomatillo, y un testigo negativo, absoluto (Control-), que representó la deficiencia de B en la DN, ambos sin recibir cualquier aplicación foliar. En total hubo ocho tratamientos con cuatro repeticiones, o sea, 32 unidades experimentales (UE), con cuatro plantas cada una de ellas, sumando 128 plantas, organizadas en bloques completos al azar.

Los muestreos fueron hechos en distintos estadios fenológicos del tomatillo (Rocha, 2009): 1) *al final del Crecimiento Vegetativo*: con el surgimiento del primer racimo floral en 51% de las plantas; 2) *en el florecimiento e inicio de la fructificación*: cuando 51% de las plantas presentaron frutos cuajados; 3) *en la plena fructificación*: cuando 51% de las plantas presentaron frutos en inicio de maduración y 4) *en la cosecha*: cuando más de 52% de las plantas presentaron frutos maduros, en punto de cosecha. Así que los cuatro muestreos se llevaron a cabo a los 19, 32, 60 y 106 días después del trasplante (DDT).

Las plantas con uno a dos pares de hojas fueron trasplantadas para el sistema hidropónico con la DN estándar: 7,0; 0,1; 2,2; 2,5; 1,0; 1,0 mmol L⁻¹ de NO₃⁻¹; H₂PO₄⁻; K⁺; Ca²⁺; Mg²⁺; SO₄²⁻ y 20,0; 20,0; 2,0; 1,0; 0,5; 0,2; 0,2; 0,2 μmol L⁻¹ de Fe-HBED; B; Mn; Zn; Cu; Mo; Co; Ni. Adicionalmente, debido al bajo suministro del P en la DN para evitar su

interacción química con otros elementos, se añadió 0,05 mmol de H_2PO_4^- por tiesto tres veces por semana hasta la fase de floración y dos veces en las fases siguientes.

Diez días DDT, fase de desarrollo vegetativo de las plantas, se cambió la DN con las mismas concentraciones nutricionales que la anterior, difiriéndose solamente las dosis de B, utilizando el ácido bórico como fuente de este. Cuatro de las UE continuaron recibiendo la dosis de B comúnmente utilizadas en el cultivo del tomate, $25,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ (Control+B), mientras las demás fueron sometidas a una subdosis de $5,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ B, permaneciendo bajo esas condiciones por nueve días.

A los 19 DDT se realizó el primer muestreo y al día siguiente hubo la primera aplicación foliar de los tratamientos. En este caso, no se efectuó pulverización foliar en las plantas del Control+B ni en otras cuatro UE con subdosis de B en la DN, $5,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ B, que constituyeron el testigo negativo (Control-B) del experimento.

Los tratamientos fueron constituidos por la pulverización foliar de $0,08 \text{ g L}^{-1}$ B utilizando tres fuentes de este micronutriente [ácido bórico (17,5% B); bórax (11,0% B) e B-etanolamina (10,8% B)], con o sin tensoactivo (Tabla 1). Las aplicaciones foliares de B fueron realizadas quincenalmente, a los 20, 34, 48, 62, 76 y 90 DDT, siendo aplicados 3,0; 8,0; 12,5; 15,6; 16,5; 17,4 ml de solución por planta, respectivamente.

Para garantizar buena cobertura y aporte correcto del B vía foliar, la cantidad de solución pulverizada fue determinada por medio de un test, con agua destilada, realizado en el día anterior a la aplicación del tratamiento. Las aplicaciones fueron realizadas en las primeras horas de mañana, con un pulverizador manual presurizado, cubriendo toda la planta. Para evitar la contaminación de la DN y de las plantas vecinas con la deriva, se tomó el cuidado de proteger la parte superior de las macetas y aislándose las plantas con cortinas plásticas durante las pulverizaciones.

Tabla 1. Tratamientos referentes a las pulverizaciones foliares con las combinaciones de fuentes de B y tensoactivo poliol a las plantas de tomate cultivadas con baja disponibilidad de B en disolución nutritiva

Tratamiento	Disolución Nutritiva		Aplicación Foliar de B	
	Boro $\mu\text{mol L}^{-1}$	Fuentes de Boro*	Tensoactivo(Adob)	
1 Control +	20,0	-	-	
2 Control -	5,0	-	-	
3	5,0	H_3BO_3	0,0375%	
4	5,0	H_3BO_3	-	
5	5,0	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	0,0375%	
6	5,0	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	-	
7	5,0	B-Etanolamina (Adob)	0,0375%	
8	5,0	B-Etanolamina (Adob)	-	

* Ácido bórico ($\text{H}_3\text{BO}_3 = 17,5\% \text{ B}$); Bórax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O} = 11,0\% \text{ B}$); B-Etanolamina (Adob) = 10,8% B.

El tensoactivo utilizado en este ensayo, hace parte de una nueva gama de productos mejoradores de la fertilización foliar formulados por la empresa ADOB. Es elaborado a base de sustancias naturales, formadas por polioles y productos de hidrólisis de almidón, de muy baja toxicidad. Además supone la mejora de las propiedades hidrotrópicas, la humectabilidad, la reducción de la tensión superficial y miscibilidad de los productos fertilizantes a los que puede asociarse.

2.3 Evaluaciones

2.3.1 Suma térmica

Con los datos registrados de temperaturas máxima y mínima diarias en el interior del invernadero, se calculó la suma térmica o acúmulo de grados-día (GD °C) del tomatero, de acuerdo con la ecuación propuesta por Arnold (1960): $GD = (T_{med} - T_b)$, en que: T_{med} es la temperatura media diaria del aire (°C) en el interior del invernadero, calculada por la media aritmética de las temperaturas máxima y mínima diaria (6 a 18 horas) y T_b es la temperatura basal, en que el proceso metabólico del tomatero es mínimo, que corresponde a los 10°C (Silva & Giordano, 2000).

Los grados-día (GD) fueron calculados para cada fase fenológica del tomatero a partir del trasplante, como se identifica abajo, y que sumados revelan la suma térmica acumulada para la cultura bajo las condiciones del cultivo: Fase I: Inicial – de la siembra al trasplanto (no calculado por la adquisición de plántones ya listos); Fase II: Desarrollo vegetativo – del trasplanto al florecimiento; Fase III: Florecimiento – desde el inicio del florecimiento al inicio de la fructificación; Fase IV: Fructificación – desde el inicio de la fructificación al inicio de la maduración y Fase V: Maduración – desde el inicio de la maduración al final de la cosecha.

2.3.2 Índice SPAD

Con un medidor de intensidad del color verde de clorofilas (Minolta SPAD-502, Osaka, Japón) se tomaron medidas del índice SPAD de todas las hojas completamente desarrolladas, previamente, en las mañanas que tuvieron las aplicaciones foliares y cinco días después.

2.3.3 Medidas biométricas y análisis nutricionales

En cada uno de los cuatro muestreos realizados, se evaluaron los siguientes parámetros en los tomateros:

Número de hojas totalmente desarrolladas (NHO); Altura de las plantas (APL); Diámetro del tallo a la altura del colete (DTA); Volumen de raíces (VRA), por el método de desplace de columna de agua en probeta; Masa fresca de las hojas, tallos y raíces; Número de

flores emitidas (NFL) y abortadas (NFA). Por ocasión del último muestreo también se registraron: Número total de frutos cosechados (NFRU) y Número de frutos con *Blossom end rot* (NFRBER).

Tras la tomada de las medidas biométricas, las hojas, tallos, raíces y frutos fueron lavadas con una solución al 0,1 mol L⁻¹ HCl y 0,02% Tween80 por 10 s (Álvarez-Fernandez, Perez-Sanz & Lucena, 2001) y aclaradas dos veces con agua destilada. A continuación, las muestras fueron secadas en estufa a 65°C hasta la pérdida total de la humedad, resultando en las masas secas totales de hojas (MSH), tallo (MST), raíces (MSR) y frutos (MSFRU). Sumándose las MSH, MST Y MSR se obtuvo la masa seca total de cada planta (MSTT).

En seguida, las muestras de hojas, raíces y frutos fueron triturados (a 20 mesh) y digeridas para determinación de la concentración de los nutrientes B y Ca en estos tejidos.

Las muestras secas y trituradas (0,25 g) fueron mineralizadas por 4 horas en horno mufla (2 horas con subida gradual de la temperatura de 100 hasta 480°C, más 2 horas a 480°C) para oxidar la materia orgánica y posteriormente se realizó una digestión ácida de las cenizas (3ml agua milliQ, 1ml HCl suprapur 1:1, 80°C, 30 min), seguida de filtración y envase a 25 ml. Con ese extracto, tras añadir la correspondiente disolución eliminadora de interferencias (DEI), se realizó la determinación de las concentraciones de Ca por espectrofotometría de absorción atómica (PerkinElmer AAnalysis 800; Perkin Elmer, Waltham, MA, USA). Para la determinación analítica del B se utilizó el método colorimétrico de la azometina-H con medición espectrofotométrica a $\lambda = 410$ nm (espectrofotómetro V650, Jasco).

Con los resultados obtenidos de la masa seca de los diferentes órganos/tejidos de las plantas y sus respectivas concentraciones de Ca y B, se calcularon los respectivos acúmulos de estos nutrientes.

2.3.4 Calidad de Frutos

Para los análisis cualitativos de los frutos, se los cosecharon cuando presentaban color rojo, estadio 2 de maduración de acuerdo con la clasificación de Castricini et al. (2002). Se utilizaron los 6 primeros frutos del racimo para las siguientes evaluaciones (IAL, 2008):

- ✓ Diámetro (DIA): medida transversal a altura media (mm);
- ✓ Firmeza o Dureza (DUR): con penetrómetro se midió la unidad de fuerza que marca el dinamómetro al perforar el fruto (kgf);
- ✓ pH inicial (pHi): medida directa del pH de la pulpa de los frutos recién cosechados y triturados;

- ✓ Acidez Total Titulable (ATT), calculada como g% de ácido cítrico mediante la siguiente ecuación:

$$ATT = [((0,0064 \times V) / G) \times 100]$$

En que: ATT= acidez en g% de ácido cítrico; V= volumen de NaOH 0,1 M, en cm³; G= cantidad de muestra en g;

- ✓ Sólidos Solubles Totales (SST): Se determinaron con refractómetro de mano, utilizando el zumo fresco sin diluir de las muestras. Se los expresó en °Brix, con las debidas correcciones por la temperatura ambiente en el momento del análisis;
- ✓ Con los datos de SST y ATT, se calculó el Índice de madurez (IM) a través de la relación SST/ATT.

2.4 Análisis estadísticos

Los datos de cada muestreo fueron analizados separadamente para eliminar el efecto adicional del tiempo y así analizar cada estadio fenológico del tomatero separadamente.

Se realizó el análisis de varianza (ANOVA) de cada variable, en factorial 3x2 + 2 tratamientos adicionales balanceados, delineados en cuatro bloques al azar. Los testes de comparación de medias realizados fueron: Tukey e Dunnett ($\alpha = 5\%$), siendo que el teste de Dunnett fue realizado para los dos tratamientos adicionales como testigos de comparación con los demás (Control+B, 20 $\mu\text{mol L}^{-1}$ B en DN y Control-B, 5 $\mu\text{mol L}^{-1}$ B en DN). Se utilizó el *Software Assistat*.

Para verificar el efecto inmediato de las aplicaciones foliares de los tratamientos sobre el Índice SPAD, se realizaron las razones entre las lecturas realizadas 5 días después de las aplicaciones foliares por las lecturas previas a dichas aplicaciones.

Para los datos del último estadio fenológico del tomatero evaluado, 106 DDT, se calcularon los porcentajes de cada variable de cada tratamiento frente al Control+B, a través de la siguiente ecuación: $[(X \times 100) / \text{Control+B}) - 100]\%$.

3. RESULTADOS

3.1 Condiciones ambientales del invernadero y suma térmica acumulada

La temperatura media registrada a lo largo de la conducción del experimento estuvo entre 16 y 32°C, en los diferentes estadios fenológicos del tomatero (Figura 1). Al principio con menor variabilidad y más alrededor de la temperatura considerada óptima para el tomatero (22°C) con posterior elevación, a partir del principio del estadio de fructificación. En la fase final, solamente hubo una bajada de temperatura en la semana del 09 al 16/06, pero

que no ha atingido niveles bajos desfavorables al metabolismo de la cultura. Tampoco se ha registrado temperatura media igual o mayor que el límite basal superior considerado (34°C).

La humedad relativa del aire (UR) estuvo mayoritariamente por debajo de los 50% (Figura 2), con comportamiento inversamente proporcional a la subida o bajada de la temperatura. Los valores extremos registrados fueron de 20 y 62%, siendo que a partir de la subida de las temperaturas la UR estuvo entre los 20 y 40%.

El ciclo fenológico del tomatero cultivado bajo invernadero, en sistema hidropónico con diferentes suministros de B tuvo duración de 106 días y suma térmica acumulada de 1729 GD, del trasplanto a la maduración/cosecha (Tabla 2).

El estadio más corto fue el que transcurrió del inicio de la floración hasta el cuaje de los frutos, y que llevó 14 días y acumuló 159,95 GD, mientras que el estadio que empezó en la fase inicial del desarrollo y fue hasta el florecimiento llevó 18 días, con el acúmulo de 248,03 GD.

Después de cuaje de los frutos, las plantas necesitaron un acúmulo de 439,17 GD a lo largo de 28 días, para presentar los primeros frutos completamente desarrollados, con el tamaño y formato definitivos. A partir de entonces, con la secuencia del llenado, engorde de los demás frutos y maduración al punto de cosecha se pasaron 46 días, con acúmulo de 881,85 GD.

Tabla 2. Duración en días de los estadios fenológicos del tomatero y sus respectivas sumas térmicas acumuladas, en grados-días (GD °C)

Fase Fenológica	Descripción	Días	GD
F1 - Inicial	Siembra - Trasplanto	-	-
F2 - Desarrollo vegetativo	Trasplanto - Florecimiento	18	248,03
F3 - Florecimiento	Floreacimiento - Fructificación	14	159,95
F4 - Fructificación	Fructificación - Maduración	28	439,17
F5 - Maduración	Maduración - Cosecha	46	881,85
	Total	106	1729,00

3.2 Índice SPAD

El índice SPAD de los tomateros cultivados bajo diferentes suministros de B presentó valores crecientes con el desarrollo de las plantas, exceptuándose aquellas referentes al testigo absoluto (Control-B), que presentó reducción de este índice a partir del 39 DDT (Figura 3).

Hasta esa fecha (39 DDT), el índice SPAD fue estadísticamente igual entre todos los tratamientos aplicados (Tabla 3). El único factor que resultó en variaciones significativas del desarrollo del tomatero en este período fue el tensoactivo, para las mediciones realizadas a los 25 y 34 DDT, verificándose que los resultados de las aplicaciones sin utilización de este producto fueron estadísticamente mejores que cuando se lo utilizó con las fuentes de B.

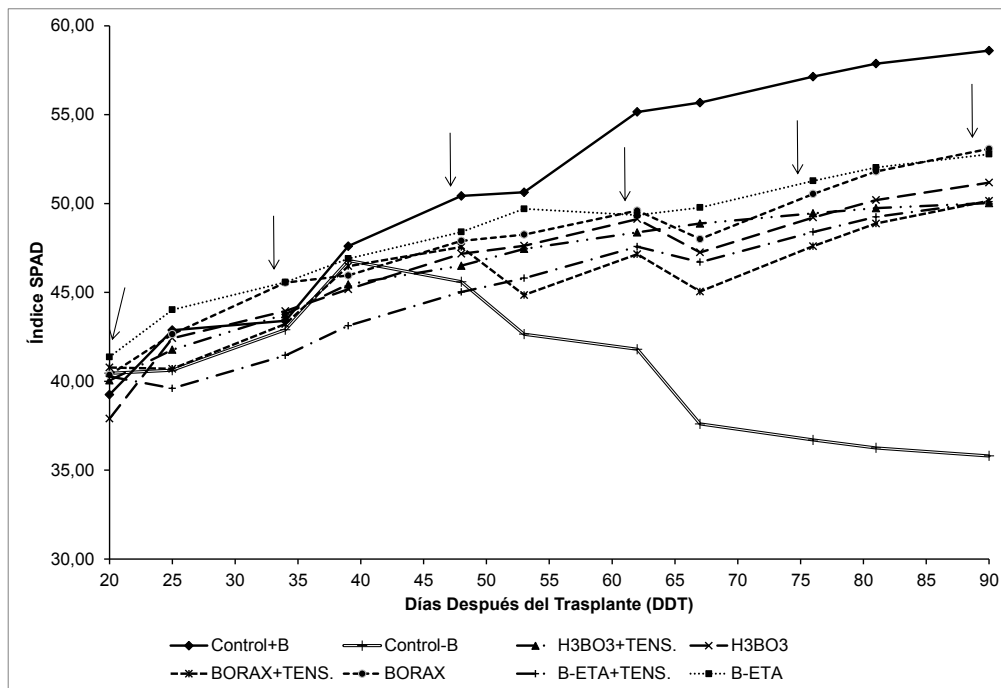


Figura 3. Valores medios del Índice SPAD de los tomates cultivados bajo diferentes suministros de B. Las flechas indican los días en que se realizaron las pulverizaciones de los tratamientos foliares.

Pasados los 48 DDT, se ha registrado diferencia estadística entre las variables mensuradas a causa de los tratamientos, especialmente por señalar que el testigo Control+B fue aquel que resultó en los mayores índices SPAD en todas las mediciones realizadas, mientras que en Control-B, todo al revés, resultó en reducción constante de este índice con el tiempo, demostrando que el suministro de una dosis adecuada de B a las plantas en los diez primeros días y en secuencia un suministro muy bajo de este micronutriente (Control-B: $5,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ B), fue suficiente para garantizar un índice SPAD estadísticamente igual a los demás tratamientos hasta el estadio de florecimiento de las plantas. Pero que, con la persistencia de la deficiencia de B, se verificó que paulatinamente las plantas presentaron reducción constante del índice de color verde y muerte celular, en las fases siguientes. A los 90 DDT, las plantas bajo el Control-B presentaban casi 39% menos índice SPAD que aquellas con adecuado suministro de B (Control+B) durante todo el ciclo fenológico. Por su parte, las plantas tratadas con aplicaciones foliares presentaron índice SPAD intermedios entre los dos testigos, con efectos positivos, siendo que los tratamientos con las fuentes de B-etanolaminina y Bórax sin el uso del tensoactivo fueron aquellos que mejor favorecieron el color verde de las hojas de las plantas, resultando en datos estadísticamente iguales a los del Control+B (Figura 3 y Tabla 3). Estos efectos fueron verificados a cada toma de medida del índice SPAD, especialmente a partir del 67 DDT y confirmados por la media aritmética de todas las medidas realizadas a lo largo del experimento (MDA) (Tabla3).

Observase en el grafico de ditribución de las medidas de índice SPAD (Figura 3) que los datos referentes a los tratamientos B-etanolaminina y Bórax sin el uso del tensoactivo, durante todo el ciclo fenológico de tomatero, fueron mayores que los demás tratamientos foliares y que los tratamientos que combinaban esas mismas fuentes de B con el tensoactivo, conllevaron a los peores resultados (con significancia estadistica a los 39 y 48 DDT para B-etanolamina+Tensoactivo y a los 53 y 67 DDT para Bórax+Tensoactivo), demostrando el efecto negativo del tensoactivo mexclado con estas fuentes de B en el caudal de pulverización (Tabla3).

El efecto inmediato de la aplicación foliar de los tratamientos, razón de los índices SPAD medidos cinco días después y previamente a las aplicaciones, no ha presentado diferencias estadísticas entre los tratamientos estudiados (Figura 4). Solamente se ha verificado que el tratamiento Bórax (sin tensoactivo) fue aquel que promovió menor aumento del Índice SPAD tras la segunda pulverización (Razón 39/34 DDT) y que tras la cuarta aplicación, (67/62 DDT), hubo significancia del Índice SPAD entre los tratamientos controles.

Aunque sin diferencia estadística con los demás tratamientos, se observa que el tratamiento con uso de B-etanolamina sin tensoactivo fue el único que presentó incremento del Índice SPAD tras todas las pulverizaciones realizadas y con menor variabilidad de este índice a partir de la segunda aplicación (Figura 4).

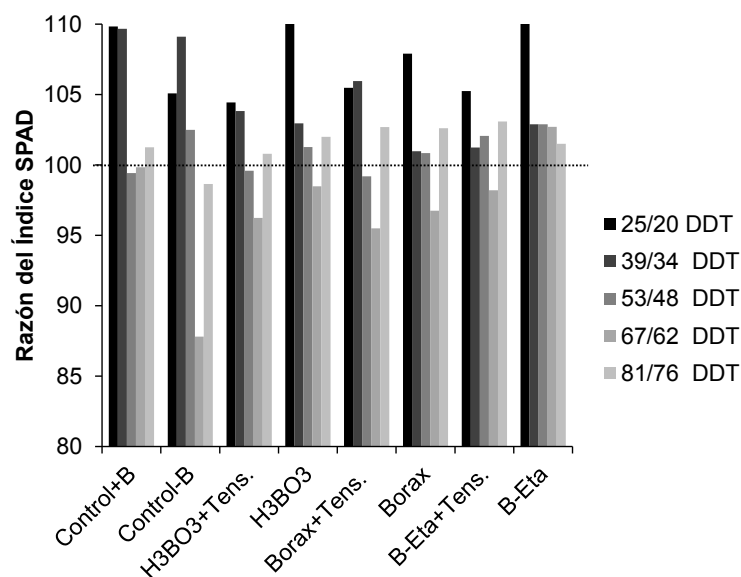


Figura 4. Porcentual de la razón de la lectura del Índice SPAD cinco días después de cada pulverización de los tratamientos foliares con la lectura previa a la aplicación.

Tabla 3. Medias del índice SPAD medidos previamente a la realización de las pulverizaciones foliares y cinco días después. DDT: Días después del Trasplanto; MDA: Media de todas lecturas del índice SPAD a lo largo del período experimental

Fuentes de B	20 DDT			25 DDT			34 DDT			39 DDT			48 DDT			53 DDT		
	Tensoactivo		Media	Tensoactivo		Media	Tensoactivo		Media	Tensoactivo		Media	Tensoactivo		Media	Tensoactivo		Media
	Con	Sin		Con	Sin		Con	Sin		Con	Sin		Con	Sin		Con	Sin	
Ácido Bórico	40,05	35,44	37,75	41,78	42,43	42,10	43,78	43,95	43,86	45,45	45,18	45,31	46,50*	47,18*	46,84	47,45	47,63	47,54
Bórax	40,78	40,36	40,57	40,70	42,65	41,68	43,23	45,55	44,39	46,48	45,95	46,21	47,55*	47,90*	47,73	44,85°	48,25	46,55
B-etanolamina	40,28	41,37	40,82	39,60	44,03	41,81	41,45	45,58	43,51	43,13°	46,90	45,01	45,02°	48,40*	46,71	45,80	49,70	47,70
Media	40,37	39,06		40,69 B	43,03 A		42,82 B	45,03 A		45,02	46,01		46,36	47,83		46,03 B	48,53 A	
20 µmol L ⁻¹ B DN	39,25			42,88			43,40			47,60			50,43*			50,13		
05 µmol L ⁻¹ B DN	40,45			40,63			42,90			46,80			42,65°			45,60		

Tabla 3. continuación...

Fuentes de B	62 DDT			67 DDT			76 DDT			81 DDT			90 DDT			MDA		
	Tensoactivo		Media	Tensoactivo		Media	Tensoactivo		Media	Tensoactivo		Media	Tensoactivo		Media	Tensoactivo		Media
	Con	Sin		Con	Sin		Con	Sin		Con	Sin		Con	Sin		Con	Sin	
Ácido Bórico	48,38*	49,13*	48,75	48,88*	47,25°*	48,06	49,45*	49,21*	49,33	49,74*	50,20°*	49,97	50,03°*	51,18*	50,60	46,50*	46,25°*	46,37
Bórax	47,15*	49,60°*	48,38	45,05°	48,00*	46,53	47,60°*	50,54*	49,07	48,88°*	51,81*	50,34	50,15°*	53,08*	51,61	45,68°*	47,61*	46,64
B-etanolamina	47,58°*	49,35°*	48,46	46,70°*	49,78*	48,24	48,40°*	51,28*	49,84	49,25°*	52,03*	50,64	50,10°*	52,78*	51,44	45,21°*	48,29*	46,75
Media	47,70	49,36		46,88	48,34		48,48	50,34		49,29	51,35		50,09	52,34		45,79 B	47,38 A	
20 µmol L ⁻¹ B DN	56,15*			55,68*			57,14*			57,87*			58,60*			50,83*		
05 µmol L ⁻¹ B DN	41,80°			37,60°			36,70°			36,25°			35,80°			40,65°		

Medias seguidas por misma letra mayúscula en misma línea y/o por misma letra minúscula en columna son estadísticamente iguales por el test de Tukey (α : 5 %).

* Test de Dunnnett bilateral con el tratamiento testigo absoluto (05 µmol L⁻¹ B en disolución nutritiva- DN) significativo (α : 5 %).

° Test de Dunnnett bilateral con el tratamiento testigo relativo (20 µmol L⁻¹ B en disolución nutritiva- DN) significativo (α : 5 %).

3.3 Medidas biométricas de producción y análisis nutricionales

3.3.1 Muestreo 1 – Fase Vegetativa

El efecto dañino de la deficiencia de B fue efectivamente visible y altamente significativo tan solo tras nueve días desde la adopción de los diferentes suministros de ese micronutriente en DN en el cultivo del tomatero, señalando su restricción al crecimiento y desarrollo de las plantas muy rápidamente, después de un período previo bajo condiciones nutricionales ideales (Tabla 4). Dicha deficiencia nutricional ha afectado principalmente a las raíces del tomatero, siendo que las plantas bajo el estricto suministro de B (Control-B: 5,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ B en DN) presentaron VRA y MSR, respectivamente 70% y 59% menores que los presentados por las plantas bien nutridas en B (Control+B: 20,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ B en DN). En este mismo sentido, la MSH presentó una reducción de 30% y MSTT de menos 32%, ya que no hubo diferencia estadística para MST entre los controles (Tabla 4).

También se observó que hubo reducción de aproximadamente 15% en el NHO y DTA en las plantas bajo el Control-B, pero sin diferencia para APL.

Tabla 4. Variables biométricas de los tomates cultivados bajo diferentes dosis de B en solución nutritiva a los 19 DAT. NHO: Número de Hojas; APL: Altura de la planta (cm); DTA: Diámetro del tallo (mm); VRA: Volumen Radicular (cm^3); MSH: Masa Seca de Hojas (g); MSR: Masa Seca de Raíces (g); MST: Masa Seca de Tallo (g); MSTT: Masa Seca Total de la planta (g)

Tratamientos	NHO	APL	DTA	VRA	MSH	MSR	MST	MSTT
Control+B	8,25 a	27,73 a	0,57 a	13,25 a	1,34 a	0,69 a	0,63 a	2,65 a
Control-B	7,00 b	26,58 a	0,48 b	4,00 b	0,94 b	0,28 b	0,58 a	1,79 b

Medias seguidas por misma letra minúsculas en columna son estadísticamente iguales por el test Tukey (α : 5 %).

En esa fase, 19 DDT, solamente las concentraciones foliares de B y Ca estaban reducidas en las plantas deficientes en B (Control-B). Las concentraciones radiculares estaban preservadas, pero, debido a la menor producción de masa seca por esas plantas, los contenidos de B y Ca fueron menores tanto en los tejidos foliares cuanto en los radiculares, en comparación con las plantas bien nutridas en B (Control+B) (Tabla 5).

Tabla 5. Concentraciones y acúmulos de boro (B) y calcio (Ca) en hojas (h) y raíces (r) de tomates cultivados bajo diferentes dosis de B en disolución nutritiva a los 19 DAT. c: concentración de B (mg/kg) y Ca (g/kg); a: acúmulo de B ($\mu\text{g/planta}$) y Ca (mg/planta)

Tratamientos	cBh	cBr	aBh	aBr	cCah	cCar	aCah	aCar
Control+B	45,15 a	28,03 a	59,42 a	16,18 a	32,86 a	4,88 a	41,79 a	3,13 a
Control-B	35,89 b	30,81 a	35,23 b	8,19 b	29,43 b	4,98 a	27,58 b	1,34 b

Medias seguidas por misma letra minúsculas en columna son estadísticamente iguales por el test Tukey (α : 5 %).

Las concentraciones de B y Ca en las hojas fueron, respectivamente, 20 y 10% menores en las plantas deficientes en B y sus acúmulos fueron, respectivamente, 40 y 48% menores en esas plantas. Los acúmulos de B y Ca en las raíces fueron 49 y 57% en las plantas deficientes en B (Control-B), en comparación a las plantas del Control+B.

3.3.2 Muestreo 2 - Fase Florecimiento

A los 22 días después de la imposición de los suministros de B via DN y ya realizadas dos aplicaciones de los tratamientos foliares, 32 DDT – por ocasión del inicio del florecimiento de los tomateros, se observó que hubo diferencia entre los tratamientos para las variables biométricas VRA, MSH y MSTT (Tabla 6).

Las plantas bajo el Control-B fueron aquellas que presentaron menor VRA, comparados con todos los demás tratamientos, un 40% menor que que el Control+B. El unico tratamiento de aplicación foliar que presentó diferencia estadística con el Control-B fue el uso de Ácido Bórico sin tensoactivo, que presentó VRA igual al Control+B.

El tratamiento foliar con Ácido Bórico sin uso de tensoactivo también promovió plantas con mayor MSH y consecuentemente la mayor MSTT, incluso que el Control+B. El efecto significativo para el uso del tensoactivo para estas dos variables ha indicado que no usarlo ha sido mejor que su uso conjunto con esa fuente de B.

Los demás atributos biométricos no presentaron efecto significativo, ni mismo entre los controles, aunque el Control+B haya presentado plantas más vigorosas.

Sobre las concentraciones de B y Ca en las hojas y raíces del tomatero a los 32 DDT, se observó que hubo significancia estadística entre los tratamientos (Tabla 7). Con efecto de interacción entre las fuentes de B y el tensoactivo se ha verificado que la concentración de B en las hojas (cBh) fue mayor con el uso de B-etanolamina, sobretodo usando el tensoactivo, presentando concentraciones por encima del Control+B. La fuente de B, B-etanolamina, también promovió una mayor concentración de B en las raíces (cBr) del tomatero en este estádio.

La concentración de Ca en las hojas y raíces (cCah y cCar), fueron mayores con la aplicación foliar de Bórax, más pronunciadamente sin el uso del tensoactivo, diferenciándose positivamente de los controles. El tratamiento B-etanolamina sin el tensoactivo fue aquell que presentó la menor concentración de Ca en las raíces. Cuanto al acúmulo de B y Ca en los tejidos foliares y radiculares de los tomateros a los 32 DDT, solamente hubo efecto significativo entre los tratamientos para el acúmulo de B en las hojas, habiendo sido mayor con la aplicación foliar de B-etanolamina, con valores por encima de los controles, así como ocurió con las plantas tratadas con Ácido Bórico más tensoactivo (Tabla 7).

Tabla 6. Variables biométricas dos tomates cultivados bajo diferentes dosis de B en solución nutritiva a los 32 DDT. NHO: Número de Hojas; APL: Altura de la planta (cm); DTA: Diámetro del tallo (mm); VRA: Volumen Radicular (cm³); NFL: Número de Flores; NFR: Número de Frutos; MSH: Masa Seca de Hojas (g); MSR: Masa Seca de Raíces (g); MST: Masa Seca de Tallo (g); MSTT: Masa Seca Total de la planta (g).

Fuentes de B	NHO		APL		DTA		VRA		NFL		NFR							
	Tensoactivo		Media		Tensoactivo		Media		Tensoactivo		Media							
	Con	Sin	Con	Sin	Con	Sin	Con	Sin	Con	Sin	Con	Sin						
Ácido Bórico	11,00	10,25	10,63	47,60	47,80	47,70	6,86	6,35	6,60	33,70	46,25*	40,00	15,25	11,75	13,50	3,75	2,75	3,25
Bórax	10,00	10,25	10,13	50,00	50,70	50,35	6,22	6,30	6,26	41,25	38,75	40,00	9,75	10,00	9,88	2,50	3,75	3,13
B-etanolamina	11,00	10,25	10,63	50,33	51,08	50,70	6,16	6,75	6,46	35,00	38,75	36,88	9,50	9,25	9,38	3,75	2,50	3,13
Media	10,67	10,25		49,31	49,86		6,41	6,46		36,67	41,25		11,50	10,33		3,33	3,00	
20 µmol L ⁻¹ B DN	11,00		47,93		7,09		46,25*		12,50		4,00							
05 µmol L ⁻¹ B DN	10,50		46,53		6,66		27,50°		9,25		3,00							
CV (%)	6,84		9,33		8,21		18,69		32,21		43,90							

Tabla 6. Continuación...

Fuentes de B	MSH		Media	MST		Media	MSR		Media	MSTT		Media
	Tensoactivo			Tensoactivo			Tensoactivo			Tensoactivo		
	Con	Sin	Con	Sin	Con	Sin	Con	Sin	Con	Sin		
Ácido Bórico	4,67 aB	7,54 aA*	6,11	1,82	2,55	2,19	2,27	2,67	2,47	8,77	12,77*	10,77
Bórax	5,62 aA	5,53 bA	5,57	2,16	2,18	2,17	2,07	2,37	2,22	9,84	10,08	9,96
B-etanolamina	4,59 aB	6,29 abA	5,44	1,95	2,12	2,03	1,85	2,22	2,04	8,39	10,62	9,50
Media	4,96 B	6,45 A		1,98	2,28		2,07	2,42		9,00 B	11,16 A	
20 µmol L ⁻¹ B DN	5,66		2,42		2,17		10,24					
05 µmol L ⁻¹ B DN	4,34		1,76		1,70		7,80					
CV (%)	19,53		17,53		26,73		19,03					

Medias seguidas por misma letra mayúscula en misma línea y/o por misma letra minúscula en columna son estadísticamente iguales por el test de Tukey (α : 5 %).

* Test de Dunnett bilateral con el tratamiento testigo absoluto (05 µmol L⁻¹ B en disolución nutritiva- DN) significativo (α : 5 %).

° Test de Dunnett bilateral con el tratamiento testigo relativo (20 µmol L⁻¹ B en disolución nutritiva- DN) significativo (α : 5 %).

Tabla 7. Concentraciones y acúmulos de boro (B) y calcio (Ca) en hojas (h) y raíces (r) de tomates cultivados bajo diferentes suministros de B los 32 DDT. c: concentración de B (mg/kg) y Ca (g/kg) ; a: acúmulo de B ($\mu\text{g/planta}$) y Ca (mg/planta)

Fuentes de B	cBh		Media	cBr		Media	cCah		Media	cCar		Media
	Tensoactivo			Tensoactivo			Tensoactivo			Tensoactivo		
	Con	Sin	Con	Sin	Con	Sin	Con	Sin	Con	Sin		
Ácido Bórico	57,37 bA ^{*°}	38,54 cB [°]	47,95 b	27,67 [°]	28,26	27,96 b	35,46	33,92	34,69 b	3,98 aA	3,66 bA	3,82 b
Bórax	46,16 cA [*]	44,29 bA ^{*°}	45,23 b	28,19	27,60 [°]	27,89 b	37,51	41,94 [°]	39,73 a	4,43 aA [°]	5,10 aA ^{*°}	4,76 a
B-etanolamina	87,72 aA ^{*°}	57,79 aB ^{*°}	72,76 a	39,01 ^{*°}	39,69 ^{*°}	39,35 a	36,98	37,15	37,06 ab	4,62 aA [°]	3,45 bB	4,03 b
Media	63,75 A	46,87 B		31,62	31,85		36,65	37,67		4,34	4,07	
20 $\mu\text{mol L}^{-1}$ B DN	48,99 [*]			30,54 [*]			34,33			3,33		
05 $\mu\text{mol L}^{-1}$ B DN	37,05 [°]			25,74 [°]			37,98			4,11		
CV (%)	4,42			4,56			8,24			12,04		

Tabla 7. continuación...

Fuentes de B	aBh		Media	aBr		Media	aCah		Media	aCar		Media
	Tensoactivo			Tensoactivo			Tensoactivo			Tensoactivo		
	Con	Sin	Con	Sin	Con	Sin	Con	Sin	Con	Sin		
Ácido Bórico	264,21 [*]	237,17	250,69 ab	62,34	63,38	62,86	169,57	209,14	189,35	6,79	9,83	8,31
Bórax	209,48	196,40	202,94 b	58,43	60,40	59,42	170,87	187,49	179,78	9,29	10,42	9,86
B-etanolamina	351,13 [*]	261,18 [*]	306,15 a	65,39	88,65	77,02	149,33	162,86	156,09	6,93	7,74	7,34
Media	274,94	231,58		62,05	70,81		163,25	186,50		7,67	9,33	
20 $\mu\text{mol L}^{-1}$ B DN	251,26			63,73			195,23			8,63		
05 $\mu\text{mol L}^{-1}$ B DN	134,11			40,27			159,47			5,75		
CV (%)	25,55			33,48			23,60			25,88		

Medias seguidas por misma letra mayúscula en misma línea y/o por misma letra minúscula en columna son estadísticamente iguales por el test de Tukey (α : 5 %).

* Test de Dunnett bilateral con el tratamiento testigo absoluto (05 $\mu\text{mol L}^{-1}$ B en disolución nutritiva- DN) significativo (α : 5 %).

° Test de Dunnett bilateral con el tratamiento testigo relativo (20 $\mu\text{mol L}^{-1}$ B en disolución nutritiva- DN) significativo (α : 5 %).

3.3.3 Muestreo 3 - Fase Fructificación

Las plantas cultivadas con $20 \mu\text{mol L}^{-1}$ en DN (Control+B), a los 60 DDT, fueron aquellas que presentaron los mejores datos biométricos, mientras que las plantas deficientes y sin pulverizaciones de B (Control-B), fueron las que menos crecieron (Tablas 8). Por su vez, los tratamientos con las aplicaciones foliares de fuentes de B, con y sin tensoactivo, promovieron mejor crecimiento y desarrollo de los tomateros, pero solamente en algunos casos presentaron valores significativamente superiores al Control-B y en ningún caso llegó a igualdad estadística de estos parámetros con las plantas del Control+B. A eso se refieren las variables APL, NFL, NFR y MST del tratamiento B-etanolamina sin tensoactivo; NFR y MST con el uso de Ácido Bórico con tensoactivo; NFL para Ácido Bórico sin tensoactivo y MST de las plantas tratadas con Bórax sin tensoactivo.

El efecto significativo para las fuentes de B señala que el B-etanolamina promovió plantas con mayores NHO y APL, mientras que fueron menores en aquellas pulverizadas con Ácido Bórico, inclusive presentando datos significativamente inferiores al Control-B.

Con relación a las concentraciones y acúmulos de B y Ca en las hojas y raíces del tomatero a los 60 DDT (Tabla 9), las plantas del Control+B fueron aquellas que presentaron mayores valores, mientras que el Control-B presentó los menores y las plantas tratadas con pulverizaciones foliares con distintas fuentes de B y tensoactivo, datos intermediarios, lo que indica su efecto positivo en la corrección de la baja dosis de B en la DN, pero que en pocas ocasiones diferenciaron del Control-B y llegaron a niveles significativos en comparación con el Control+B, de acuerdo con el test de Dunnett ($\alpha: 5\%$). Entre los tratamientos foliares, la concentración de B en las hojas (cBh) ha sido mayor con el uso del Ácido Bórico, el tratamiento que promovió, en media, plantas con menor tasa de crecimiento. Cuanto al acúmulo de B en estos tejidos (aBh), que integra la masa seca producida y la concentración del nutriente en el tejido foliar, fue mayor con los tratamientos B-etanolamina con tensoactivo y ácido bórico sin tensoactivo.

Ninguno de los tratamientos con aplicaciones foliares de B presentaron concentración de B en las raíces diferentes del Control-B, aunque fueron mejores aquellos que utilizaron el Bórax y B-etanolamina. En el mismo sentido, solamente el tratamiento Bórax con tensoactivo se diferenció del Control-B y promovió el mayor acúmulo de B en las raíces (aBr).

La concentración y el acúmulo de Ca en las hojas de tomatero fueron mayores con aplicaciones foliares de ácido bórico con tensoactivo. Mientras que el uso de B-etanolamina con tensoactivo promovieron las menores concentraciones de Ca en hojas y raíces, menores que el Control-B.

Tabla 8. Variables biométricas de los tomates cultivados bajo diferentes suministros de B a los 60 DDT. NHO: Número de Hojas; APL: Altura de la planta (cm); DTA: Diámetro del tallo (mm); VRA: Volumen Radicular (cm⁻³); NFL: Número de Flores; NFR: Número de Frutos; MSH: Masa Seca de Hojas (g); MSR: Masa Seca de Raíces (g); MST: Masa Seca de Tallo (g); MSTT: Masa Seca Total de la planta (g)

Fuentes de B	NHO		Media	APL		Media	DTA		Media	VRA		Media	NFL		Media	NFR		Media
	Tensoactivo			Tensoactivo			Tensoactivo			Tensoactivo			Tensoactivo			Tensoactivo		
	Con	Sin	Con	Sin	Con	Sin	Con	Sin	Con	Sin	Con	Sin	Con	Sin				
Ácido Bórico	12,00°	12,50°	12,25 b	57,70°	72,75°	65,23 b	8,72	8,24	8,48	139,50°	125,00°	132,25	16,00°	17,00*°	16,50	23,00*°	18,00°	20,50
Bórax	11,75°	14,25°	13,00 ab	73,42°	83,38°	78,40 ab	9,09	9,01	9,05	146,00°	135,00°	140,50	12,75°	14,00°	13,76	18,67°	20,00°	19,33
B-etanolamina	14,75°	14,67°	14,71 a	81,50°	88,25*°	84,88 a	8,32	8,51	8,42	136,00°	116,25°	126,13	15,75°	20,00*°	17,88	17,00°	26,00*°	21,50
Media	12,83	13,81		70,87	81,46		8,71	8,59		140,50	125,42		14,83	17,00		19,56	21,33	
20 µmol L ⁻¹ B DN	20,00*			122,50*			9,54			197,67*			71,75*			45,00*		
05 µmol L ⁻¹ B DN	13,25°			59,67°			8,62			103,38°			2,33°			8,25°		
CV (%)	13,09			15,77			9,33			16,95			34,18			30,26		

Tabla 8. continuación...

Fuentes de B	MSH		Media	MST		Media	MSR		Media	MSTT		Media
	Tensoactivo			Tensoactivo			Tensoactivo			Tensoactivo		
	Con	Sin	Con	Sin	Con	Sin	Con	Sin	Con	Sin		
Ácido Bórico	20,20°	16,84°	18,52	11,37*°	10,24°	10,80	11,12	10,17	10,64	42,69°	37,25°	39,97
Bórax	19,48°	19,88°	19,68	10,27°	11,79*°	11,03	11,48	11,44	11,46	41,22°	43,11°	42,16
B-etanolamina	21,62°	20,91°	21,27	9,77°	12,09*°	10,93	11,10	10,43	10,77	42,50°	43,43°	42,96
Media	20,44	19,21		10,47	11,37		11,23	10,68		42,14	41,26	
20 µmol L ⁻¹ B DN	30,28*			17,14*			12,79			60,21*		
05 µmol L ⁻¹ B DN	17,20°			8,40°			8,57			34,16°		
CV (%)	18,16			12,38			19,47			14,23		

Medias seguidas por misma letra mayúscula en misma línea y/o por misma letra minúscula en columna son estadísticamente iguales por el test de Tukey (α : 5 %).

* Test de Dunnett bilateral con el tratamiento testigo absoluto (05 µmol L⁻¹ B en disolución nutritiva- DN) significativo (α : 5 %).

° Test de Dunnett bilateral con el tratamiento testigo relativo (20 µmol L⁻¹ B en disolución nutritiva- DN) significativo (α : 5 %).

Tabla 9. Concentraciones y acúmulos de boro (B) y calcio (Ca) en hojas (h) y raíces (r) de tomateros cultivados bajo diferentes suministros de B los 60 DDT. c: concentración de B (mg/kg) y Ca (g/kg) ; a: acúmulo de B ($\mu\text{g/planta}$) y Ca (mg/planta)

Fuentes de B	cBh		Media	cBr		Media	cCah		Media	cCar		Media
	Tensoactivo			Tensoactivo			Tensoactivo			Tensoactivo		
	Con	Sin	Con	Sin	Con	Sin	Con	Sin	Con	Sin		
Ácido Bórico	38,17 aB*°	47,57 aA*°	42,87 a	20,85°	22,21°	21,53 b	51,62 aA*°	44,07 aB	47,85 a	5,73 aA°	5,11 aA°	5,42
Bórax	34,29 aA*°	34,48 bA*°	34,39 b	25,96°	24,18°	25,07 a	41,83 bA	39,74 abA	40,79 b	6,04 aA°	4,80 aA°	5,42
B-etanolamina	35,06 aA*°	33,72 bA°	34,39 b	22,47°	25,78°	24,12 a	34,54 cA	37,09 bA	35,81 c	4,34 aB°	6,07 aA°	5,20
Media	35,84	38,59		23,09	24,06		42,66	40,30		5,37	5,33	
20 $\mu\text{mol L}^{-1}$ B DN	75,74*			35,02*			37,86			9,17*		
05 $\mu\text{mol L}^{-1}$ B DN	26,68°			24,00°			36,96			6,36		
CV (%)	9,00			7,79			9,41			19,21		

Tabla 9. continuación...

Fuentes de B	aBh		Media	aBr		Media	aCah		Media	aCar		Media
	Tensoactivo			Tensoactivo			Tensoactivo			Tensoactivo		
	Con	Sin	Con	Sin	Con	Sin	Con	Sin	Con	Sin		
Ácido Bórico	678,73 bA°	765,26 aA*°	722,00	242,17°	232,98°	237,57	869,70*	741,35°	805,52	55,85°	45,03°	50,44
Bórax	664,31 bA°	674,78 aA°	669,55	317,26*°	263,61°	290,44	742,67°	770,24°	756,46	68,73°	51,46°	60,09
B-etanolamina	938,14 aA*°	644,39 aB°	791,26	262,25°	265,88°	264,07	636,43°	796,70	716,57	51,58°	49,99°	50,78
Media	760,40	694,81		237,89	254,16		749,43	769,43		58,72	48,83	
20 $\mu\text{mol L}^{-1}$ B DN	2510,44*			442,74*			1057,23*			117,43*		
05 $\mu\text{mol L}^{-1}$ B DN	457,26°			173,02°			597,70°			55,10°		
CV (%)	13,91			19,22			17,24			21,29		

Medias seguidas por misma letra mayúscula en misma línea y/o por misma letra minúscula en columna son estadísticamente iguales por el test de Tukey (α : 5 %).

* Test de Dunnett bilateral con el tratamiento testigo absoluto (05 $\mu\text{mol L}^{-1}$ B en disolución nutritiva- DN) significativo (α : 5 %).

° Test de Dunnett bilateral con el tratamiento testigo relativo (20 $\mu\text{mol L}^{-1}$ B en disolución nutritiva- DN) significativo (α : 5 %).

3.3.4 Muestreo 4 - Fase Cosecha

A los 106 DDT, final del ciclo fenológico de los tomateros, se observa que hubo efecto significativo entre los tratamientos para gran mayoría de los atributos evaluados (Tablas 10 a 13). Solamente no hubo significancia de las fuentes de variación para las variables DTA, SST, pHi, IM y DIA. Para la cCar hubo únicamente efecto significativo entre los tratamientos controles.

Como se observó a lo largo del ciclo fenológico del tomatero, las plantas cultivadas con la dosis “ideal” de B en la DN ($20,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ B, Control+B) fueron aquellas que presentaron los mejores resultados de desarrollo, producción y de estado nutricional en el último estadio evaluado, al paso que las plantas cultivadas bajo el Control-B ($5,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ B en DN) fueron las menos desarrolladas y productivas y aquellas cultivadas bajo deficiencia de B en DN y tratadas con las aplicaciones foliares presentaron efectos positivos frente al Control-B para mayoría de los atributos medidos.

El efecto de la deficiencia de B se demostró nítido con una reducción de 63% en APL y un 52% en el NHO en las plantas bajo el control absoluto (Control-B) frente al relativo (Control+B), lo que ha conllevado a una reducción de 41 % en la producción de MSTT y del 30% en el VRA.

Los tratamientos foliares promovieron una mejora en el NHO, pero no difirieron del Control-B, pero, promovieron crecimiento significativo de las plantas (APL), habiendo sido menos efectivos con el uso de la combinación del Ácido Bórico con Tensoactivo.

Los tratamientos Ácido Bórico con tensoactivo y el B-etanolamina sin tensoactivo fueron los tratamientos que presentaron menor efecto sobre la producción de biomasa seca de los tomateros (MSH, MST, MSR y MSTT), sin diferencia estadística con el Control-B. La fuente Bórax promovió plantas con mayor MSR. El uso del tensoactivo ha sido desfavorable para los atributos MSH y MSTT, igualmente lo observado para estos atributos en la fase inicial de floración, 32 DDT.

Las plantas que recibieron los tratamientos con las aplicaciones foliares de fuentes de B y tensoactivo, presentaron un VRA menor, y estadísticamente diferentes, que ambos los controles. Siendo el menor valor observado con el tratamiento B-etanolamina sin tensoactivo (98cm^3), con un VRA 66% menor que las plantas del Control+B (291cm^3), mientras que el VRA ha sido estadísticamente igual para los demás tratamientos.

Cuanto a los atributos de producción del tomatero, se observó que la deficiencia de B en DN y la no realización de aplicaciones foliares de ese micronutriente (Control-B) provocó una grande restricción a la emisión y cuaje de las flores, con una reducción de 64, 89, 90 y 90

% en el NFL: 32, NFR: 7, MFFR: 179g y MSFR: 12g, respectivamente, bien como un 25% más en el NFA: 15, en relación al Control+B.

Los tratamientos con las aplicaciones foliares con fuentes de B y tensoactivo, promovieron mejora de las condiciones productivas, frente al obtenido por las plantas del Control-B, pero que sin alcanzar valores iguales al logrado con las plantas del Control+B.

El tratamiento Bórax sin tensoactivo, aunque haya presentado algunos de los mejores resultados sobre el crecimiento y desarrollo vegetativo del tomatero, promovió plantas menos productivas, con NFL: 39, NFR: 20 y MFFR: 558g – respectivamente una reducción de 57, 68 y 69% frente al Control+B, bien como uno de los mayores NFA: 11 y NFRBER: 9.

El tratamiento Ácido Bórico con tensoactivo presentó el menor NFA: 6, mientras que esta misma fuente sin el tensoactivo promovió el mayor NFA: 17. Por el efecto significativo de la fuente de variación, fuente de B, se observó que el B-etanolamina promovió una mayor MSFR y el Ácido Bórico a un menor NFRBER.

De los atributos de calidad y clasificación de los frutos, solamente hubo efecto significativo para la interacción entre los factores de los tratamientos para ATT y DUR, pero no hubo ninguna diferencia estadística para con los tratamientos controles (Tabla 12).

Los valores absolutos de SST obtenidos varían de 6,30 a 6,93° Brix; el pHi de 4,37 a 4,55; ATT de 0,36 a 0,49g%; IM de 14,86 a 17,76; DUR de 2,46 a 3,59kgf y DIA de 32,85 a 36,19 mm. Aunque sean valores cercanos hubo una interesante relación entre estos valores para el tratamiento Ácido Bórico sin Tensoactivo, que presentó frutos con mayores SST: 6,93, ATT: 0,49 y DUR: 3,59, bien como menores pHi: 4,37, IM: 14,86 y DIA: 32,85. El Control-B presentó frutos con menores SST: 6,30 y ATT: 0,36 y mayor pHi: 4,55, mientras que el Control+B presentó frutos con mayor DIA: 36,19.

Los datos nutricionales sobre las concentraciones y acúmulos de B y Ca foliares, radiculares y frutos de los tomateros están presentados en la tabla 13 y los índices de razón entre estas variables son presentadas en las tablas 14 a 17, dónde se puede aclarar mejor la ubicación y eficiencia en el aporte de estos nutrientes en la planta, proporcionado por cada uno de los tratamientos utilizados.

El análisis nutricional de los tejidos de los tomateros demuestra que las concentraciones de B y Ca fueron mayores en las hojas, luego en las raíces y en los frutos (Tabla 13).

Las concentraciones de 93,1; 31,9 y 20,2 mg kg⁻¹ B son las máximas observadas en los tejidos foliares, radiculares y de los frutos, respectivamente, referentes a las plantas cultivadas bajo el tratamiento Control+B. Al paso que el tratamiento Control-B, promovió plantas con las menores concentraciones de B en estos tejidos: 23,6; 25,3 y 16,9 mg kg⁻¹ B, una reducción de 75, 21 y 17%, respectivamente en hojas, raíces y frutos.

En las hojas, los tratamientos con pulverizaciones foliares de fuentes de B y tensoactivo, promovieron un aumento de 8 a 12% en las concentraciones de B (30,4 a 34,5 mg) frente al Control-B, habiendo sido estadísticamente mejores para los tratamientos con B-etanolamina y el Bórax con Tensoactivo, mientras que los demás tratamientos no difirieron del Control-B. En los tejidos radiculares ese aumento fue de 0 a 8% (25,2 a 27,8 mg kg⁻¹ B), promovido principalmente por los tratamientos con B-etanolamina, con y sin tensoactivo, y Ácido Bórico con Tensoactivo, mientras que los demás tratamientos no difirieron del Control-B. Ya en los frutos, el aumento de las concentraciones de B, frente al Control-B, fueron de 1 a 13% (17,0 a 19,4 mg kg⁻¹ B), debido principalmente a los tratamientos con las fuentes de Bórax, con y sin el Tensoactivo, y de B-etanolamina sin tensoactivo, que incluso se igualan estadísticamente a las concentraciones de B promovidas a los frutos por el Control+B, mientras que los demás tratamientos no difirieron del Control-B. Entre los tratamientos foliares, el que menos ha aportado el crecimiento de la concentración de B en los tejidos del tomatillo analizados, fue el Ácido Bórico sin tensoactivo.

El acúmulo de B en las hojas y frutos del tomatillo fueron mayores con el Control+B, 3708,2 y 2196,8 µg/planta B, respectivamente. El Control-B promovió reducción de 82 y 91% en estos valores, que fueron de 655,8 y 200,8 µg/planta B. En las hojas de las plantas tratadas con aplicaciones foliares de B hubo un aumento significativo de 9 a 14% en el acúmulo de este micronutriente, frente al Control-B, siendo menos eficiente con el uso de B-etanolamina sin Tensoactivo. Ya sobre los frutos, este efecto fue de un aumento de 20 a 39%, con mejores resultados obtenidos con los tratamientos que utilizaban la fuente B-etanolamina. Pero, ninguno de los tratamientos foliares promovieron acúmulo de B significativamente igual al obtenido con el Control+B. En los tejidos radiculares se ha verificado que el tratamiento Ácido Bórico sin tensoactivo ha promovido el mayor acúmulo de B, 698,2 µg/planta B, un 8% por encima del observado en las plantas del Control+B. Los tratamientos Bórax, con y sin Tensoactivo, y B-etanolamina con Tensoactivo también promovieron acúmulos radiculares de B estadísticamente iguales al Control+B. Al paso que el Control-B ha producido un acúmulo de 349,3 µg/planta B en los tejidos radiculares, un 46% menos que con el Control+B. Los tratamientos Ácido Bórico con Tensoactivo y B-etanolamina sin tensoactivo, fueron los que presentaron menor acúmulo de B radicular, estadísticamente iguales al Control-B, coincidiendo ser los tratamientos con menores MSR.

Con los índices de las concentraciones y acúmulos de B en los frutos y raíz frente a las hojas (Tabla 14), se observa que las plantas cultivadas con el tratamiento Control-B, presentaron mayores concentraciones de B en los frutos y raíces, también de Ca en los frutos, debido al efecto de concentración por su menor crecimiento, pero hay un mayor acumulo de B

en las raíces con ese tratamiento, indicando que hubo problemas en el transporte de B tras ser absorbido en los tejidos radiculares. Con el tratamiento Control+B hubo mayor concentración y acúmulo de B en los tejidos foliares, frente a los frutos y raíces.

Los tratamientos foliares, que promovieron mejor crecimiento y desarrollo a las plantas, en comparación con las plantas deficientes en B (Control-B), igualmente promovieron plantas con condiciones nutricionales intermediarias entre aquellas cultivadas con los dos tratamientos controles. Hecho claramente observado para la razón de las concentraciones de B en los frutos (c_B Fr/h) y raíces (c_B R/h) frente a las hojas y la concentración de Ca en los frutos frente a las hojas (c_{Ca} Fr/h).

El acúmulo de B en los frutos, frente a las hojas (a_B Fr/h), solamente el tratamiento B-etanolamina sin Tensoactivo presentó diferencia estadística para con los demás tratamientos, enseñando un aumento de 69% en relación al Control-B. Mientras que no hubo diferencia alguna del acúmulo de B en las raíces frente a las hojas (a_B R/h) entre los tratamientos Control-B y los tratamientos con aplicaciones foliares de B.

Las mayores concentraciones de Ca en los tejidos foliares y radiculares fueron de 58,6 y 6,7 $g\ kg^{-1}$ Ca, respectivamente, en los tomates cultivados bajo el Control+B, mientras que con el Control-B se obtuvo concentraciones de 44,1 y 4,7 $mg\ kg^{-1}$ Ca, respectivamente en estos tejidos, lo que representa un 25 y 29 % menos que con el Control+B (Tabla 13).

Los tratamientos foliares, promovieron un aumento de 11 a 17% en la concentración foliar de Ca (50,4 a 54,0 $g\ kg^{-1}$ Ca), frente al Control-B, siendo únicamente significativo para el tratamiento Ácido Bórico con Tensoactivo. En los tejidos radiculares ese aumento fue de 3 a 20% (4,9 a 6,1 $g\ kg^{-1}$ Ca), no habiendo efecto significativo entre los tratamientos foliares. Pero, se observa que los tratamientos con el uso del Tensoactivo promovieron mayor aumento en las concentraciones radiculares de Ca.

El acúmulo de Ca en los tejidos de los tomates siguió la misma tendencia que lo observado para el acúmulo de B. En los tejidos foliares se acumuló 2523,3 mg/planta Ca, en las plantas del Control+B, mientras que con el Control-B, las plantas presentaron reducciones de 44 en ese acúmulo (1423,4 mg/planta Ca). Ya en los tejidos radiculares y frutos, el tratamiento Control-B presentó diferencia de 55 y 77 %, 49,32 y 11,89 mg/planta Ca, respectivamente.

Las aplicaciones foliares de B promovieron aumento de 4 a 33% en el acúmulo de Ca en las hojas del tomate, en relación al Control-B, pero solamente hubo efecto significativo con el tratamiento Ácido Bórico sin tensoactivo.

El tratamiento foliar con Ácido Bórico sin tensoactivo proporcionó el mayor acúmulo Ca en los tejidos radiculares del tomate, 148,9 mg/planta Ca, un 67% mayor que lo 49,32

mg/planta Ca acumulado con el Control-B. Los demás tratamientos también promovieron aumento significativamente igual al Control+B en este acúmulo, exceptuándose el B-etanolamina sin tensoactivo, que no difirió del Control-B.

En los frutos, debido la menor producción (MSFR), la concentración de Ca ha sido mayor en aquellos frutos producidos por las plantas cultivadas bajo el Control-B ($1,15 \text{ g kg}^{-1}$ Ca), pero el acumulado fue de tan solo $11,9 \text{ mg/planta}$, el más bajo entre todos los tratamientos. Las plantas cultivadas con $20 \mu\text{mol L}^{-1}$ B en DN (Control+B), presentaron una concentración de $0,6 \text{ g kg}^{-1}$ Ca y un acúmulo de $51,5 \text{ mg/planta}$. Los tratamientos foliares de fuentes de B con tensoactivo, promovieron mayores incrementos en la concentración de Ca en los frutos. El acúmulo de Ca fue incrementado de 59 a 75% con las aplicaciones foliares ($47,2$ e $29,2 \text{ mg/planta Ca}$), especialmente con los tratamientos usando Ácido Bórico, con y sin tensoactivo, y con B-etanolamina sin tensoactivo.

Los índices de las concentraciones y acúmulos de Ca entre los frutos, raíces y hojas del tomatero (Tabla 15), indica que la mayor concentración de Ca en los frutos promovida por el tratamiento Control-B, frente a las hojas ($c_{\text{CaF/H}}$), fue el tratamiento que confirió el menor acúmulo de Ca en los frutos ($a_{\text{Ca F/H}}$), debido a la menor masa seca de frutos producida, igualmente ha pasado con el acúmulo de Ca en la raíz.

La concentración de Ca en los frutos frente a las hojas ($c_{\text{CaF/H}}$) obtenidas con los tratamientos con aplicaciones foliares de B son valores intermediarios a los dos controles, sin diferencias destacables. Lo mismo se observa para la concentración de Ca en la raíz frente a las hojas ($c_{\text{Ca R/H}}$).

Diferentemente de lo observado para el acúmulo de B en los frutos y raíces frente a las hojas, se verifica que los tratamientos foliares con fuentes de B, con o sin tensoactivo, favorecieron mayor acúmulo de Ca en los frutos ($a_{\text{Ca F/H}}$) y raíces ($a_{\text{Ca R/H}}$) frente a las hojas, con valores mayores que ambos los controles. Los tratamientos con las fuentes de Ácido Bórico y B-etanolamina, promovieron mayores acúmulos de Ca en los frutos frente las hojas ($a_{\text{CaF/H}}$), especialmente ese último sin el uso del tensoactivo. Ya el mayor $a_{\text{Ca R/H}}$ ha sido obtenido con el tratamiento B-etanolamina con tensoactivo.

En las tablas 16 y 17 se aprecia el notorio comportamiento antagónico entre Ca y B en los tejidos de los tomateros. Con el suministro completo del B vía radicular ($20,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ B en DN, Control+B) hubo mayores concentraciones y acúmulos de B en los tejidos foliares y en los frutos, mientras que las concentraciones y acúmulos de Ca fueron los menores. En las plantas deficientes en B ($5,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ B en DN, Control-B), hubo efecto inverso, con la menor cantidad acumulada de B en las hojas y frutos y las mayores de Ca. La diferencia de las

concentraciones y acúmulos de Ca y B en los tejidos foliares e frutos entre los tratamientos controles fue de 60 a 70%.

Los tratamientos foliares promovieron un efecto significativo en el aporte de B a las hojas y frutos del tomatillo. El acúmulo de B en las hojas fue aumentado a la orden de 13 a 40% y en los frutos ese aumento fue de hasta 30% y en mismas proporciones, de manera inversamente proporcional, hubo reducción en el acúmulo de Ca en estos tejidos. La fuente B-etanolamina promovió mayor acúmulo de B en los frutos, mientras que el Ácido Bórico los menores y el Bórax efecto intermediario entre los otros dos, siendo el efecto inversamente proporcional entre las fuentes B-etanolamina y Ácido Bórico cuanto al acúmulo de Ca en los frutos.

Sobre el sistema radicular los tratamientos foliares promovieron reducción de 27 a 38 % en el acúmulo de B y aumento de 29 a 35 % en el acúmulo de Ca en estos tejidos.

Tabla 10. Variables biométricas de los tomates cultivados bajo diferentes suministros de B a los 106 DDT. NHO: Número de Hojas; APL: Altura de la planta (cm); DTA: Diámetro del tallo (mm); VRA: Volumen Radicular (cm³); NFL: Número de Flores; NFA: Número de Flores abortadas; MSH: Masa Seca de Hojas (g); MSR: Masa Seca de Raíces (g); MST: Masa Seca de Tallo (g); MSTT: Masa Seca Total de la planta(g)

Fuentes de B	NHO		APL		DTA		VRA		NFL		NFA							
	Tensoactivo		Media	Tensoactivo		Media	Tensoactivo		Media	Tensoactivo		Media						
	Con	Sin		Con	Sin		Con	Sin		Con	Sin							
Ácido Bórico	16,00°	17,00°	16,5	76,00 bB°	93,50 aA*°	84,75	11,00	10,78	10,89	138,00 aA*°	155,00 aA*°	147,00	43,00 aA°	49,00 abA*°	46,00	6,00 aA*	17,00 bA	11,00
Bórax	15,25°	15,25°	15,25	86,83 abA*°	90,67 aA*°	88,75	10,58	10,74	10,66	130,00 aA*°	152,00 aA*°	141,00	56,00 aA*°	39,00 bB°	48,00	15,00 bB	11,00 abA	13,00
B-etanolamina	17,00°	17,25°	17,12	97,00 aA*°	91,00 aA*°	94,00	10,29	10,15	10,22	130,03 aA*°	98,00 bB*°	116,00	47,00 aA°	56,00 aA*°	51,00	7,00 abA	8,00 aA	8,00
Media	16,08	16,50		86,61	91,72		10,62	10,55		134,00	135,00		49,00	48,00		9,00	12,00	
20 µmol L ⁻¹ B DN	29,25*			190,67*			10,40			291,00*			90,00 *			12,00		
05 µmol L ⁻¹ B DN	14,00°			71,36°			10,40			203,00°			32,00°			15,00		
CV (%)	10,81			7,28			7,44			14,29			16,00			39,75		

Tabla 10. continuación...

Fuentes de B	MSH		Media	MST		Media	MSR		Media	MSTT		Media
	Tensoactivo			Tensoactivo			Tensoactivo			Tensoactivo		
	Con	Sin	Con	Sin	Con	Sin	Con	Sin	Con	Sin		
Ácido Bórico	29,45 aB°	37,11 aA*	33,28	15,60 bB°	22,42 abA*	19,01	17,68 aB	25,92 aA*°	21,80 ab	62,74 bB°	85,44 aA*	74,09
Bórax	32,54 aB*°	37,87 aA*	35,21	19,09 abA*	23,15 aA*	21,12	22,90 aA*	24,53 aA*	23,72 a	74,53 abB*	85,56 aA*	80,05
B-etanolamina	32,99 aA*°	28,85 bA°	30,92	22,33 aA*	17,31 bB°	19,82	21,68 aA*	17,31 bA	19,50 b	77,01 aA*	63,47 bB°	70,24
Media	31,66 B	34,61 A		19,01	20,96		20,75	22,59		71,43 B	78,16 A	
20 µmol L ⁻¹ B DN	29,25*			23,54*			18,93			85,35*		
05 µmol L ⁻¹ B DN	14,00°			11,55°			13,80			50,21°		
CV (%)	10,05			15,07			14,78			9,91		

Medias seguidas por misma letra mayúscula en misma línea y/o por misma letra minúscula en columna son estadísticamente iguales por el test de Tukey (α : 5 %).

* Test de Dunnett bilateral con el tratamiento testigo absoluto (05 µmol L⁻¹ B en disolución nutritiva- DN) significativo (α : 5 %).

° Test de Dunnett bilateral con el tratamiento testigo relativo (20 µmol L⁻¹ B en disolución nutritiva- DN) significativo (α : 5 %).

Tabla 11. Variables productivas de los tomates cultivados bajo diferentes suministros de B cosechados a los 106 DDT. NFR: Número total de Frutos producidos por planta; MFFR: Masa Fresca total de Frutos producidos por planta (g); MSFR: Masa Seca total de Frutos producidos por planta (g); NFRBER: Número de Frutos por planta con *Blessed en rot*

Fuentes de B	NFR			MFFR			MSFR			NFRBER		
	Tensoactivo		Media	Tensoactivo		Media	Tensoactivo		Media	Tensoactivo		Media
	Con	Sin		Con	Sin		Con	Sin		Con	Sin	
Ácido Bórico	24,00 aA*°	27,00 abA*°	26,00	689,87*°	633,26*°	661,56	43,00*°	37,87*°	40,43 b	3,00	4,00	4,00 a
Bórax	32,00 aA*°	20,00 bB*°	26,00	729,29*°	557,63*°	643,46	33,64*°	34,54*°	34,09 b	7,00°	9,00°	8,00 b
B-etanolamina	26,00 aA*°	32,00 aA*°	29,00	732,48*°	831,44*°	781,96	45,03*°	57,74*°	51,39 a	7,00°	6,00°	6,00 ab
Media	27,00	26,00		717,21	674,11		40,56	43,38		6,00	6,00	
20 µmol L ⁻¹ B DN	62,00*			1818,09*			116,11*			1,00		
05 µmol L ⁻¹ B DN	7,00°			178,77°			12,10°			5,00		
CV (%)	16,75			17,02			17,99			42,49		

Tabla 12. Variables de la calidad de los frutos de tomates cultivados bajo diferentes suministros de boro, cosechados a los 106 DDT. SST: Sólidos Solubles Totales (°Brix); pHi: pH inicial de la pulpa de los frutos; ATT: Acidez Total Titulable (g%); IM: Índice de Maduración; DUR: Dureza de penetración de la pulpa (kgf); DIA: Diámetro medio ecuatorial de los frutos (mm)

Fuentes de B	SST			pHi			ATT			IM			DUR			DIA		
	Tensoactivo		Media	Tensoactivo		Media	Tensoactivo		Media	Tensoactivo		Media	Tensoactivo		Media	Tensoactivo		Media
	Con	Sin		Con	Sin		Con	Sin		Con	Sin		Con	Sin		Con	Sin	
Ácido Bórico	6,76	6,93	6,85	4,44	4,37	4,40	0,41 aA	0,49 bB*	0,45 a	17,67	14,86	16,27	2,47 aB	3,59 aA*	3,03	35,63	32,85	34,24
Bórax	6,62	6,47	6,55	4,48	4,42	4,45	0,40 aA	0,39 aA	0,39 b	15,63	16,09	15,86	2,83 aA	2,60 bA	2,71	34,01	35,88	34,94
B-etanolamina	6,34	6,57	6,45	4,47	4,48	4,48	0,37 aA	0,39 aA	0,38 b	17,76	16,34	17,05	2,68 aA	2,46 bA	2,57	34,57	36,01	35,29
Media	6,57	6,66		4,47	4,42		0,39	0,42		17,02	15,76		2,66	2,88		34,74	34,91	
20 µmol L ⁻¹ B DN	6,49			4,44			0,42			15,66			3,15			36,19		
05 µmol L ⁻¹ B DN	6,30			4,55			0,36			16,27			2,81			34,93		
CV (%)	5,72			2,68			9,42			10,15			13,16			6,79		

Medias seguidas por misma letra mayúscula en misma línea y/o por misma letra minúscula en columna son estadísticamente iguales por el test de Tukey (α : 5 %).

* Test de Dunnett bilateral con el tratamiento testigo absoluto (05 µmol L⁻¹ B en disolución nutritiva- DN) significativo (α : 5 %).

° Test de Dunnett bilateral con el tratamiento testigo relativo (20 µmol L⁻¹ B en disolución nutritiva- DN) significativo (α : 5 %).

Tabla 13. Concentraciones y acúmulos de boro (B) y calcio (Ca) en hojas (h), raíces (r) y frutos (f) de tomates cultivados bajo diferentes suministros de B los 106 DDT. c: concentración de B (mg/kg) y Ca (g/kg) ; a: acúmulo de B ($\mu\text{g/planta}$) y Ca (mg/planta)

Fuentes de B	cBh		Media	cBr		Media	cBf		Media	cCah		Media	cCar		Media	cCaf		Media
	Tensoactivo			Tensoactivo			Tensoactivo			Tensoactivo			Tensoactivo			Tensoactivo		
	Con	Sin	Con	Sin	Con	Sin	Con	Sin	Con	Sin	Con	Sin	Con	Sin				
Ácido Bórico	30,41°	30,35°	30,38	27,50*°	27,09°	27,92 a	17,02°	18,06°	17,54 b	54,00*	51,01	52,51	5,48	5,24	5,36	0,73*	0,93°	0,83
Bórax	34,47*°	31,17°	32,82	26,61°	25,21°	25,91 b	19,04*	19,27*	19,16 a	51,91	51,40	51,66	5,93	4,96	5,45	0,85*	0,90°	0,87
B-etanolamina	32,92*°	33,57*°	33,24	27,56*°	27,79*°	27,63 a	18,29°	19,40*	18,85 a	50,36	52,86	51,61	6,08	5,27	5,67	0,81*	0,87°	0,84
Media	32,60	31,70		27,22	26,70		18,12 B	18,91 A		52,09	51,76		5,83	5,16		0,80	0,90	
20 $\mu\text{mol L}^{-1}$ B DN	93,10*			31,89*			20,23*			58,58*			6,67*			0,61*		
05 $\mu\text{mol L}^{-1}$ B DN	23,65°			25,32°			16,89°			44,10°			4,71°			1,15°		
CV (%)	10,51			3,71			3,93			9,17			17,47			16,74		

Tabla 13. continuación...

Fuentes de B	aBh		Media	aBr		Media	aBf		Media	aCah		Media	aCar		Media	aCaf		Media
	Tensoactivo			Tensoactivo			Tensoactivo			Tensoactivo			Tensoactivo			Tensoactivo		
	Con	Sin	Con	Sin	Con	Sin	Con	Sin	Con	Sin	Con	Sin	Con	Sin				
Ácido Bórico	1112,78 A*°	1123,50 A*°	1118,14	470,61 bB°	698,24 aA°	584,43	716,93*°	680,89*°	698,91 ab	1605,78 aB°	2134,30 aA*	1870,04 a	106,66 aB*	148,85 aA*	127,75	40,29*	43,69*	41,99 a
Bórax	991,08 A*°	1181,84 A*°	1086,46	596,13 abA°	628,42 abA°	612,27	629,22*°	664,49*°	646,86 b	1688,00 aA°	1838,49 abA*°	1763,24 ab	119,06 aA*	136,52 aA*	127,79	29,21*°	31,31*°	30,26 b
B-etanolamina	1188,24 A*°	951,69 B°	1069,96	615,23 aA°	490,33 bB°	552,78	776,73*°	1045,15*°	910,94 a	1598,38 aA°	1487,55 bA°	1542,96 b	136,01 aA*	93,09 bB	114,55	33,22*°	47,17*	40,19 ab
Media	1097,36	1085,68		560,66	605,66		707,63	796,84		1630,72 B	1820,11 A		120,58	126,16		34,24	40,72	
20 $\mu\text{mol L}^{-1}$ B DN	3708,16*			648,44°			2196,83*			2523,25*			109,34*			51,54*		
05 $\mu\text{mol L}^{-1}$ B DN	655,75°			349,28°			200,79°			1423,42°			49,32°			11,89°		
CV (%)	10,79			13,79			20,56			11,52			21,59			22,13		

Medias seguidas por misma letra mayúscula en misma línea y/o por misma letra minúscula en columna son estadísticamente iguales por el test de Tukey (α : 5 %).

* Test de Dunnett bilateral con el tratamiento testigo absoluto (05 $\mu\text{mol L}^{-1}$ B en disolución nutritiva- DN) significativo (α : 5 %).

° Test de Dunnett bilateral con el tratamiento testigo relativo (20 $\mu\text{mol L}^{-1}$ B en disolución nutritiva- DN) significativo (α : 5 %).

Tabla 14. Índices de la razón entre las concentraciones (c) y acúmulos (a) de boro (B) en los tejidos foliares (H), radicales (R) y frutos (F) de los tomates evaluados a los 106 DDT, expresados en porcentaje

Fuentes de B	cB_F/H		Media	cB_R/H		Media	aB_F/H		Media	aB_R/H		Media
	Tensoactivo			Tensoactivo			Tensoactivo			Tensoactivo		
	Con	Sin	Con	Sin	Con	Sin	Con	Sin				
Ácido Bórico	56,02 ^{*o}	59,96 ^{*o}	57,99	90,58 ^{*o}	89,85 ^{*o}	90,22 a	64,22 aA	60,93 bA	62,58 b	42,43 bB ^o	62,00 aA ^o	52,22
Bórax	55,32 ^{*o}	62,16 ^{*o}	58,74	77,26 ^{*o}	81,25 ^{*o}	79,26 b	63,42 aA	58,27 bA	60,84 b	60,17 aA ^o	53,51 aA ^o	56,84
B-ETA	55,76 ^{*o}	58,33 ^{*o}	57,05	83,85 ^{*o}	83,94 ^{*o}	83,89 ab	65,98 aB	110,12 aA ^{*o}	88,05 a	52,11 abA ^o	51,57 aA ^o	51,84
Media	55,70 B	60,15 A		83,90	85,01		64,54	76,44		51,57	55,69	
20 µmol L ⁻¹ B DN	21,91 [*]			34,56 [*]			59,33			17,53 [*]		
05 µmol L ⁻¹ B DN	71,51 ^o			107,34 ^o			33,82			52,92 ^o		
CV (%)	7,77			8,90			25,35			12,10		

Tabla 15. Índices de la razón entre las concentraciones (c) y acúmulos (a) de calcio (Ca) en los tejidos foliares (H), radicales (R) y frutos (F) de los tomates evaluados a los 106 DDT, expresados en porcentaje

Fuentes de B	cCa_F/H		Media	cCa_R/H		Media	aCa_F/H		Media	aCa_R/H		Media
	Tensoactivo			Tensoactivo			Tensoactivo			Tensoactivo		
	Con	Sin	Con	Sin	Con	Sin	Con	Sin				
Ácido Bórico	1,36 [*]	1,87 ^{*o}	1,61	10,18	10,51	10,34	2,51 aA [*]	2,05 bA [*]	2,28 a	6,67 [*]	7,09 [*]	6,88
Bórax	1,63 [*]	1,76 ^{*o}	1,70	11,40	9,69	10,54	1,73 bA [*]	1,71 bA [*]	1,72 b	7,11 [*]	7,43 [*]	7,27
B-ETA	1,63 [*]	1,66 [*]	1,64	12,15	10,00	11,08	2,08 abB [*]	3,19 aA ^{*o}	2,64 a	8,54 ^{*o}	6,25	7,39
Media	1,54	1,76		11,24	10,07		2,11	2,31		7,44	6,92	
20 µmol L ⁻¹ B DN	1,03 [*]			11,61			2,02 [*]			4,46		
05 µmol L ⁻¹ B DN	2,63 ^o			10,77			0,85 ^o			3,53		
CV (%)	18,40			21,10			16,39			23,18		

Medias seguidas por misma letra mayúscula en misma línea y/o por misma letra minúscula en columna son estadísticamente iguales por el test de Tukey (α : 5 %).

* Test de Dunnett bilateral con el tratamiento testigo absoluto (05 µmol L⁻¹ B en disolución nutritiva- DN) significativo (α : 5 %).

° Test de Dunnett bilateral con el tratamiento testigo relativo (20 µmol L⁻¹ B en disolución nutritiva- DN) significativo (α : 5 %).

Tabla 16. Índices de la razón entre las concentraciones (c) de boro (B) y calcio (Ca), y viceversa, en los tejidos foliares (H), radicales (R) y frutos (F) de los tomates evaluados a los 106 DDT, expresados en porcentaje

Fuentes de B	cB/Ca_H		Media	cB/Ca_R		Media	cB/Ca_F		Media	cCa/B_H		Media	cCa/B_R		cCa/B_F			
	Tensoactivo	Sin		Tensoactivo	Sin		Tensoactivo	Sin		Tensoactivo	Sin		Tensoactivo	Sin	Tensoactivo	Sin		
	Con	Sin	Con	Sin	Con	Sin	Sin	Con	Sin	Con	Sin	Con	Sin	Con				
Ácido Bórico	56,59°	60,17°	58,38	506,96	517,00	511,99	2442,33°	1963,78°	2203,05	177,91°	168,10°	173,00	19,91	19,36	19,63	4,28*	5,15*	4,72
Bórax	66,44°	61,18°	63,81	454,88	509,85	482,36	2270,92°	2148,78°	2209,85	150,66*	166,34°	158,50	22,23	19,71	20,97	4,44*	4,70*	4,59
B-ETA	66,03°	63,34°	64,68	466,07	530,03	498,05	2278,71°	2254,65°	2266,68	154,02*	158,59°	156,31	22,14	18,96	20,55	4,44*	4,52*	4,48
Media	63,02	61,56		475,97	518,98		2330,65	2122,40		160,86	164,34		21,43	19,34		4,39	4,79	
20 µmol L ⁻¹ B DN	159,26*			510,62			3838,19*			63,35*			20,76			3,00*		
05 µmol L ⁻¹ B DN	54,03°			538,93			1464,86°			186,94°			18,60			6,84°		
CV (%)	11,34			14,72			28,37			10,34			15,29			16,82		

Tabla 17. Índices de la razón entre los acúmulos (a) de boro (B) y calcio (Ca), y viceversa, en los tejidos foliares (H), radicales (R) y frutos (F) de los tomates evaluados a los 106 DDT, expresados en porcentaje

Fuentes de B	aB/Ca_H		Media	aB/Ca_R		Media	aB/Ca_F		Media	aCa/B_H		Media	aCa/B_R		aCa/B_F			
	Tensoactivo	Sin		Tensoactivo	Sin		Tensoactivo	Sin		Tensoactivo	Sin		Tensoactivo	Sin	Tensoactivo	Sin		
	Con	Sin	Con	Sin	Con	Sin	Sin	Con	Sin	Con	Sin	Con	Sin	Con				
Ácido Bórico	69,47*	52,86°	61,16	443,96*	481,45*	462,70	1788,14°	1569,01°	1678,57 _b	144,74*	190,23°	167,48	22,68*	21,25	21,96	5,67°	7,30°	6,49 a
Bórax	59,37°	64,23°	61,80	510,10*	473,86*	491,98	2150,65°	2148,78°	2149,72 _{ab}	170,31*	156,98*	163,64	19,99	21,66*	20,82	4,65	4,70	4,68 b
B-ETA	74,51*	64,20°	69,35	466,07*	525,05	495,56	2345,89°	2218,19°	2282,04 _a	136,53*	156,37*	146,45	22,14*	19,07	20,61	4,28	4,51	4,40 b
Media	67,78	60,43		473,38	493,45		2094,89	1978,66		150,53	167,86		21,60	20,66		4,87	5,51	
20 µmol L ⁻¹ B DN	149,98*			593,54			4519,02*			67,79*			16,94			2,36*		
05 µmol L ⁻¹ B DN	46,01°			716,72			1685,72°			226,39°			14,80			6,12°		
CV (%)	14,40			18,35			20,27			16,67			16,65			26,10		

Medias seguidas por misma letra mayúscula en misma línea y/o por misma letra minúscula en columna son estadísticamente iguales por el test de Tukey (α : 5 %).

* Test de Dunnett bilateral con el tratamiento testigo absoluto (05 µmol L⁻¹ B en disolución nutritiva- DN) significativo (α : 5 %).

° Test de Dunnett bilateral con el tratamiento testigo relativo (20 µmol L⁻¹ B en disolución nutritiva- DN) significativo (α : 5 %).

4. DISCUSIÓN

4.1 Condiciones ambientales del invernadero y suma térmica acumulada

La temperatura media dentro del invernadero, a lo largo del período experimental, estuvo dentro del rango tolerable al desarrollo del tomatero, que es de 10 a 34°C (Silva & Giordano, 2000; Alvarenga, 2004). Pero, la humedad relativa del aire estuvo por debajo del 50%, considerado ideal para la cultura del tomate (Filgueira, 2008), hecho que combinado con el aumento constante de la temperatura en el estadio en que las plantas estaban en llenado y maduración de frutos, promovió el encortamiento del ciclo fenológico del tomatero, debido a la relación directa del desarrollo de las plantas con la temperatura del aire ambiente (Selina & Bledsoe, 2002; Trudgill, Honek & Van Straalen, 2005).

El clima cálido, seco y la alta intensidad lumínica favorecen el desarrollo de los tomateros (Filgueira, 2008), pero las respuestas de los distintos estadios fenológicos de la cultura frente a las condiciones ambientales variables, principalmente la temperatura y la radiación solar, son muy dinámicas, lo que condiciona sus características productivas y la duración del ciclo fenológico (Zotarelli et al., 2009). Esos autores cultivando tomateros a campo por tres años consecutivos, obtuvieron ciclos fenológicos de aproximadamente 90 días, desde el trasplante, con variación en el acúmulo de 850 a 1000 GD, de acuerdo con las temperaturas incidentes, que en media fue de aproximadamente 22°C y las absolutas de 5 y 30°C.

En el presente experimento el ciclo fenológico del tomatero, 106 días, estuvo por debajo de los 120 días, que generalmente lleva un cultivo a campo abierto, y de los 200 días que es el tiempo aproximado del ciclo de primavera bajo invernadero.

Ardilar, Fischer & Balaguera-López (2011), obtuvieron en su cultivo de híbridos de tomate larga vida bajo invernadero, con temperatura media de 20°C (absolutas medias de 15 y 25°C), un ciclo de 135 días con acúmulo de 1398,5 GD, desde el trasplante hasta la cosecha.

Palaretti, et al. (2012), cultivando el tomatero a campo durante el invierno, con temperatura media de 21°C (absolutas de 9,9 y 35,2°C), obtuvieron un ciclo de 124 días, con acúmulo de 1383,3 GD, desde el trasplante hasta la cosecha. La fase del desarrollo vegetativo (F2) duró 15 días con acúmulo de 125,3 GD. Mientras que los estadios F3 y F4, tardaron 61 días y tuvieron acúmulo de 629,0 GD. Ya la fase final (F5) llevó 48 días, con acúmulo de 628,9 GD.

Zamban (2014), cultivando 2 híbridos de tomate tipo italiano a campo, durante la primavera, con temperatura media de 21°C (absolutas de 8,5 y 32,9°C), registraron ciclos fenológicos de 117 y 121 días con sumas térmicas acumuladas de 1749,4 y 1717,5 GD, respectivamente, al paso que cultivando los mismos híbridos durante en verano, con

temperatura media de 20,5°C y absolutas de 9,6 y 32,3°C, obtuvieron ciclos de 104 e 111 días y sumas térmicas acumuladas de 1532,6 e 1495,2 GD, respectivamente.

Además del efecto directo de la temperatura y de la radiación solar sobre el ciclo fenológico y la producción de los variados genotipos de tomates, la deficiencia nutricional es otro factor que ejerce gran influencia sobre el crecimiento y desarrollo de la cultura.

4.2 Índice SPAD

El índice SPAD es el resultado de una lectura directa, no destructiva, de la intensidad del color verde de las hojas, como referencia cuantitativa de clorofilas para diagnosticar el estado nutricional de las culturas, principalmente del estado del N, pero el SPAD está siendo utilizado para averiguar posibles relaciones con otros nutrientes, como de la deficiencia del B en la cultura de *Ananas comosus*, para la cual no se verificó correlación sobre el índice SPAD (Ramos, Monnerat & Pinho, 2013). Varshney, Fariduddin y Yusuf (2015), por otro lado, observaron que el Índice SPAD puede ser utilizado como marcador para el cribado de plantas de *Brassica juncea* para la tolerancia al B.

La deficiencia permanente de B al tomate (Control-B) promovió una reducción constante de la intensidad de color de las hojas, probablemente debido a una disminución en la concentración de clorofilas y otros pigmentos foliares. Demostrando que la disfunción de actividades celulares, como la fotosíntesis, es un daño causado por la deficiencia del B (Moraes-Dallaqua, Beltrati & Rodrigues, 2000; Wimmer & Eichert, 2013). Los tratamientos con aplicaciones foliares de fuentes de B promovieron recuperación parcial de la intensidad del color, indicando que el B tiene efecto directo o indirecto sobre el índice de SPAD de las hojas del tomate y que debe ser un tema a ser mejor estudiado, ya que no hay informaciones disponibles en la literatura.

4.3 Medidas biométricas de producción y análisis nutricionales

La demanda del tomate por el B depende en gran parte del estadio fenológico de las plantas, que puede responder diferentemente al suministro de dosis, fuentes y modos de aplicación de ese micronutriente.

En la fase vegetativa, 19 DDT, mismo con la demanda aún baja en B y con los posibles residuos del suministro previo, se verificó que el tomate presentó los primeros síntomas del efecto deletéreo de la deficiencia de B. Las plantas cultivadas con 5 μmol^{-1} B (Control-B), presentaron rápida restricción al crecimiento y los principales síntomas de su deficiencia, con reducción de todos los parámetros biométricos evaluados, más nítidamente en el sistema radicular que presentó reducción de 59% de MSR y 70% de VRA, y consecuentemente

presentaron menores concentraciones y acúmulos de B y Ca en los tejidos foliares y radiculares.

Varios autores han constatado en sus investigaciones que la deficiencia de B causa impactos primeramente en las raíces de las plantas, con alteraciones morfológicas y limitaciones al crecimiento (Mei et al., 2011; Hajiboland, Farhanghi & Aliasgharpour, 2012; Wimmer & Eichert, 2013).

Sabiéndose que el B tiene como principales funciones aquellas relacionadas a la síntesis, lignificación y estructuración de la pared celular y su conexión con la membrana plasmática, asociado al complejo rhamnogalacturonan II (RG-II), y que estas funciones son fundamentales para los meristemas, es comprensible que los primeros síntomas de la deficiencia de B se hagan visibles en estos tejidos (Ryden et al., 2003; Huang & Snapp, 2004; Camacho-Cristóbal, Rexach & González-Fontes, 2008; Liu et al., 2014). Debido al comprometimiento de la organización y formación de la lamela media, con limitación a la división y diferenciación celular (Mengel & Kirkby, 2001), causando con eso, restricción al crecimiento aéreo y radicular, con hojas jóvenes deformadas y frágiles; menor retención de las flores; mala formación de los frutos; entre otros agravamientos (Smit & Combrink, 2004; Epstein & Blom, 2006; Ruiz et al., 2006; Dechen & Nachtigall, 2007; Hänsch & Mendel, 2009; Tombuloglu et al., 2012).

Al principio del estadio productivo, 32 DDT, las plantas siguieron presentando diferentes efectos de los tratamientos, pero de manera no mucho más acentuada de lo que se habían presentado en la fase anterior. Las plantas deficientes en B (Control-B: $5 \mu\text{mol}^{-1}$ B en DN) siguieron presentando grande restricción en el volumen radicular, un 40% menor que las plantas bien nutridas (Control+B: $20 \mu\text{mol}^{-1}$ B en DN). Hasta esa fase, los tratamientos con pulverizaciones foliares con fuentes de B, fueron eficaces en proveer B a las plantas, comparativamente a su suministro solamente vía radicular (Control+B: $20 \mu\text{mol}^{-1}$ B en DN). Las fuentes Ácido Bórico e B-etanolamina, en general, presentaron los mejores efectos sobre los atributos biométricos y nutricionales evaluados. El no uso del Tensoactivo se ha presentado más beneficioso a la producción de masas secas vegetales que su uso mesclado a la solución de pulverización.

La deficiencia de B impide el completo desarrollo y maduración de las células, o sea, el crecimiento secundario de las células, de modo que la constante deficiencia de este micronutriente no permite la recuperación, o parte del proceso de la multiplicación y diferenciación celulares (Buchanan, Gruijsem & Jones, 2009; Taiz & Zeiger, 2013). Con eso, la deficiencia continuada de B, puede hacer con que los daños estructurales sean difícilmente reversibles (Wimmer & Eichert, 2013).

Después de la fase de engorde de frutos a la fase de cosecha, 60 e 106 DDT, cuando los tomates presentan mayor demanda nutricional, los tratamientos con pulverizaciones foliares de B a las plantas con baja disponibilidad de B vía radicular ($5 \mu\text{mol}^{-1}$ B en DN) solamente revirtieron parcialmente los efectos de la deficiencia de B.

A los 60 DDT, se ha averiguado que no hubo diferencia consistente entre las fuentes de B y del uso del tensoactivo. Desde esa fase el suministro de B vía radicular (Control+B: $20 \mu\text{mol}^{-1}$ B en DN) presentó los mejores resultados biométricos, nutricionales y de producción, mientras que el tratamiento Control-B ($5 \mu\text{mol}^{-1}$ B en DN, sin pulverizaciones foliares), promovió las plantas menos desarrolladas y menos productivas, a consecuencia de la disfunción del meristemo aéreo que limitó el crecimiento en altura y la emisión y expansión foliar y de nuevos racimos, que se agravaron hasta al final de ciclo fenológico del tomate.

En especies en que el B tiene redistribución restringida, como el tomate, su suministro vía radicular es más eficiente en suplir las exigencias nutricionales constantes de las plantas, especialmente en la fase reproductiva, para la formación adecuada de los tejidos y órganos en formación. Pues, en esas especies el B es absorbido y distribuido por la planta a través del flujo transpiratorio (xilema) (Hu & Brown, 1997).

Choi et al. (2015) observaron que la deficiencia absoluta de B provocó grande limitación al crecimiento del tomate, desde la fase vegetativa, agravándose en la fase reproductiva, cuando identificaron una reducción de 40% en las variables biométricas, 46% en masa seca de raíces, de más de 60% en la producción de masa seca de la parte aérea y reducción drástica en la producción de frutos.

Ya Gondim (2009), no observó diferencia para los atributos de crecimiento vegetativo de tomates cultivados en sistema hidropónico sin suministro de B y con dosis de $0,5 \text{ mg L}^{-1}$ B en DN, al paso que en las fases subsecuentes sí identificó los síntomas clásicos de la deficiencia de B, como limitación al crecimiento y a la producción de frutos, alegando con eso, que el B es más exigido en la fase reproductiva del tomate, posiblemente en la fecundación de las flores.

Al final de ciclo fenológico, 106 DDT, se observó mayores efectos entre los tratamientos foliares. El efecto del tensoactivo fue variable de acuerdo con la fuente de B y el atributo evaluado. Las fuentes de B utilizadas parecen haber afectado a la partición de la materia seca de las plantas: los tratamientos Ácido Bórico y Bórax, ambos sin tensoactivo, promovieron, al final del ciclo fenológico, plantas con el mayor acúmulo de masas secas (MSH, MST, MSR y MSTT) y menor productividad. Al paso que los tratamientos con el uso de la B-etanolamina, especialmente sin el uso del tensoactivo, promovieron plantas más productivas, con valores más cercanos a los presentados por las plantas del Control+B.

Gondim et al. (2014), cultivando tomate en sistema hidropónico de tres fases, con fornecimiento de B solamente vía foliar, pulverizaciones realizadas a los 20, 40 y 60 DDT, con las dosis de 0,0; 0,085; 0,170; 0,225 y 0,340 g L⁻¹ B, utilizando Ácido Bórico como fuente de B, más 0,3 ml L⁻¹ de un tensoactivo no iónico, observaron que el aumento de las dosis de B promovió mejor desarrollo y producción del tomatero, al final del ciclo fenológico, 154 DDT. Hubo incremento linear con la dosis de 0,340 g L⁻¹ B, frente al control absoluto, de 43, 29, 30, 26, 24 y 49 %, respectivamente para: área foliar (4765,8 cm²), número de frutos (62,0), masa fresca de frutos (7282,2 g), masa seca de frutos (385,8 g), masa seca de planta entera (557,5 g) y la concentración foliar de B (72,0 mg kg⁻¹). Ya para las variables altura de plantas (114,8 cm), diámetro del tallo (10,6 mm) y número de hojas (25,8), hubo ajuste cuadrático con las máximas para las dosis de 0,165; 0,200 y 0,190 g L⁻¹ B, respectivamente, representando un incremento de 8, 12 y 11% en relación al control, demostrando que la aplicación foliar de B, presentó efectos positivos en el cultivo del tomatero.

Cuando Prado et al. (2013), experimentaron comparar la aplicación foliar de 0,340 g L⁻¹ B, utilizando Ácido Bórico como fuente de B, más 0,3 ml L⁻¹ del tensoactivo no iónico Agral, con el suministro de B vía radicular, 0,5 mg L⁻¹ B vía DN, verificaron que los tratamientos foliares no fueron eficientes en atender las exigencias nutricionales de los tejidos recién formados, por no haber ocurrido la redistribución del B aplicado, comprobando la inmovilidad del B en el floema y, con eso, la necesidad de nuevas aplicaciones foliares a medida que la planta haga nuevas emisiones de flores y frutos. Con eso, constataron que el suministro de B vía radicular demostró ser más eficiente en cubrir las exigencias nutricionales, debido a la constante disponibilidad del B en DN y por este ser absorbido por las raíces y ser transportado vía flujo transpiratorio (xilema) hasta los tejidos en crecimiento (Hu & Brown, 1997). Tal cual lo observado en el presente experimento.

Observaciones de cultivos de tomatero a campo abierto, demuestran que mismo con la aplicación semanal de bórax vía foliar, no hubo eficiencia igual que la aplicación de B vía radicular, por lo cual se recomienda el empleo de pulverizaciones de B vía foliar como complementación a la nutrición boratera vía radicular (Prezotti, 2010).

Para la eficiencia de la nutrición foliar, hay que atenderse para las exigencias del tomatero (genótipo) cuanto al B en sus diferentes estadios fenológicos, bien como la concentración del micronutriente a ser aplicado, el tiempo de absorción y su movilidad en las plantas (Gondim, 2009). Ese mismo autor, observó que los daños de la deficiencia de B es más pronunciada en la fase reproductiva del tomatero y que la aplicación foliar de una disolución de 0,340 g L⁻¹ B (ácido bórico) con tensoactivo no iónico fue rápidamente absorbido por las hojas del tomatero, un 50% en aproximadamente 10 horas después de la

aplicación, no identificando limitaciones impuestas por la cutícula a la absorción, pero no se constató redistribución floemática del B aplicado.

En tomatero no se ha verificado compuestos orgánicos (polioles u otros) que faciliten la movilidad del B por vía floemática (Prado et al., 2013), siendo su transporte realizado esencialmente através del xilema, dependiente directamente de su disponibilidad en la DN y de la tasa transpiratoria de las plantas, lo que afecta el particionamiento del B en las plantas (Choi et al., 2015).

La deficiencia de B induce a alteraciones estructurales, tanto en las hojas, como en las raíces y en los haces vasculares, afectando las relaciones hídricas de las plantas, lo que afecta directamente la capacidad de permeabilidad y absorción foliar. Daños que son reversibles si la deficiencia de B es apenas transitorio (Will et al., 2011; Wimmer & Eichert, 2013). Por lo tanto, la fertilización foliar de B debe ser realizada antes de que los síntomas más graves de la deficiencia de B puedan ocurrir, para que sean más efectivas (Asad, Blamey & Edwards, 2003; Will et al., 2011).

Choi et al. (2015), observaron estos efectos, con una reducción de 30% en la fotosíntesis, 63% en la conductancia estomática y 46% la transpiración, con en comparación con plantas bien nutridas con B. También verificaron a través de microscopia que la gran mayoría de los estomas de hojas deficientes en B se encontraban cerrados.

Quizás por efectos como estos que se verificó que las plantas deficientes en B (Control-B: $5 \mu\text{mol L}^{-1}$ em DN) hayan presentado mayor acúmulo de B en los tejidos radiculares que en las hojas y frutos, posiblemente por un problema en el transporte de B hacia la parte aérea.

Con la aplicación ácido bórico vía foliar en *Glycine Max* mezclado con sorbitol y manitol, se observó que estos polioles promovieron una mejora en la absorción de B (Will et al., 2011), pero disminuyeron su movilidad dentro de la planta (Will et al., 2012).

Davis et al. (2003) estudiando el efecto de la aplicación de B vía DN ($1,0 \text{ mg L}^{-1}$ B como H_3BO_3) y vía foliar ($1,87 \text{ mg L}^{-1}$ B quelatizado con manitol), verificaron que los tratamientos presentaron efectos similares para el crecimiento, producción y calidad de los frutos de tomates cultivados en sistema hidropónico y a campo. Con eso, los autores afirmaron que el micronutriente fue redistribuido desde las hojas, que recibieron las pulverizaciones de B, hacia los frutos.

En el presente experimento los tratamientos foliares promovieron incremento en el acúmulo de B en los frutos en la orden de 20 a 39% (Tabla 13), con prioridad de 42 a 69% (Tabla 14) frente a las hojas (a_B F/H), con mejores resultados obtenidos con la fuente B-etanolamina. Eso demuestra que se puede haber mejora de los niveles nutricionales de los frutos, através de la fertilización foliar, con el fin de evitar desordenes fisiológicas. Cuanto al

acumulo de B obtenido en las raíces de las plantas tratadas con aplicaciones foliares de B, no se ha verificado efecto significativo de la movilización de este micronutriente desde las hojas hacia las raíces, pues se verifica que los valores nutricionales coinciden con el total de masa seca de raíces producidas por las plantas bajo cada tratamiento.

En relación al Tensoactivo utilizado en las aplicaciones foliares, se observa que este promovió efecto negativo en relación a producción de masa seca foliar por las plantas, en las fases 32 y 106 DDT. Cuanto a su interacción con las fuentes de B, los efectos variaron de acuerdo con el atributo evaluado y con la fase fenológica del tomatero. El tensoactivo, en general, presentó efecto favorable cuando empleado con la fuente Bórax. Cuando mezclado con el B-etanolamina, señaló ser más desfavorable que al no utilizarlo y con el ácido bórico, no presentó efectos destacables, pero tampoco fue perjudicial.

El efecto dañino del uso del tensoactivo con la fuente B-etanolamina, puede ser debido a una acción abrasiva sobre la epidermis foliar, pues la etanolamina por sí ya presenta propiedades “detergentes de la cutícula”, pues es un compuesto orgánico formado por un grupo hidroxilo y otro amino: $\text{CH}_2(\text{NH}_2)\text{CH}_2\text{OH}$, y con eso el tensoactivo puede haber cambiado indeseadamente las propiedades de la disolución nutritiva. De modo que el compuesto B-etanolamina, aplicado puro, aisladamente, fue algo mejor para suministrar B al tomatero.

Formulaciones de elementos minerales con tensoactivos pueden mejorar la absorción y la bioactividad del nutriente suministrado a las hojas, pero el tensoactivo también puede presentar efectos deletéreos, como la fitotoxicidad, del ingrediente activo o mineral aplicado. Lo que exige ajustes de las concentraciones relativas del nutriente y del tensoactivo para lograr eficiencia en la absorción del nutriente por las plantas, sin causar daños a ellas (Fernández, Sotiropoulos & Brown, 2015).

Se ha verificado que al final del ciclo fenológico del tomatero, 106 DDT, la concentración foliar de Ca está por encima del rango considerado adecuado (14 a 40 g kg^{-1}) para todos los tratamientos. Ya la concentración foliar de B para las plantas deficientes en B (Control-B: $5,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ en DN) atingió el nivel crítico (menor que 30 g kg^{-1}) y las plantas tratadas con pulverizaciones foliares muy cerca de ese límite. Solamente el suministro total del B vía radicular (Control-B: $20,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ en DN) proporcionó niveles adecuados de B en las hojas, $93,1 \text{ g kg}^{-1}$, siendo considerado el rango de 30 a 100 g kg^{-1} (Prezotti, 2010).

Gondim (2009), al final del ciclo fenológico observó concentración de 186 mg kg^{-1} B en los tejidos foliares de las plantas cultivadas con $0,5 \text{ mg L}^{-1}$ B en DN, contra tan solo 27 mg kg^{-1} B en las plantas bajo deficiencia absoluta de este micronutriente, una diferencia de 85%. También observó que en todos los estadios evaluados hubo mayores concentraciones de B en

las hojas, donde se encontró 96% del total de B absorbido de la DN, para ambos los tratamientos. La concentración (23,0 mg kg⁻¹ B) y el acúmulo de B (1,23 mg) en los frutos fueron 52 y 81% mayores para las plantas bien nutridas en B, frente a las plantas deficientes, que tuvieron tan solo 11 mg kg⁻¹ B y 0,23 mg B, respectivamente.

La evidente interacción antagónica observada entre el Ca y el B en este experimento estuvo de acuerdo con las relaciones ya conocidas entre estos nutrientes, que poseen características comunes al que se refiere a sus funciones en las plantas, de modo que la cantidad y disponibilidad de uno influye en la distribución y exigencia del otro (Ramón, Carpena & Gárate 1990; Quiles-Pando et al., 2013).

Varios estudios indican que la relación B-Ca²⁺ depende de la cultura en cuestión, siendo que los principales resultados observados enseñan que el B puede disminuir el efecto de la deficiencia del Ca y que bajo la deficiencia severa de B, que cause daños a la estructura xilemática y en los procesos de absorción y transporte, induce a la deficiencia de Ca en los frutos de tomate (Yamauchi, Hara & Sonida, 1986; Redondo-Nieto et al., 2003; El-Hamdaoui et al., 2003; Turan, Taban & Taban, 2009; González-Fontes et al., 2014).

Choi et al., 2015, reportaron que con el suministro adecuado de B en DN (0,5 mg L⁻¹ de B) en el cultivo del tomatillo, la concentración de B fue mayor en las hojas (54,3 mg kg⁻¹), seguida en frutos (27,8 mg kg⁻¹), pecíolo (24,7 mg kg⁻¹) y tallo (14,1 mg kg⁻¹), mientras que bajo deficiencia de B las concentraciones fueron mayores en esta orden: tallo (7,82 mg kg⁻¹), pecíolo (8,20 mg kg⁻¹), frutos (5,5 mg kg⁻¹) y hojas (4,1 mg kg⁻¹). Debido a las limitaciones impuestas a la transpiración en las plantas deficientes en B, hubo una reducción de 46% en la concentración de Ca en hojas, que presentaron 17,6 g kg⁻¹ contra 32,3 g kg⁻¹ para el tratamiento con suministro ideal de B en DN, mientras que para los tejidos del tallo, pecíolo foliar y frutos hubo incremento en la concentración de Ca en las plantas deficientes en B.

Rab & Haq (2012) reportaron el efecto positivo en suministrar B y Ca (0,6% CaCl₂ + 0,2% borax) conjuntamente vía foliar en el tomatillo, con el cual lograron los mejores atributos biométricos, nutricionales y de producción. Igualmente a Islam et al. (2016), señalan las ventajas en profundizar el estudio nutricional de la relación B-Ca²⁺, con objetivo de comprender mejor el balance y las formas de aplicación de estos nutrientes al tomatillo y garantizar mayores y mejores producciones.

Los atributos de calidad de los frutos, que no presentaron efecto destacable entre los tratamientos están dentro de parámetros considerados adecuados para el tomatillo.

Silva et al. (2011) entre varios híbridos tomate *cherry*, obtuvieron °Brix de 3,73 a 4,95 y Aguirre & Cabrera (2012), también entre varios genótipos, obtuvieron con los mejores °Brix de 4,04 a 6,18 y ATT de 1,28 a 2,21. Islam et al. (2016), cultivando tomate *cherry* con

pulverizaciones con formulaciones con B y Ca, verificaron que la aplicación foliar semanal de B y Ca conjuntamente ($0,05\text{ g L}^{-1}$ B, ácido bórico + $40,0\text{ g L}^{-1}$ Ca, CaCl_2) proporcionó producción de frutos con mayor DUR: 2,41, y mayores concentraciones de B ($6,18\text{ mg kg}^{-1}$) y Ca ($1,09\text{ g kg}^{-1}$), mientras que el °Brix:7,12 y ATT: 0,71 no difirieron con los demás tratamientos. Las plantas bajo deficiencia absoluta de B, produjeron los frutos con °Brix:7,21; ATT: 0,68; DUR: 1,85; $5,82\text{ mg kg}^{-1}$ B y $1,02\text{ g kg}^{-1}$ Ca.

Por fin, resumiéndose los resultados alcanzados con el presente experimento, se ha certificado que entre los tratamientos testados, el suministro integral de B vía radicular promovió los mejores resultados de producción del tomatero y que las aplicaciones foliares de fuentes de B, con o sin tensoactivo, fueron eficientes en aportar la cantidad exigida de B por las plantas en la fase inicial de producción, cuando la exigencia nutricional es menor. Al final del ciclo fenológico, las fuentes B-etanolamina y ácido bórico se demostraron más eficaces y ha sido mejor no utilizar el tensoactivo testado.

5. CONCLUSIONES

- El ciclo fenológico del minitomate cv. Tangerino F1 fue de 106 días con acúmulo de 1729 grados-días;
- Las pulverizaciones foliares con fuentes de B a los tomateros corrigieron solamente parcialmente la deficiencia de B de las planta cultivadas con baja concentración de B en disolución nutritiva ($5\text{ }\mu\text{mol L}^{-1}$ Control-B). El suministro del B totalmente relizado vía radicular ($20\text{ }\mu\text{mol L}^{-1}$ Control+B) es más eficiente para la nutrición boratera del tomatero;
- El complejo B-etanolamina y el ácido bórico son las fuentes que promovieron tomateros más desarrollados, productivos y con mejor estado nutricional, en comparación con la aplicación foliar del bórax;
- El uso del tensoactivo no resultó en relevantes mejorías en el crecimiento y producción del tomatero;
- Es evidente la relación antagónica entre B y Ca en las plantas de tomate bajo diferentes suministros de B.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A deficiência de cálcio (Ca) e boro (B) na cultura do tomateiro causa danos a nível morfoanatômico, com grande comprometimento estrutural, com consequente limitação ao crescimento, desenvolvimento e produção da cultura. Os principais sintomas são o superdesenvolvimento do floema, com aumento da espessura do limbo foliar e o encurtamento dos ápices radiculares em relação às primeiras raízes laterais. As plantas com deficiência de Ca ($0,5 \text{ mmol L}^{-1}$) apresentaram os sintomas mais nitidamente ao final do ciclo fenológico do tomateiro, enquanto as plantas com alta restrição de B em solução nutritiva ($1 \text{ } \mu\text{mol L}^{-1}$), externalizaram os sintomas de deficiência muito rapidamente, em 48 horas, e seu efeito é bastante mais drástico;

As doses estimadas de $6,0$ a $7,0 \text{ mmol L}^{-1}$ de Ca e $35,0 \text{ } \mu\text{mol L}^{-1}$ de B, fornecidas via radicular, resultam em maior crescimento e produção do tomateiro tipo cherry;

O aumento na disponibilidade de Ca e B na solução nutritiva de cultivo do tomateiro promove maior concentração de nutrientes nos frutos do cacho 1 e especialmente desses nutrientes na parte distal dos frutos, onde ocorre BER;

Aplicações de B via foliar não é eficiente tal qual seu fornecimento via radicular. As pulverizações foliares com fontes de B podem corrigir parcialmente a deficiência desse micronutriente, podendo ser adotada como uma técnica complementar à nutrição boratada do tomateiro;

B-etanolamina e ácido bórico são fontes de B eficientes para a nutrição do tomateiro;

O uso de tensoativo à base de polióis não resulta em melhorias relevantes para o crescimento e produção do tomateiro;

É evidente que há uma relação antagônica entre Ca e B em tomateiros com deficiência B e, por outro lado, essa relação passa a ser sinérgica quando os tomateiros estão com deficiência nutricional em Ca.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abrahão, C.; Villas Bôas, R. L.; Bull, L.T. relação K:Ca:Mg na solução nutritiva para a produção de minitomate cultivado em substrato. **Irriga**, v. 19, n. 2, p. 214-224, 2014.
- Adams P, Ho LC. The susceptibility of modern tomato cultivars to blossom-end rot in relation to salinity. **Journal of Horticultural Science**. v. 67, p. 827–839, 1992.
- Adams, P.; Ho, L.C. Effects of environment on the uptake and distribution of calcium in tomato and on the incidence of blossom-end rot. **Plant and Soil**, v. 154, p. 127-132, 1993.
- Adams, P.; Ho, L.C. Differential effects of salinity and humidity on growth and Ca status of tomato and cucumber grown in hydroponic culture. In: Growing media and plant nutrition. **Acta Horticulturae**, n. 401, p. 357-363, 1995.
- Aguirre, N.C.; Cabrera, F.A.V. Evaluating the fruit production and quality of cherry tomato (*Solanum lycopersicum* var. cerasiforme). **Revista Facultad Nacional de Agronomía**, v. 65, n. 2, p. 6593-6604, 2012.
- Alvarenga, M.A.R. **Tomate, produção em campo, em casa-de-vegetação e em hidroponia**. Lavras: UFLA, 2004. 393 p.
- Álvarez-Fernandez A., Perez-Sanz A., Lucena J.J. Evaluation of washing procedures on mineral analysis for orange and peach leaves sprayed with seaweed extracts enriched with iron. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 32, p. 157-170, 2001.
- Andriolo, J.L.; Ludke, L.; Duarte, T.S.; Skrebsky, E. Posição dos frutos e seu efeito na repartição da matéria seca da planta do tomateiro. **Ciência Rural**, v.30, n.2, 2000.
- Ardilar, G.R.; Fischer, G.; Balaguera-López, H.E. Caracterización del crecimiento del fruto y producción de tres híbridos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en tiempo fisiológico bajo invernadero. **Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas**, v. 5, n. 1, p. 44-56, 2011.
- Arnold, C. Y. Maximum-minimum temperatures as a basis for computing heat units. **Journal of the American Society for Horticultural Sciences**, v. 76, n. 1, p. 682-692, 1960.
- Asad, A.; Blamey, F.P.C.; Edwards, D.G. **Boron nutrition of sunflower crops**. In: reunião nacional de pesquisa de girassol. Simpósio nacional sobre a cultura do girassol, 2., 2001, Rio Verde. Resumos... Rio Verde: FESURV/IAM, p.14-19, 2001.
- Asad, A.; Blamey, F.P.C.; Edwards, G. Effects of boron foliar applications on vegetative and reproductive growth of sunflower. **Annals of Botany**, v. 92, p. 565-570, 2003.
- Arruda Júnior, S.J.; Bezerra Neto, e.; Barreto, L.P.; Resende, L.V. Podridão apical e produtividade do tomateiro em função dos teores de cálcio e amônio. **Revista Caatinga**, v.24, n.4, p. 20-26, 2011.
- Association of Official Analytical Chemists - A.O.A.C. (1975). **Official methods of analysis**, 12 ed. Washington D.C., 1094 p.
- Bastías, E.; Alcaraz-López, C.; Bonilla, I. Martínez-Ballesta, M.C.; Bolaños, L.; Carvajal, M. Interactions between salinity and boron toxicity in tomato plants involve apoplastic calcium. **Journal of Plant Physiology**, v. 167, p. 54-60, 2010.
- Basso S.M.S. Caracterização morfológica e fixação biológica de nitrogênio de espécies de *Adesmia* DC. & *Lótus* L. Porto Alegre: UFRGS, 1999. 268 p. (Tese doutorado)
- Bataglia O.C., Furlani A.M.C., Teixeira J.P.F., Furlani P.R., Gallo Jr. **Métodos de análise química de plantas**. Instituto Agrônomo de Campinas (Boletim Técnico, 78), 48p, 1983.
- Belda, R.M.; Ho, L.C. Salinity effects on the network of vascular bundles during tomato fruit development. **Journal of Horticultural Science**, v. 68, n. 4, p. 557-564, 1993.

- Bolaños, L.; Lukaszewski, K.; Bonilla, I.; Brevins, D. Why boron? **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 42, p. 907-912, 2004.
- Brown, P.H.; Bellaloui, N.; Wimmer, M.A.; Bassil, E.S.; Ruiz, J.; Hu, H.; Pfeiffer, H.; Dannel, F.; Römheld, V. Boron in plant biology. **Plant Biology**, v. 4, p. 205–223, 2002.
- Buchanan, B.B.; Gruissem, W.; Jones, R.L. (Eds). Biochemistry and molecular biology of plants. Rockville, Md.: **American Society of Plant Physiologists**, 2009, 1367p.
- Cakmak, I.; Römheld, V. Boron deficiency-induced impairments of cellular functions in plants. **Plant and Soil**, v.193, n.1-2, p.71-83, jun. 1997.
- Carrijo, O.A.; et al. Produtividade do tomateiro em diferentes substratos e modelos de casas de vegetação. **Horticultura Brasileira**, v. 22, n. 1, p. 5 - 9, 2004.
- Carvalho, R.F.; Moda, L.R.; Silva, G.P.; Gavassil, M.A.; Prado, R.M. Nutrition in tomato (*Solanum lycopersicum* L) as affected by light: revealing a new role of phytochrome A. **Australian Journal of Crop Science**, v. 10, n. 3, p.331-335, 2016.
- Cervilla, L.M.; Rosales, M.A.; Rubio-Wilhelmi, M.M.; Sánchez-Rodríguez, E.; Blasco, B.; Ríos, J.J.; Romero, L.; Ruiz, J.M. Involvement of lignification and membrane permeability in the tomato root response to boron toxicity. **Plant Science**, v. 176, p. 545-552, 2009.
- Choi, E.Y.; Park, H.I.; Ju, J.H.; Yoon, Y.H. Boron Availability Alters Its Distribution in Plant Parts of Tomato. **Horticulture, Environment, and Biotechnology**, v. 56, n. 2, p.145-151, 2015.
- Clark, R. B. **Physiological aspects of calcium, magnesium and molybdenum deficiencies in plants**. In: Adams F. (Ed.) Soil Acidity and Liming 2^a ed. Madison, p. 99-170, 1984.
- 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**. Potafos, 1993.
- Camacho-Cristobal, J.J.; Lunar, L.; Lafont; F.; Baumert, A; Gonzales-Fontes, A. Boron deficiency causes accumulation of chlorogenic acid and caffeoyl polyamine conjugates in tobacco leaves. **Journal of Plant Physiology**, v. 161, p. 879-881, 2004.
- Camacho-Cristóbal, J.J.; Rexach, J.; González-Fontes, A. Boron in Plants: Deficiency and Toxicity. **Journal Integrative Plant Biology**, v. 50, p. 1247-1255, 2008.
- Davis, J.M.; Sanders, D.C.; Nelson, P.V.; Lengnick, L.; Sperry, W.J. Boron improves growth, yield, quality and nutrient content of tomato. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 128, n. 3, p.441-446, 2003.
- Dayod, M.; Tyerman, S. D.; Leigh, R. A.; Gilliam, M. Calcium storage in plants and the implications for calcium biofortification. **Protoplasma**, v. 247, p. 215-231, 2010.
- Dechen, A.R.; Nachtigall, G.R. Elementos requeridos à nutrição de plantas. IN: Novais et al.(Ed.). **Fertilidade do Solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, p. 91-132.
- Dembitsky, V.M.; Smoum, R.; Al-Quntar, A.A.; Ali, H.A.; Pergament, I.; Srebnik, M. Natural occurrence of boron-containing compounds in plants, algae and microorganisms. **Plant Science**, v.163, p.931-942, 2002.
- Dorais, M., Papadoulos, A.P., Gosselin, A. Greenhouse tomato fruit quality. **Horticultural Science**, 26, p.239-319, 2001.
- Ekinci, M.; Estringü, A.; Dursun, A.; Yildirim, E.; Turan, M.; Karaman, M.R.; Arjumend, T. Growth, yield, and calcium and boron uptake of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) and

- cucumber (*Cucumis sativus* L.) as affected by calcium and boron humate application in greenhouse conditions. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry** v. 39, p. 1-20, 2015.
- El-Hamdaoui A., Redondo-Nieto M., Rivilla R., Bonilla I.; Bolaños L. Effects of boron and calcium nutrition on the establishment of the Rhizobium leguminosarum-pea (*Pisum sativum*) symbiosis and nodule development under salt stress. **Plant, Cell and Environment**, v. 26, p. 1003–1011, 2003.
- Epstein, E.; Blomm, A.J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. 2 ed. Planta, 2006. 403 p.
- Fernandes, A.A.; Martinez, H.E.P.; Fontes, P.C.R. Produtividade, qualidade dos frutos e estado nutricional do tomateiro tipo longa vida conduzido com um cacho, em cultivo hidropônico, em função das fontes de nutrientes. **Horticultura Brasileira**, v.20, n.4, p.564-570, 2002.
- Fernández, V.; Sotiropoulos, T.; Brown, P. **Adubação Foliar: Fundamentos Científicos e Técnicas de Campo**. Trad. do original: Foliar Fertilization: scientific principles and field practices, por Arnaldo Antonio Rodella. Abisolo, 2015, 150p.
- Filgueira, F.A.R. **Novo Manual de Olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. Viçosa: UFV, 2008. 421p.
- Fontes, P.C.R. Podridão apical do tomate, queima dos bordos das folhas em alface e depressão amarga dos frutos em maçã: deficiência de cálcio? **Horticultura Brasileira**, v.21, n.2, p. 145, 2003.
- Fontes, P. C. R. **Nutrição mineral de plantas: avaliação e diagnose**. Viçosa, MG: Arka Editora, 2011. 296 p.
- Franceschi , V. R.; Nakata P. A. Calcium oxalate in plants: Formation and function. **Annual Review of Plant Biology**, 56, p. 41-71, 2005.
- Freitas, S.T.; Padda, M.; Wu, Q.; Park, S.; Mitcham, E.J. Dynamic alternations in cellular and molecular components during blossom-end rot development in Tomatoes expressing sCAX1, a constitutively active Ca²⁺/H⁺ antiporter from Arabidopsis. **Plant Physiology**, v. 156, p. 844-855, 2011.
- Freitas, S. T.; Mitcham, E. J. Factors involved in fruit calcium deficiency disorders. **Horticultural Reviews**. v. 40, n. 01, p. 107-146, 2012.
- Freitas, S.T.; Handa, A.K.; Wu, Q.; Park, S.; Mitcham, E.J. Role of pectin methylesterases in cellular calcium distribution and blossom-end rot development in tomato fruit. **The plant journal**, v. 71, p. 824-835, 2012.
- Freitas, S.T.; Mcelrone, A.J.; Shackel, K.A.; Mitcham, E.J. Calcium partitioning and allocation and blossom-end rot development in tomato plants in response to whole-plant and fruit-specific abscisic acid treatments. **Journal of Experimental Botany**, v. 65, n. 1, p. 235–247, 2014.
- Gilliham, M.; Dayod, M.; Hocking, B.J.; Xu, B.; Conn, S.J.; Kaiser, B.N.; Leigh, R.A.; Tyerman, S.D. Calcium delivery and storage in plant leaves: exploring the link with water flow. **Journal of Experimental Botany**, v. 62, n. 7, p. 2233-2250, 2011.
- Gondim, A.R.O. **Absorção e mobilidade do boro em plantas de tomate e de beterraba**. Tese (Doutorado em Fitotecnia). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Jaboticabal, 2009, 90p.

- Gondim, A.R.O.; Prado, R.M.; Cecílio Filho, A.B.; Alves, A.U; Correia, M.A.R. Boron foliar application in nutrition and yield of beet and tomato. **Journal of Plant Nutrition**, v. 38, p. 1573-1579, 2014.
- González-Fontes, A.; Navarro-Gochicoa, M.T.; Camacho-Cristóbal, J.J.; Herrera-Rodríguez, M.B.; Quiles-Pando, C. Rexach, J. Is Ca²⁺ involved in the signal transduction pathway of boron deficiency? New hypotheses for sensing boron deprivation. **Plant Science**, v. 217-218, p.135-139, 2014.
- Hajiboland, R.; Farhanghi, F.; Aliasgharpour, M. Morphological and anatomical modifications in leaf, stem and roots of four plant species under boron deficiency conditions. **Anales de Biología**, v. 34, p. 15-29, 2012.
- Hänsch, R.; Mendel, R.R. Physiological functions of mineral nutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, Cl). **Current Opinion in Plant Biology**, v. 12, p. 259–266, 2009.
- Hermes, C. C.; Medeiros, S. L. P.; Manfron, P. A.; Caron, B.; Pommer, S. F.; Bianchi, C. Emissão de folhas de alface em função da soma térmica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, n. 2, p. 269-275, mar, 2001.
- Hoogenboom, G. Contribution of agrometeorology to the simulation of crop production and its application. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.103, n. ½, p.137-157, 2000.
- Ho LC, Belda R, Brown M, Andrews J, Adams P. Uptake and transport of calcium and the possible causes of blossom-end rot in tomato. **Journal of Experimental Botany**, v. 44, p. 509–518, 1993.
- Ho, L. C.; White, F.J. A cellular hypothesis for the induction of blossom-end rot in tomato fruit. **Annals of Botany**. v. 95, p. 571-581, 2005.
- Huang, J.S.; Snapp, S.S. The effect of boron, calcium and surface moisture os shouder check, a quality defect in fresh-market tomato. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 129, v. 4, p. 599-607, 2004.
- Huang J. H., Cai Z. J., Wen S. X., Guo P., Ye X., Lin G. Z., Chen, L. S. Effects of boron toxicity on root and leaf anatomy in two citrus species differing in boron tolerance. **Trees Structure and Function**, v. 28, n. 6, p. 1653–1666, 2014.
- Hu H.; Brown P.H. Absorption of boron by plant roots. **Plant and Soil**, Chapter 4, v.193, p.49-58, 1997.
- Hu, H., Penn, S.G., Lebrila, C.B., Brown, P.H. Isolation and characterization of soluble boron complexes in higher plants. The mechanism of phloem mobility of boron. **Plant Physiology**, v.113, p. 649-655, 1997.
- Ial- Instituto Adolfo Lutz. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. Odair Zenebon,O., Pascuet, N.S & Tiglia, P. São Paulo, 2008. 1020p.
- Ibge - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Sistema IBGE de recuperação automática** - **SIDRA**. Disponível em:<<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/prevsaf/default.asp?t=1&z=t&o=26&u1=1&u2=1&u3=1&u4=1>>. Acesso em 17 de março de 2014.
- Incaper – Instituto Capixaba de Pesquisa, Assitência Técnica e Extensão Rural. **Tomate**. Vitória, ES, 2010. 430 p.
- Islam, M.Z.; Mele, M.A.; Baek, J.P.; Kang, H.M. Cherry tomato qualities affected by foliar spraying with boron and calcium. **orticulture, Environment, and Biotechnology**, v.57, n.1, p. 46-52, 2016.

- Jezler, C. N. **Avaliação anatômica e ultraestrutural de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) sob doses de boro e cobre**. 2016. Tese, Universidade Federal de Viçosa, 72p.
- Johansen D.A. 1940. **Plant Microtechnique**. 3th edn. New York: Paul B. Hoeber, Inc.
- Karp, G. **Biologia celular e molecular: conceitos e experimentos**. 3 ed. São Paulo: Manole, 2005.
- Kinet, J.M.; Peet, M.M. Tomato. In: WIEN, H.C. (Ed.). **The physiology of vegetable crops**. CAB International, 2006. p. 207-258.
- Klaus, B. Cálcio nos solos e nas plantas. Research Centre Hanninghof, Yara International, Alemanha. Informações agronômicas, n.117, 2007.
- 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.
- Läuchli, A. Functions of boron in higher plants: Recent advances and open questions. **Plant Biology**, v. 4, p.190-192, 2002.
- Lee, S.H.; Kim, W.S.; Han, T-H. Effects of post-harvest foliar boron and calcium applications on subsequent season's pollen germination and pollen tube growth of pear (*Pyrus pyrifolia*). **Scientia Horticulturae**, v. 122, p. 77-82, 2009.
- Liu G, Dong X, Liu L, Wu L, Peng S, jiang C. Boron deficiency is correlated with changes in cell wall structure that lead to growth defects in the leaves of navel orange plants. **Scientia Horticulturae**, v. 176, p. 54-62, 2014.
- Loos, R.A.; Silva, D.J.H.; Fontes, P.C.R.; Picanço, M.C. Identificação e quantificação dos componentes de perdas de produção do tomateiro em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, v. 22, n. 2, p. 238-242, 2008.
- Maia, J.T.L.S. **Cultivo hidropônico do tomateiro do grupo cereja: crescimento, produção e qualidade sob doses de K e sintomas visuais e anatomia sob omissão de nutrientes**. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012, 104p.
- Malavolta, E.; Vitti, G.C.; Oliveira, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. POTAFOS, 1989. 201p.
- Malavolta, E.; Vitti, G.C.; Oliveira, S.A. (1997). **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2ed. Piracicaba: Potafos, 319 p.
- Malavolta, E. **Manual de nutrição de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638 p.
- Marouelli, W.A.; Silva, H.R.; Silva, W.L.C. (2012). **Irrigação do tomateiro para processamento**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 24p.
- Marschner, P. (Ed). **Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants**. 3. Ed. London: Academic Press, 2012, 651p.
- Martinez, H.E.P. Distúrbios nutricionais em hortaliças cultivadas em substratos com baixa atividade química. In: Barbosa, J.G. et al. **Nutrição e adubação de plantas cultivadas em substratos**. Viçosa, MG: UFV, 2004, 434p.
- Matoh, T. Boron in plant cell walls. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.193, n.1/2, p.59-70, 1997.
- Mei, L.; Sheng, O.; Peng, S.A.; Zhou, G.F.; Wei, Q.J.; Li, Q.H. Growth, root morphology and boron uptake by citrus rootstock seedlings differing in boron-deficiency responses. **Scientia Horticulturae**, v. 129, p. 426-432, 2011.
- Mengel, K.; Kirkby, E. **Principles of plant nutrition**. 5. ed. Dordrecht/Boston/London: Kluwer Academic Publishers, 2001. 849p.

- Minamide, R.T.; HO, L.C. Deposition of calcium compounds in tomato fruit in relation to calcium transport. **Journal of Horticultural Science** v. 68, n. 5, p. 755-762, 1993.
- Miqueloto, A.; Amarante, C.V.T.; Steffens, C.A.; Santos, A.; Mitcham, E. Relationship between xylem functionality, calcium content and the incidence of bitter pit in apple fruit. **Scientia Horticulturae**, v. 165, p. 319–323, 2014.
- Moraes-Dallaqua, M.A.M.; Beltrati, C.M.; Rodrigues, J. D. Anatomia de ápices radiculares de feijão cv. carioca submetidos a níveis de boro em solução nutritiva. **Scientia Agricola**, v.57, n.3, p.425-430, 2000.
- Natale, W.; Prado, R.M.; Môro, F.V. Alterações anatômicas induzidas pelo cálcio na parede celular de frutos de goiabeira. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.40, n.12, p.1239-1242, 2005.
- Oertli, J.J. Non-homogeneity of boron distribution in plants and consequences for foliar diagnosis. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, v. 25, p. 1133-47, 1994.
- Ometto, J.C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: ed. Agronomica Ceres, 440p, 1981.
- Olle, M.; Bender, I. Causes and control of calcium deficiency disorders in vegetables: a review. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v. 84, p. 577-584, 2009.
- Olle, M.; Williams, I.H. Physiological disorders in tomato and some methods to avoid them. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, 2016.
- Oliveira, R.H.; Lima, M.J.S.; Pereira-Junior, H.A.; Rebouças, T.N.H.; Morais, O.M.; Guimarães, B.V.C.; Nolasco, C.A. Caracterização de sintomas visuais de deficiência de micronutrientes em tomateiro do grupo salada. **Semina: Ciências Agrárias**, v.30, suplemento 1, p.1093-1100, 2009.
- O'brien, T. P.; Feder, N.; Mccully, M. E. Polychromatic staining of plant cell walls by toluidine blue O. **Protoplasma** v. 59, p. 368-373, 1965.
- Palaretti, L.F et al. Soma térmica para o desenvolvimento dos estádios do tomateiro. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.6, n. 3, p. 240 - 246, 2012.
- Plieth, C. Calcium another regulator in the machinery life? **Annals of Botany**, v.96, p.1-8, 2005.
- Power, P.P; Woods, W.G.The chemistry of boron and its speciation in plants. **Plant and Soil**, v.193, n.1/2, p.1-14, 1997.
- Prado, R.M.; Gondim, A.R.O.; Cecílio Filho, A.B.; Alves, A.U.; Correia, M.A.R.; Abreu-Junior, C.H. Boron foliar application in nutrition and yield of beet and tomato. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 44, n. 9, p. 1435-1443, 2013.
- Prezotti, L.C. Nutrição e adubação do tomateiro. In: Instituto capixaba de pesquisa, assistência técnica e extensão rural. **Tomate**. Vitória, ES: Incaper, 2010, p.169-185.
- Puatti, M.; Balbino, J.M.S.; Fonseca, M.J.O.; Ronchi, C.P. Fisiologia do desenvolvimento do tomateiro. In: Instituto capixaba de pesquisa, assistência técnica e extensão rural. **Tomate**. Vitória, ES: Incaper, 2010, p.86-119.
- Quiles-Pando C., Rexach J., Navarro-Gochicoa M.T., Camacho-Cristóbal J.J., Herrera-Rodríguez M.B., González-Fontes A. Boron deficiency increases the levels of cytosolic Ca²⁺ and expression of Ca²⁺-related genes in Arabidopsis thaliana roots. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 65, p.55–60, 2013.

- Rab, A.; Haq, I. Foliar application of calcium chloride and borax influences plant growth, yield, and quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) fruit. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, v. 36, p. 695-701, 2012.
- Rocha, M.Q. **Crescimento, fenologia e rendimento do tomateiro cereja em cultivo hidropônico**. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2009, 129p.
- Ramos, M.J.M.; Monnerat, P.H.; Pinho, L.G.R. Leitura SPAD em abacaxizeiro imperial cultivado em deficiência de macronutrientes e de boro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 35, n. 1, p. 277–281, 2013.
- Ramón A.M., Carpena R.O. & Gárate A. (1990) The effects of short-term deficiency of boron on K, Ca and Mg distribution in leaves and roots of tomato (*Lycopersicon esculentum*) plants. In: **Plant Nutrition Physiology and Applications** (ed. M.L. van Beusichem), p. 287–290.
- Redondo-Nieto, M.; Wilmot, A. R.; El-Hamdaoui, A.; Bonilla I.; Bolaños, L. Relationship between boron and calcium in the N₂-fixing legume–rhizobia symbiosis. **Plant, Cell and Environment**, V.26, p. 1905–1915, 2003.
- Reid R. 2014. **Understanding the boron transport network in plants**. *Plant and Soil* v. 385, p. 1-13.
- Ryden, P., Sugimoto Shirasu, K., Smith, A.C., Findlay, K., Reiter, W.D., Mccann, M.C. Tensile properties of Arabidopsis cellwalls depend on both a xyloglucan cross-linked microfibrillarnetwork and rhamnogalacturonan II-borate complexes. **Plant Physiology**, 132, n. 2: 1033-1040, 2003.
- Ruiz, J.M.; Rivero, R.M.; Romero, L. Boron increases synthesis of glutathione in sunflower plants subjected to aluminum stress. **Plant and Soil**, v. 279, n.2, p. 25-30, 2006.
- Saeg - **Sistema de análises estatísticas e genéticas**. Universidade Federal De Viçosa - UFV. Versão 8.0. Viçosa, MG, 2000. 142p.
- Salam, M.A.; Siddique, M.A.; Rahim, M. A.; Rahman, M.A. Saha, M.G. Quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) as influenced by boron and zinc under different levels of NPK fertilizers. **Bangladesh Journal of Agricultural Research**, v. 35, n.3, p. 475-488, 2010.
- 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.
- Saure, M.C. Blossom-end rot of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) – a calcium- or a stress-related disorder? **Scientia Horticulturae**, v.90, p.193-208, 2001.
- Selina, P.; Bledsoe, M.E. **Greenhouse/hothouse hydroponic tomato timeline**. Liverpool: Village Faarms, 2002.8p.
- Sheng, O.; Song, S.; Peng, S.; Deng, X. The effects of low boron on growth, gas exchange, boron concentration and distribution of ‘Newhall’ navel orange (*Citrus sinensis* Osb.) plants grafted on two rootstocks. **Scientia Horticulturae**, v.121, p. 278–283, 2009.
- Shorrocks VM. The occurrence and correction of boron deficiency. **Plant Soil** 193:121–148, 1997.
- Silva, J.B.C; Giordano, L.B. (Org.). **Tomate para processamento industrial**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2000. 168p.
- Silva, A.C.; Cândido, A.C, Arruda, S.R.; Ronie, M.E. Avaliação de linhagens de tomate cereja tolerantes ao calor sob sistema orgânico de produção. **Revista Caatinga**, v. 24, n. 3, p. 33-40, 2011.

- Silveira, R.L.V.A.; Moreira, A.; Takashi, E.N.; Sgarbi, F.; Branco, E.F. Sintomas de deficiência de macronutrientes e boro em clones de híbridos de *Eucalyptus grandis* com *Eucalyptus urophylla*. **Cerne**, Lavras, v.8, n.2, p.108-117, 2002.
- Smit, J.N.; Combrink, N.J.J. The effect of boron levels in nutrient solutions on fruit production and quality of greenhouse tomatoes. **South African Journal of Plant and Soil**, v. 21, n.3, p. 187-191, 2004.
- Sotiropoulos, T.E., Molassiotis, A., Almaliotis, D., Mouhtaridou, G., Dimassi, K., Therios, I.; Diamantidis, G. Growth, nutritional status, chlorophyll content, and antioxidant responses of the apple rootstock MM 111 shoots cultured under high boron concentrations in vitro. **Journal of Plant Nutrition**, 29, p. 575-583, 2006.
- Souza, R. J.; Gomes, L. A. A.; Maluf, W. R.; Cardoso, A. D.; Vallone, H. S. **Olericultura geral**. UFLA/FAEPE, Lavras, MG. 88 p. 2007.
- Souza, H.A.; Natale, W.; Rozane, D.E.; Hernandez, A.; Romualdo, L.M. Calagem e adubação boratada na produção de feijoeiro. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 2, p. 249-257, 2011.
- Taiz, L.; Zeiger, E. **Fisiologia Vegetal**. 5ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918p.
- Takahashi, H. W. Nutrição e adubação de tomate estaqueado. In: Simpósio Sobre Nutrição e Adubação de Hortaliças, 1990, Jaboticabal. **Anais...:POTAFOS**, 1993. p. 301-322.
- Trani, P.E.; Raij, B. Van. 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**. 2a ed. Campinas: Instituto Agrônômico, 1997. p.175. (Boletim técnico, 100).
- Terraza, S.P.; Romero, M.V.; Peña, P.S.; Madrid, J.L.C.; Verdugo, S.H. Efecto del calcio y potencial osmótico de la solución nutritiva em la pudrición apical, composición mineral y rendimiento de tomate. **Interciencia**, v.33, n. 6, p. 449-456, 2008.
- Tombuloglu, H.; Semizoglu, N.; Sakcali, S.; Kekec, G. Boron induced expression of some stress-related genes in tomato. **Chemosphere**, v. 86, p. 433-438, 2012.
- Trevizam, R.; Brondani, G.E.; Souza, R.; Almeida, M. Morfologia de calos de *Eucalyptus urophylla* cultivados in vitro sob concentrações de boro e cálcio. **Floresta**, v. 41, n. 3, p. 563-574, 2011.
- Trudgill, D.L., Honek, A., Li D., Van Straalen, N.M. Thermal time – Concepts and utility. **Annals of Applied Biology**, v. 146, p. 1-14., 2005.
- Turan, M. A.; Taban, N.; Taban, S. Effect of calcium on the alleviation of boron toxicity and localization of boron and calcium in cell wall of wheat. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca**, n. 37, v. 2, p. 2009, 99-103, 2009.
- Varshney, P.; Fariduddin, Q.; Yusuf, M. Boron induced modulation in growth, photosynthesis and antioxidant system in two varieties of *Brassica juncea*. **International Journal of Advanced Research**, v. 3, n.10, p. 819-832, 2015.
- White, P.J.; Broadley, M.R. Calcium in plants. **Annals of botany**, v. 92, p.487-511, 2003.
- Will, S.; Eichert, T.; Fernández, V.; Mohring, J.; Muller, T.; Romheld, V. Absorption and mobility of foliar-applied boron in soybean as affected by plant boron status and application as a polyol complex. **Plant Soil**, v. 344, p.283–293, 2011.
- Will S, Eichert E, Fernández V, Möhring J, Müller T, Römheld V. Boron foliar fertilization of soybean and lychee: Effects of side of application and formulation adjuvants. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 175, p. 180–188, 2012.

Wimmer, M.A.; Eichert, T. Review: Mechanisms for boron deficiency-mediated changes in plant water relations. **Plant Science**, v. 203-204, p. 25-32, 2013.

Zamban, D.T. **Fenologia e efeito da utilização de doses de boro e cálcio sobre a produção de tomate italiano em duas épocas de cultivo**. 2014. Dissertação de mestrado. Universidade federal de Santa Maria. 77p.

Zotarelli, L., J.M. Scholberg, M.D. Dukes, R. Muñoz- Carpena, J. Icerman. Tomato yield, biomass accumulation, root distribution and irrigation water use efficiency on a sandy soil, as affected by nitrogen rate and irrigation scheduling. **Agricultural Water Management**, v. 96, p. 23-34, 2009.

Yamauchi, T.; Hara, T.; Sonida, Y. Distribution of calcium and boron in the pectin fraction of tomato leaf cell wall. **Plant and Cell Physiology**, v.27, p.729-732, 1986.

APÊNDICE GERAL

1. Resumo das análises estatísticas referentes ao Capítulo I: Efeitos fitotécnicos e anatômicos da disponibilidade de cálcio no cultivo de tomateiro do grupo cereja

Tabela 1a. Quadro da análise de variância do número de folhas (NFO), altura de plantas (APL), diâmetro do caule (DIC), volume radicular (VRD), massa fresca total de biomassa vegetativa de planta (MFT), área foliar total (AFT), massa seca de folhas (MSF), massa seca de caule (MSC), massa seca de raiz (MSR), massa seca total de biomassa vegetativa de planta inteira (MST) e seus respectivos coeficientes de variação (CV - %)

FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS									
		NFO	APL	DIC	VRD	MFT	AFT	MSF	MSC	MSR	MST
Doses de Ca (D)	4	0,56 ^{ns}	276,00 ^{**}	10,30 ^{**}	21808,54 ^{**}	505574,60 [*]	8297771,00 ^{**}	1395,43 ^{**}	484,06 ^{**}	74,34 ^{**}	4314,17 ^{**}
Resíduo (a)	15	1,15	62,13	1,54	877,84	13349,96	2102080,00	121,17	51,21	9,59	341,17
Época de avaliação (E)	3	22,41 ^{**}	6437,35 ^{**}	99,56 ^{**}	229785,80 ^{**}	6315705,00 ^{**}	0,2312745E+9 ^{**}	26126,95 ^{**}	7983,99 ^{**}	1650,98 ^{**}	80231,36 ^{**}
D*E	12	0,66 ^{ns}	260,62 ^{**}	1,78 ^{ns}	8419,17 ^{**}	118626,90 ^{**}	3725792,00 [*]	428,97 ^{**}	140,54 ^{**}	35,35 ^{**}	1159,41 ^{**}
Resíduo (b)	45	1,08	77,84	1,48	1458,35	10756,25	1580790,00	112,84	42,29	7,89	218,81
CV (D - %)		9,46	7,85	12,49	17,23	12,46	22,57	20,23	24,53	22,58	18,98
CV (E - %)		9,18	8,79	12,22	22,21	11,18	19,57	19,52	22,30	20,47	15,20

** F significativo ao nível de 1% de probabilidade.

* F significativo ao nível de 5% de probabilidade.

ns - F não significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 2a. Quadro da análise de variância dos atributos de produção do tomateiro cultivado com doses crescentes de Ca: número total de flores (NTFL) e frutos por planta (NFR), massa fresca e seca totais de frutos por planta (MFFR, MSFR), diâmetros transversais e altura dos frutos do cacho 2 (DFRU, ALTFRU) e número de frutos com BER e rachaduras (NFRUBER, NFRUR)

FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS							
		NTFL	NFRU	MFFRU	MSFRU	DFRU	ALTFRU	NFRUBER	NFRUR
Doses de Ca	4	3399,20**	2266,13**	376582,61**	1622,87**	4,66 ^{ns}	4,62 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,13**
Resíduo	15	215,72	115,43	4011,04	9,42	1,36	2,01	0,058	0,023
CV (%)		22,82	22,86	11,40	8,17	4,19	5,10	7,20	4,56

** F significativo ao nível de 1% de probabilidade.

* F significativo ao nível de 5% de probabilidade.

^{ns} F não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 2aa. Valores médios de NTFL, NFR, MFFR, MSFR, DFRU, ALTFR, NFRUBER, NFRUR

TRAT	NTFL	NFRU	MFFR	MSFR	DFRU	ALTFR	NFRUBER	NFRUR
0,5 mmol L ⁻¹ Ca	26,00 c	9,0 c	57,58 d	4,04 d	26,55	26,97	3,25	3,25 b
1,5 mmol L ⁻¹ Ca	49,25 bc	39,75 b	535,15 c	35,71 c	29,07	28,97	0,75	1,00 ab
3,0 mmol L ⁻¹ Ca	104,50 a	65,25 a	877,19 a	54,69 a	28,92	26,46	2,00	0,75 a
6,0 mmol L ⁻¹ Ca	71,00 b	54,50 ab	602,18 bc	42,49 b	27,30	28,63	0,00	0,00 a
10,0 mmol L ⁻¹ Ca	71,00 b	66,50 a	705,78 b	50,90 a	27,66	28,09	0,00	0,75 a

* Médias de cada variável seguidas com mesma letra, são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey.

Tabela 3a. Quadro da análise de variância do teor de B, Zn, Cu, Mn, Fe, P, K, Ca, Mg, S e N total na folha índice e seus respectivos coeficientes de variação (CV - %)

FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS										
		B	Zn	Cu	Mn	Fe	P	K	Ca	Mg	S	N total
Doses de Ca (D)	4	669,87**	129,66**	99,01**	44933,13**	4046,03**	7,27**	213,89**	5601,72**	85,42**	82,80**	211,64**
Resíduo (a)	15	65,12	21,00	3,86	503,62	236,59	0,17	12,09	11,55	0,56	0,40	3,51
Época de avaliação (E)	3	5260,04**	750,26**	48,51**	57750,75**	10021,11**	8,77**	1200,07**	425,41**	3,38**	137,12**	2024,93**
D*E	12	758,90**	95,26**	32,47**	15601,77**	1026,56**	2,69**	127,63**	166,21**	12,31**	13,60**	25,94**
Resíduo (b)	45	99,31	29,87	4,53	593,10	271,77	0,43	16,74	9,93	0,73	1,30	5,29
CV (D - %)		9,64	12,93	12,70	10,01	12,84	6,31	6,51	10,39	12,30	9,43	5,39
CV (E - %)		11,90	15,42	13,75	10,87	13,76	9,90	7,66	9,64	14,01	16,98	6,63

** F significativo ao nível de 1% de probabilidade.

* F significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 4a. Quadro da análise de variância do acúmulo de B, Zn, Cu, Mn, Fe, P, K, Ca, Mg, S e N total nas folhas do tomateiro e seus respectivos coeficientes de variação (CV - %)

FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS										
		B	Zn	Cu	Mn	Fe	P	K	Ca	Mg	S	N total
Doses de Ca (D)	4	3475357,0*	2342730,0**	460301,1**	0,2574E+9**	0,3957E+8**	69038,3**	3555359,0**	0,1679E+8**	151713,9**	343526,0**	1792588,0**
Resíduo (a)	15	1257139,0	249866,4	17169,4	9570517,0	3995474,00	6632,0	305975,6	216303,9	17370,8	31708,3	134422,0
Época de avaliação (E)	3	0,97911E+8**	0,44536E+8**	3662573,0**	0,1786E+10**	0,6297E+9**	772993,3**	0,4685E+8**	0,3275E+8**	781980,6**	2382475,0**	0,158E+8**
D*E	12	2747203,0**	550937,1*	117264,8**	0,5899E+8**	0,1936E+8**	11317,6*	1059219,0**	2789372,0**	23372,0**	74594,2**	341533,20**
Resíduo (b)	45	835190,1	243499,2	25831,39	0,1202E+8	3504871,0	4760,3	283129,8	222290,2	6374,03	24297,2	87398,4
CV (D - %)		33,35	22,62	18,71	20,81	25,32	26,27	21,89	23,68	41,03	37,18	22,52
CV (E - %)		27,18	22,33	22,95	23,32	23,71	22,26	21,06	24,01	24,86	32,54	18,16

** F significativo ao nível de 1% de probabilidade.

* F significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 5a. Quadro da análise de variância da razão DP dos teores médios de B, Zn, Cu, Mn, Fe, P, K, Ca, Mg, S e N total nos frutos e seus respectivos coeficientes de variação (CV - %)

FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS										
		B	Zn	Cu	Mn	Fe	P	K	Ca	Mg	S	N total
Doses de Ca (D)	3	796,39 ^{ns}	939,40 ^{**}	6009,85 ^{**}	223,59 ^{ns}	637,99 ^{ns}	113,47 ^{ns}	3,15 ^{ns}	17034,16 ^{**}	273,46 ^{ns}	1027,71 [*]	1229,48 ^{**}
Resíduo (a)	12	323,13	97,63	913,73	781,34	185,15	72,50	97,08	310,10	276,10	201,37	66,49
Cacho (C)	1	8,83 ^{ns}	1598,81 ^{**}	5441,59 ^{**}	71,67 ^{ns}	1123,74 ^{**}	231,45 ^{ns}	1,19 ^{ns}	18843,23 ^{**}	1922,16 ^{**}	3841,70 [*]	229,52 ^{ns}
D*C	3	191,27 ^{ns}	88,47 ^{ns}	890,70 ^{ns}	30,61 ^{ns}	178,48 ^{ns}	2,28 ^{ns}	0,86 ^{ns}	4282,26 ^{**}	165,75 ^{ns}	397,64 ^{ns}	55,29 ^{ns}
Resíduo (b)	12	301,10	132,07	354,99	468,12	86,34	87,94	28,00	348,57	58,92	522,97	78,72
CV (D - %)		19,64	9,26	26,90	27,03	14,12	8,48	10,19	16,78	17,18	13,71	8,06
CV (C - %)		18,96	10,78	16,77	20,92	9,64	9,34	5,47	17,79	7,94	22,09	8,77

** F significativo ao nível de 1% de probabilidade.

* F significativo ao nível de 5% de probabilidade.

^{ns} F não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 6a. Valores médios de NFO, APL, DIC, VRD, AFT, MSF, MSC, MSR, MSTT, MFT para as respectivas combinações de fases de avaliação e doses de Ca

	0,5	1,5	3,0	6,0	10,0
Numero de Folhas-NFO					
57 DAS	9,25 a*	9,50 a	10,25 a	9,50 a	10,25 a
84 DAS	12,00 a	11,75 a	12,75 a	11,75 a	12,75 a
97 DAS	11,25 a	11,75 a	12,00 a	11,75 a	11,75 a
115 DAS	11,75 a	12,00 a	11,00 a	12,00 a	11,75 a
Altura das Plantas- APL (cm)					
57 DAS	63,56 b	77,13 c	76,13 b	71,25 b	81,25 b
84 DAS	106,50 a	116,25 a	103,25 a	106,50 a	112,00 a
97 DAS	111,75 a	94,00 b	103,75 a	112,75 a	103,88 a
115 DAS	114,18 a	114,38 a	93,50 a	125,00 a	117,25 a
Diâmetro do caule- DIC (mm)					
57 DAS	6,20 a	6,47 a	6,63 a	6,88 a	7,27 a
84 DAS	9,35 a	8,89 a	10,38 a	11,68 a	11,37 a
97 DAS	10,11 a	9,96 a	12,51 a	12,05 a	11,39 a
115 DAS	10,62 a	11,41 a	11,39 a	13,21 a	11,15 a
Volume radicular- VRD (cm ³)					
57 DAS	15,00 c	21,25 c	25,00 b	16,25 c	36,25 c
84 DAS	156,5 ab	130,00 b	237,50 a	193,75 b	231,75 b
97 DAS	117,50 b	208,75 a	211,25 a	252,50 b	196,20 b
115 DAS	191,25 a	262,50 a	208,75 a	386,25 a	341,25 a
Área Foliar Total- AFT (cm ²)					
57 DAS	1602,27 b	1805,11 c	1912,63 c	1543,80 c	2221,65 c
84 DAS	5876,75 a	5614,63 b	6101,30 b	6173,29 b	6013,59 b
97 DAS	7668,99 a	8107,79 a	7512,37 b	9625,65 a	9787,92 a
115 DAS	6676,13 a	8467,48 a	10339,29 a	11612,14 a	9830,96 a

	0,5	1,5	3,0	6,0	10,0
Massa seca de folhas- MSF (g)					
57 DAS	5,31 c	6,76 c	6,99 c	5,41 d	8,60 c
84 DAS	44,88 b	31,62 b	59,55 b	51,41 c	52,96 b
97 DAS	59,88 ab	64,30 a	89,01 a	83,04 b	71,02 b
115 DAS	73,46 a	72,05 a	86,16 a	121,48 a	94,40 a
Massa seca de caule- MSC (g)					
57 DAS	2,46 b	2,94 d	3,05 c	2,12 c	3,88 c
84 DAS	23,83 a	20,90 c	29,19 b	34,15 b	32,94 b
97 DAS	29,26 a	49,98 a	61,55 a	58,13 a	56,12 a
115 DAS	26,81 a	33,39 b	35,24 b	41,39 b	36,03 b
Massa seca de raízes- MSR (g)					
57 DAS	1,03 c	1,38 c	1,62 c	1,23 d	1,76 c
84 DAS	11,35 b	9,43 b	16,29 b	12,66 c	13,05 b
97 DAS	12,73 ab	19,48 a	21,79 a	21,77 b	19,28 a
115 DAS	17,31 a	20,30 a	18,09 ab	29,34 a	24,37 a
Massa seca total de planta- MSTT (g)					
57 DAS	8,79 c	11,08 c	11,66 d	8,76 d	14,23 c
84 DAS	80,05 b	61,94 b	105,04 c	98,22 c	98,95 b
97 DAS	101,87 ab	133,75 a	172,34 a	162,93 b	146,42 a
115 DAS	117,58 a	125,74 a	139,50 b	192,20 a	154,80 a
Massa fresca total de planta- MFTT (g)					
57 DAS	121,67 b	146,89 a	152,58 c	108,54 c	182,13 d
84 DAS	826,71 a	672,41 c	1118,45 b	1097,05 b	1036,15 c
97 DAS	915,95 a	1435,56 a	1693,05 a	1656,88 a	1544,99 a
115 DAS	790,77 a	1071,84 b	1134,50 b	1544,36 a	1301,64 b

* Médias de cada variável seguidas com mesma letra minúscula, na coluna, são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey ($\alpha=5\%$).

Tabela 7a. Valores médios dos teores de B, Zn, Cu, Mn, Fe, P, K, Ca, Mg, S e N-total na folha índice (FI) para as respectivas combinações de fases de avaliação e doses de Ca

	0,5	1,5	3,0	6,0	10,00
BFI					
57 DAS	90,99 a*	101,17 a	123,35 a	113,69 a	96,79 a
84 DAS	87,41 a	91,79 ab	74,03 c	78,17 b	88,69 a
97 DAS	80,48 a	79,20 bc	98,84 b	77,93 b	61,60 ab
115 DAS	35,47 b	70,20 c	65,24 c	79,64 b	79,92 b
ZnFI					
57 DAS	41,75 a	48,54 a	51,87 a	42,00 a	35,67 a
84 DAS	28,13 b	36,08 b	35,71 b	26,33 b	30,25 a
97 DAS	29,70 b	36,29 b	41,29 b	33,13 ab	38,67 a
115 DAS	29,00 b	32,67 b	24,67 c	37,67 a	29,46 a
CuFI					
57 DAS	17,50 a	18,54 a	20,46 a	15,25 ab	13,71 b
84 DAS	13,42 b	15,29 a	17,46 ab	12,63 b	16,00 ab
97 DAS	6,94 c	18,00 a	19,63 a	18,21 a	18,75 a
115 DAS	8,79 c	17,75 a	14,38 b	13,87 b	12,96 b
MnFI					
57 DAS	310,73 a	330,27 a	295,83 b	300,94 a	153,79 b
84 DAS	116,58 b	166,56 c	178,21 c	160,42 b	127,54 b
97 DAS	83,46 b	259,21 b	302,54 b	274,29 a	237,58 a
FeFI					
57 DAS	94,25 a	108,38 bc	92,33 bc	112,88 b	137,95 bc
84 DAS	99,54 a	99,93 c	79,84 c	70,92 c	116,71 c
97 DAS	112,96 a	134,13 ab	150,41 a	133,25 ab	170,96 a
115 DAS	102,00 a	154,04 a	116,33 b	158,88 a	149,96 ab

* Médias de cada variável seguidas com mesma letra minúscula, na coluna, são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey ($\alpha=5\%$).

	0,5	1,5	3,0	6,0	10,00
PFI					
57 DAS	7,02 a	6,68 a	6,69 bc	6,19 b	5,34 b
84 DAS	7,70 a	7,88 a	7,90ab	6,05 b	6,42 ab
97 DAS	5,20 b	7,85 a	8,10 a	7,70 a	6,82 a
115 DAS	4,45 b	7,43 a	6,18 c	5,66 b	5,28 b
KFI					
57 DAS	57,35 a	64,28 a	65,66 a	51,01 b	56,95 a
84 DAS	64,10 a	60,98 a	63,74 a	59,43 a	56,09 a
97 DAS	35,65 b	52,16 b	54,73 b	51,64 b	50,30 ab
115 DAS	34,50 b	46,70 b	44,78 c	53,19 ab	45,40 b
CaFI					
57 DAS	7,95 a	27,62 a	30,25 c	35,36 c	37,10 c
84 DAS	7,36 ab	16,11 b	35,39 bc	43,97 b	47,30 b
97 DAS	2,30 ab	25,24 a	39,93 ab	49,94 a	61,31 a
115 DAS	1,83 b	27,59 a	42,56 a	53,44 a	61,51 a
MgFI					
57 DAS	12,40 a	6,52 b	5,98 a	5,62 a	2,91 a
84 DAS	9,41 b	7,20 b	6,33 a	4,05 ab	3,07 a
97 DAS	6,17 c	9,57 a	6,38 a	3,87 b	3,18 a
115 DAS	5,55 c	9,47 a	6,28 a	4,77 ab	2,95 a
SFI					
57 DAS	2,50 ab	3,45 b	3,32 c	3,18 c	2,64 c
84 DAS	4,16 a	8,07 a	7,10 b	6,42 b	7,85 b
97 DAS	2,51 ab	9,70 a	9,76 a	10,13 a	11,60 a
115 DAS	1,75 b	8,57 a	9,00 ab	10,87 a	11,77 a
NFI					
57 DAS	45,03 a	47,42 a	46,47 a	43,26 a	42,83 a
84 DAS	35,99 b	47,48 a	42,08 b	40,16 a	37,73 b
97 DAS	20,93 c	34,24 b	33,31 c	32,09 b	31,83 c
115 DAS	17,11 c	29,08 c	23,94 d	22,53 c	20,85 d

Tabela 8a. Valores médios do acúmulo (A) de B, Zn, Cu, Mn, Fe, P, K, Ca, Mg, S e N-total nos tecidos foliares do tomateiro (FO), para as respectivas combinações de fases de avaliação e doses de Ca

	0,5	1,5	3,0	6,0	10,00
ABFO					
57 DAS	371,69 b*	444,54 c	362,24 b	276,51 c	517,19 c
84 DAS	2952,37 a	2833,74 b	4061,28 a	2673,37 b	3347,16 b
97 DAS	3752,91 a	4340,67 ab	5296,03 a	4397,06 b	3629,94 b
115 DAS	3612,24 a	4795,39 a	5516,03 a	7026,67 a	7035,31 a
AZnFO					
57 DAS	214,21 a	287,55 b	340,38 c	231,08 c	295,53 c
84 DAS	1693,41 b	1109,66 b	2523,53 b	1725,01 b	2098,53 b
97 DAS	3151,28 a	2788,26 a	4302,67 a	4133,94 a	3623,96 a
115 DAS	3208,56 a	2426,58 a	3332,61 b	3901,54 a	2803,61ab
ACuFO					
57 DAS	83,02 c	121,42 c	126,57 c	88,28 c	116,55 b
84 DAS	614,51 b	463,86 b	1043,08 ab	786,98 b	701,46 a
97 DAS	1002,31 a	918,27 a	1271,90 a	1457,72 a	930,54 a
115 DAS	557,35 b	597,72 b	875,21 b	1344,32 a	904,39 a
AMnFO					
57 DAS	2660,59 c	3093,62 c	2754,00 c	2375,52 d	2140,70 c
84 DAS	10199,52 b	9818,13 b	17534,34 b	14901,68 c	9558,63 b
97 DAS	15521,33 ab	19685,18 a	27665,01 a	25921,66 b	16128,43a
115 DAS	18268,38 a	13935,18 ab	28842,96 a	33934,82 a	22379,40a
AFeFO					
57 DAS	664,89 c	532,30 c	972,62 c	601,52 d	1264,50 c
84 DAS	5828,93 b	4276,70 b	7845,01 b	6821,60 c	7783,46 b
97 DAS	8543,16 ab	10971,49 a	9631,21 ab	12488,64 b	10045,58b
115 DAS	11194,78 a	9504,92 a	11571,04 a	17709,27 a	19637,55a

* Médias de cada variável seguidas com mesma letra minúscula, na coluna, são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey ($\alpha=5\%$).

	0,5	1,5	3,0	6,0	10,00
APFO					
57 DAS	29,49 b	40,80 c	41,09 c	30,50 c	43,42 c
84 DAS	268,09 a	233,24 b	424,67 b	325,93 b	295,15 b
97 DAS	377,58 a	414,26 a	640,13 a	579,11 a	448,04 a
115 DAS	314,30 a	392,36 a	514,39 ab	465,60 a	321,43 ab
AKFO					
57 DAS	265,59 b	346,07 c	383,30 c	256,62 c	414,20 b
84 DAS	2384,77 a	1839,46 b	3602,25 b	2596,44 b	2686,85 a
97 DAS	2744,24 a	3081,92 a	4792,64 a	4040,33 a	3420,16 a
115 DAS	3276,19 a	2721,09 ab	3568,52 b	4818,07 a	3302,49 a
ACaFO					
57 DAS	72,78 b	215,58 b	248,13 c	215,93 d	380,01 d
84 DAS	912,81 ab	831,64 ab	2180,00 b	2542,97c	2411,12 c
97 DAS	1471,00 a	1685,90 a	3555,82 a	3903,89 b	3810,37 b
115 DAS	488,96 b	1415,20 a	3011,75 ab	5049,61 a	4876,42 a
AMgFO					
57 DAS	64,94 b	51,08 c	44,69 c	33,10 c	34,36 b
84 DAS	385,78 a	303,03 b	438,10 b	250,10 b	172,51 ab
97 DAS	439,92 a	560,48 a	671,08 a	374,20 ab	243,60 a
115 DAS	515,47 a	541,21 a	574,86 ab	476,90 a	248,52 a
ASFO					
57 DAS	16,32 c	26,97 b	27,70 c	23,07 c	31,87 c
84 DAS	201,72 bc	272,74 ab	502,86 b	500,53 b	519,89 b
97 DAS	599,75 a	516,18 a	820,24 a	867,42 a	730,79 b
115 DAS	418,58 ab	535,40 a	782,22 ab	1136,22 a	1048,89 a
ANFO					
57 DAS	233,69 b	309,34 c	333,24 b	249,43 c	385,22 b
84 DAS	1632,14 a	1474,98 b	2581,94 a	2057,86 b	1937,75 a
97 DAS	1444,75 a	2050,38 a	2789,20 a	2457,65 ab	1925,47 a
115 DAS	1497,47 a	1883,32 ab	2372,43 a	2826,99 a	2116,34 a

Tabela 9a. Valores médios das relações entre os teores de nutrientes entre as porções distal (D) e proximal (P) dos frutos de produzidos nos cachos 1 e 3 de tomateiros cultivados com doses de Ca (0,5; 1,5; 3,0; 6,0 e 10,0 mmol L⁻¹) estudadas

B	DP1	DP3	Média	K	DP1	DP3	Média
1,5	78,98	85,65	82,32	1,5	97,40	96,72	97,06
3,0	99,43	91,90	95,66	3,0	97,24	96,51	96,87
6,0	80,50	88,44	84,47	6,0	97,41	96,68	97,05
10,0	109,29	98,01	103,65	10,0	95,45	96,05	95,75
Média	92,05 A	91,00 A		Média	96,88 A	96,49 A	

Zn	DP1	DP3	Média	Ca	DP1	DP3	Média
1,5	122,12	113,28	117,70	1,5	75,05 A	83,01 A	79,03
3,0	117,37	106,97	112,17	3,0	62,00 A	73,26 A	67,63
6,0	115,82	92,17	103,99	6,0	51,99 B	152,83 A	102,41
10,0	99,60	85,94	92,77	10,0	133,62 B	207,68 A	170,65
Média	113,72 A *	99,59 B		Média	80,66 B	129,19 A	

Cu	DP1	DP3	Média	Mg	DP1	DP3	Média
1,5	165,68	119,08	142,38	1,5	101,43	94,77	98,10
3,0	126,44	128,17	127,30	3,0	111,14	96,24	103,69
6,0	116,25	78,94	97,60	6,0	109,42	81,28	95,35
10,0	93,24	71,11	82,17	10,0	95,79	83,48	89,63
Média	125,40 A	99,32 B		Média	104,44 A	88,94 B	

Mn	DP1	DP3	Média	S	DP1	DP3	Média
1,5	113,87	105,79	109,83	1,5	107,56	84,51	96,04
3,0	99,27	95,56	97,41	3,0	138,98	97,65	118,32
6,0	100,84	101,92	101,38	6,0	100,15	86,67	93,41
10,0	105,65	104,38	105,01	10,0	111,25	101,45	106,35
Média	104,91 A	101,91 A		Média	114,49 A	92,57 B	

Fe	DP1	DP3	Média	N-total	DP1	DP3	Média
1,5	98,85	98,83	98,84	1,5	124,87	114,07	119,47
3,0	112,82	102,44	107,63	3,0	96,49	87,66	92,07
6,0	94,11	79,30	86,70	6,0	96,85	95,09	95,97
10,0	103,47	80,67	92,07	10,0	97,13	97,10	97,12
Média	102,31 A	90,31 B		Média	103,83 A	98,48 A	

P	DP1	DP3	Média
1,5	108,44	101,65	105,04
3,0	104,51	99,02	101,77
6,0	100,67	95,86	98,26
10,0	98,76	94,51	96,64
Média	103,09 A	97,76 A	

* Médias de cada variável seguidas com mesma maiúscula, na linha, são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey ($\alpha=5\%$).

2. Resumo das análises estatísticas referentes ao Capítulo II: Efeitos fitotécnicos e anatômicos da disponibilidade de boro no cultivo de tomateiro do grupo cereja

Tabela 10a. Quadro da análise de variância do número de folhas (NFO), altura de plantas (APL), diâmetro do caule (DIC), volume radicular (VRD) área foliar total (AFT), massa seca de folhas (MSF), massa seca de caule (MSC) e massa seca de raiz (MSR) e massa seca total (MST) e seus respectivos coeficientes de variação (CV - %)

FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS								
		NFO	APL	DIC	VRD	AFT	MSF	MSC	MSR	MST
Doses de B (D)	3	152,51**	20968,07**	124,34**	42652,55**	100819658,5**	7108,74**	3549,58**	207,32**	25008,15**
Resíduo (a)	12	1,51	80,27	2,01	459,15	562925,43	84,28	23,13	12,19	88,71
Época de avaliação (E)	3	30,15**	4099,77**	352,56**	146870,65**	50917112,68**	13413,06**	8853,60**	883,8**	57133,81**
D*E	9	4,69**	443,61**	26,82**	10205,81**	8801946,04**	1366,53**	860,93**	63,89**	5451,48**
Resíduo (b)	36	1,08	30,01	1,52	387,51	4082**	36,68	26,65	3,41	95,24
CV (D - %)		10,59	10,23	10,17	15,96	15,36	22,05	17,74	39,18	23,95
CV (E - %)		8,92	6,26	8,85	14,66	13,08	14,55	19,04	20,72	12,57

** F significativo ao nível de 1% de probabilidade.

* F significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 11a. Quadro da análise de variância dos atributos de produção do tomateiro cultivado sob doses crescentes de B: número total de frutos por planta (NFR), massa fresca e seca totais de frutos por planta (MFFR, MSFR) e diâmetros transversais dos frutos do cacho 1, 2 e 3 de cada planta (DC1, DC2 e DC3)

FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS					
		NFR	MFFR	MSFR	DC1	DC2	DC3
Doses de B	3	4401,05**	248446,94**	2767,75**	632,13**	287,50**	222,41**
Resíduo	12	582,92	10649,03	97,14	3,33	6,35	6,71
CV (%)		39,05	52,17	34,26	25,05	21,61	20,57

** F significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela 12a. Quadro da análise de variância dos teores de B, Zn, Cu, Mn, Fe, P, K, Ca, Mg, S e N total na folha índice e seus respectivos coeficientes de variação (CV - %)

FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS										
		B	Zn	Cu	Mn	Fe	P	K	Ca	Mg	S	N total
Doses de B (D)	3	2064,49**	1487,79**	627,89**	153490,85**	1730,45**	21,31**	101,87**	170,26**	3,47**	18,54**	15,93**
Resíduo (a)	12	96,96	54,68	9,78	2722,97	521,52	0,59	10,54	18,64	0,38	0,35	0,64
Época de avaliação (E)	3	480,88**	433,4**	28,36*	9076,11**	1534,91*	4,54**	498,45**	153,89**	3,74*	0,56 ^{ns}	969,55**
D*E	9	561,64**	94,19 ^{ns}	37,77**	8081,99**	1086,23*	0,45 ^{ns}	28,81 ^{ns}	38,49*	0,90 ^{ns}	2,30**	6,66**
Resíduo (b)	36	65,08	79,56	10,31	1156,38	416,07	0,59	15,58	11,44	0,58	0,40	1,26
CV (D - %)		15,19	16,82	19,84	24,39	23,99	13,8	6,30	11,23	11,13	11,66	2,37
CV (E - %)		12,45	20,28	20,36	15,89	21,43	13,81	7,66	8,80	13,83	12,44	3,32

** F significativo ao nível de 1% de probabilidade; * F significativo ao nível de 5% de probabilidade; ns - F não significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 13a. Quadro da análise de variância dos teores médios de B, Zn, Cu, Mn, Fe, P, K, Ca, Mg, S e N total nos frutos e seus respectivos coeficientes de variação (CV - %)

FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS										
		B	Zn	Cu	Mn	Fe	P	K	Ca	Mg	S	N total
Doses de B (D)	2	111,68 ^{ns}	3,81 ^{ns}	1,91 ^{ns}	3,17 ^{ns}	1039,11 ^{**}	0,11 ^{ns}	16,78 ^{ns}	0,27 ^{ns}	0,091 ^{ns}	2,42 ^{**}	1,23 ^{ns}
Cacho (C)	1	47,71 ^{ns}	599,79 ^{**}	69,47 ^{**}	249,19 ^{**}	2268,92 ^{**}	23,50 ^{**}	526,61 ^{**}	0,12 ^{ns}	0,134 [*]	0,45 ^{**}	413,36 ^{**}
D*C	2	72,34 ^{ns}	21,31 ^{ns}	0,82 ^{ns}	18,36 [*]	109,67 ^{ns}	0,46 ^{ns}	23,95 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,049 ^{ns}	0,05 ^{ns}	18,44 [*]
Resíduo	18	43,87	19,71	3,10	3,07	168,84	0,59	15,49	0,10	0,027	0,05	4,75
CV (%)		26,50	8,18	18,80	10,82	13,88	11,32	8,79	2,11	7,13	12,06	7,10

** F significativo ao nível de 1% de probabilidade.; * F significativo ao nível de 5% de probabilidade.; ns - F não significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 14a. Quadro da análise de variância da razão DP dos teores médios de B, Zn, Cu, Mn, Fe, P, K, Ca, Mg, S e N total nos frutos e seus respectivos coeficientes de variação (CV - %)

FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS										
		B	Zn	Cu	Mn	Fe	P	K	Ca	Mg	S	N total
Doses de B (D)	2	5593,91 [*]	303,71 ^{ns}	3197,4 ^{ns}	452,59 ^{ns}	27410,29 ^{**}	117,78 ^{ns}	91,19 ^{ns}	26,81 ^{ns}	238,76 ^{ns}	78,02 ^{ns}	37,87 [#]
Cacho (C)	1	1620,33 ^{ns}	818,07 ^{ns}	569,41 ^{ns}	49,65 ^{ns}	43,39 ^{ns}	4,02 ^{ns}	150,05 ^{ns}	44,94 ^{ns}	11,97 ^{ns}	3,13 ^{ns}	90,29 [*]
D*C	2	2963,95 ^{ns}	442,03 ^{ns}	499,60 ^{ns}	151,24 ^{ns}	1338,39 ^{ns}	129,58 ^{ns}	104,06 ^{ns}	1,76 ^{ns}	244,66 ^{ns}	427,82 ^{ns}	78,69 [*]
Resíduo	18	1359,70	316,03	1360,39	1152,25	4116,40	279,84	133,89	18,44	150,23	198,22	13,05
CV (%)												

** F significativo ao nível de 1% de probabilidade.; * F significativo ao nível de 5% de probabilidade; # N-total (p-valor = 0,081); ns F não significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 15a. Valores médios de NFO, APL, DIC, VRD, AFT, MSF, MSC, MSR e MSTT para as respectivas combinações de fases de avaliação e doses de B

	1 $\mu\text{mol L}^{-1}$ B	10 $\mu\text{mol L}^{-1}$ B	25 $\mu\text{mol L}^{-1}$ B	50 $\mu\text{mol L}^{-1}$ B
Numero de Folhas- NFO				
43 DAS	7,50 a*	10,50 c	11,00 b	11,00 c
53 DAS	7,50 a	15,50 a	15,25 a	15,00 a
66 DAS	7,25 a	13,25 b	13,75 a	13,75 ab
84 DAS	6,00 a	14,00 ab	13,50 a	12,25 bc
Altura das Plantas- APL (cm)				
43 DAS	32,00 a	75,50 c	72,00 b	75,50 b
53 DAS	34,50 a	113,25 b	110,00 a	113,25 a
66 DAS	32,85 a	115,75 b	119,00 a	116,5 a
84 DAS	33,88 a	126,25 a	115,50 a	115,25 a
Diâmetro do caule- DIC (mm)				
43 DAS	8,55	9,13	9,24	9,37
53 DAS	9,73	11,94	11,69	11,98
66 DAS	9,87	17,70	17,32	17,95
84 DAS	10,89	22,27	23,63	21,77
Volume radicular- VRD (cm ³)				
43 DAS	27,50 b	30,00 d	36,25 c	37,50 d
53 DAS	47,50 ab	82,50 c	83,75 b	77,50 c
66 DAS	85,00 a	207,50 b	283,75 a	253,75 b
84 DAS	75,00 a	252,50 a	265,00 a	303,75 a
Área Foliar total- AFT (cm ²)				
43 DAS	1446,42 a	2601,4 c	3231,01 d	2919,78 c
53 DAS	1388,39 a	5247,16 b	6358,66 c	5878,41 b
66 DAS	1090,13 a	7537,56 a	9409,94 a	9236,52 a
84 DAS	768,39 a	7609,52 a	7835,91 b	5612,51 b

	1 $\mu\text{mol L}^{-1}$ B	10 $\mu\text{mol L}^{-1}$ B	25 $\mu\text{mol L}^{-1}$ B	50 $\mu\text{mol L}^{-1}$ B
Massa seca de folhas- MSF (g)				
43 DAS	7,76 a	11,51 c	12,61 d	12,33 c
53 DAS	10,63 a	25,39 c	29,94 c	30,44 b
66 DAS	11,04 a	67,12 b	76,82 b	77,64 a
84 DAS	12,22 a	86,40 a	102,77 a	91,59 a
Massa seca de caule- MSC (g)				
43 DAS	2,75 a	4,89 c	4,87 d	5,03 d
53 DAS	4,65 a	12,83 c	15,31 c	15,54 c
66 DAS	5,02 a	44,89 b	45,88 b	47,61 b
84 DAS	7,02 a	67,87 a	74,89 a	74,69 a
Massa seca de raízes- MSR (g)				
43 DAS	1,52 a	1,43 c	1,62 c	1,62 c
53 DAS	3,17 a	4,38 c	4,48 c	4,58 c
66 DAS	4,18 a	13,4 b	15,61 b	15,68 b
84 DAS	5,24 a	22,19 a	21,93 a	21,59 a
Massa seca total- MSTT (g)				
43 DAS	12,03 a	17,83 d	19,09 d	18,97 d
53 DAS	18,45 a	42,59 c	49,73 c	50,56 c
66 DAS	20,23 a	125,42 b	138,31 b	140,92 b
84 DAS	24,48 a	176,46 a	199,58 a	187,87 a

* Médias de cada variável seguidas com mesma letra, na coluna, são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey ($\alpha=5\%$).

Tabela 16a. Valores médios dos teores de B, Zn, Cu, Mn, Fe, P, K, Ca, Mg, S e N-total na folha índice (FI) para as respectivas combinações de fases de avaliação e doses de B

	1 $\mu\text{mol L}^{-1}$ B	10 $\mu\text{mol L}^{-1}$ B	25 $\mu\text{mol L}^{-1}$ B	50 $\mu\text{mol L}^{-1}$ B
BFI				
43 DAS	49,70 a*	63,07 a	93,85 a	80,75 a
53 DAS	55,85 a	70,50 a	68,94 b	61,41 b
66 DAS	52,36 a	60,98 a	64,07 b	56,44 b
84 DAS	41,89 a	53,27 a	71,40 b	92,39 a
ZnFI				
43 DAS	50,88 a	35,67 a	37,13 a	35,91 a
53 DAS	46,75 a	40,63 a	33,29 a	35,63 a
66 DAS	68,82 a	45,97 a	43,82 a	36,41 a
84 DAS	66,91 a	40,47 a	41,81 a	43,57 a
CuFI				
43 DAS	21,72 b	14,97 a	18,35 a	15,63 a
53 DAS	24,50 ab	14,07 a	9,35 b	10,42 ab
66 DAS	28,03 a	12,00 a	12,41 b	9,96 b
84 DAS	26,41 ab	9,88 a	10,88 b	13,79 b
MnFI				
43 DAS	303,47 b	191,50 a	217,75 a	211,97 a
53 DAS	349,91 b	142,31 ab	139,82 bc	137,75 ab
66 DAS	353,88 b	175,57 ab	114,97 c	133,54 b
84 DAS	434,84 a	113,04 b	206,60 ab	196,32 ab
FeFI				
43 DAS	134,69 a	112,47 a	82,21 a	109,5 a
53 DAS	103,82 ab	91,30 a	70,59 a	103,84 a
66 DAS	114,34 ab	90,50 a	94,13 a	59,00 b
84 DAS	83,30 b	91,21 a	91,63 a	90,50 ab

* Médias de cada variável seguidas com mesma letra minúscula, na coluna, são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey ($\alpha=5\%$).

	1 $\mu\text{mol L}^{-1}$ B	10 $\mu\text{mol L}^{-1}$ B	25 $\mu\text{mol L}^{-1}$ B	50 $\mu\text{mol L}^{-1}$ B
PFI				
43 DAS	7,27 a	4,83 a	5,18 a	5,03 a
53 DAS	8,16 a	5,87 a	5,26 a	5,46 a
66 DAS	7,64 a	4,90 a	5,06 a	4,75 a
84 DAS	6,07 a	4,84 a	4,28 a	4,35 a
KFI				
43 DAS	49,76 a	61,18 a	59,61 a	58,42 a
53 DAS	47,79 a	56,06 a	52,91 a	52,52 a
66 DAS	50,94 a	53,30 a	52,12 a	54,09 a
84 DAS	44,24 a	45,82 a	39,91 a	45,42 a
CaFI				
43 DAS	46,57 a	39,76 a	42,22 a	41,32 a
53 DAS	41,63 a	34,89 a	35,1 ab	33,14 a
66 DAS	40,09 a	40,07 a	30,21 b	32,95 a
84 DAS	45,03 a	33,27 a	38,54 a	40,39 a
MgFI				
43 DAS	6,70 a	5,25 a	5,33 a	5,25 a
53 DAS	5,84 a	4,75 a	4,71 a	4,39 a
66 DAS	6,36 a	5,47 a	4,91 a	5,21 a
84 DAS	6,02 a	5,66 a	5,66 a	6,85 a
SFI				
43 DAS	5,37 b	4,19 ab	5,08 a	5,1 ab
53 DAS	6,66 a	5,19 a	4,61 a	4,82 ab
66 DAS	7,34 a	4,31 ab	4,21 a	4,10 b
84 DAS	7,40 a	3,46 b	4,57 a	5,5 a
N-totalFI				
43 DAS	40,93 a	43,84 a	45,09 a	44,29 a
53 DAS	33,7 b	35,41 b	36,74 b	31,8 b
66 DAS	32,59 b	32,23 c	34,5 c	33,11 b
84 DAS	24,12 c	24,49 d	24,5 d	24,96 c

3. Resumen de los análisis estadísticos referentes al Capítulo III: Efectos de la aplicación foliar de boro en la cultura del tomatero

Tabla 17a. Tabla del análisis de varianza (ANOVA) del índice SPAD leído a los *n* DDT y la media de todas las lecturas hechas a lo largo del período experimental (MDA)

FV	GL	CUADRADOS MÉDIOS											
		20	25	34	39	48	53	62	67	76	81	90	MDA
Fuentes Boro (F)	2	23,32	0,38	1,55	3,12	2,44	3,28	0,31	7,10	1,22	0,91	2,34	0,30
Tensoactivo (T)	1	10,28	32,90*	29,26*	5,90	12,91	37,25*	16,50	12,91	20,72	25,34	30,38	15,11*
F x T	2	17,46	7,36	7,82	11,65	5,52	8,18	1,47	14,35	6,59	3,84	1,85	5,70
Fact x Adic+Test	1	0,11	0,08	3,56	17,09	1,84	2,04	1,19	5,66	37,31	63,57*	96,80*	4,31
Adic x Test	1	2,88	10,13	0,50	1,28	120,90**	40,95*	411,85**	653,41**	835,38**	934,85**	1039,68**	207,06**
Tratamientos	7	13,55	8,37	7,44	7,69	21,65**	14,74	61,87**	102,12**	129,86**	147,61**	167,89**	34,07**
Bloques	3	13,14	13,18	13,38	14,24	41,35**	10,65	60,59**	68,13*	26,19	12,75	4,34	11,58
Residuo	21	8,40	7,45	4,82	4,90	3,23	6,71	6,73	15,91	12,17	13,52	17,03	3,36
CV (%)		7,29	6,53	5,02	4,82	3,83	5,46	5,33	8,42	7,15	7,43	8,22	3,95

** F significativo al nivel de 1% de probabilidad; * F significativo al nivel de 5% de probabilidad; Variables no marcadas: F no significativo al nivel de 5% de probabilidad

Tabla 18a. Tabla del análisis de varianza (ANOVA) de los atributos biométricos tomados de los tomates a los 19 DDT. NHO: Número de Hojas; APL: Altura de la planta (cm); DTA: Diámetro del tallo (mm); VRA: Volumen Radicular (cm⁻³); MSH: Masa Seca de Hojas (g); MSR: Masa Seca de Raíces (g); MST: Masa Seca de Tallo (g); MSTT: Masa Seca Total de la planta (g)

FV	GL	CUADRADOS MEDIOS							
		NHO	APL	DTA	VRA	MSH	MSR	MST	MSTT
Controles	1	3,125**	2,645 ^{ns}	0,019**	171,125**	0,320**	0,336**	0,005 ^{ns}	1,479**
Residuo	6	0,125	4,333	0,001	7,792	0,012	0,021	0,006	0,075
CV (%)		9,75	7,45	11,68	6,47	20,70	25,32	12,85	23,62

** F significativo al nivel de 1% de probabilidad; * F significativo al nivel de 5% de probabilidad; ns: F no significativo al nivel de 5% de probabilidad

Tabla 19a. Tabla del análisis de varianza (ANOVA) de concentraciones (c) y acúmulos (a) de boro (B) y calcio (Ca) en hojas (h) y raíces (r) de tomates cultivados bajo diferentes suministros de B los 19 DDT

FV	GL	CUADRADOS MEDIOS							
		cBh	cBr	aBh	aBr	cCah	cCar	aCah	aCar
Controles	1	171,588**	15,512 ^{ns}	1170,022**	127,489**	23,537**	0,021 ^{ns}	404,061**	6,458**
Residuo	6	3,550	4,255	7,912	4,155	1,190	0,062	10,146	0,096
CV (%)		12,95	8,23	27,86	38,29	6,72	4,79	23,49	24,84

** F significativo al nivel de 1% de probabilidad; * F significativo al nivel de 5% de probabilidad; ns: F no significativo al nivel de 5% de probabilidad

Tabla 20a. Tabla del análisis de varianza (ANOVA) de los atributos biométricos tomados de los tomateros a los 32 DDT. NHO: Número de Hojas; APL: Altura de la planta (cm); DTA: Diámetro del tallo (mm); VRA: Volumen Radicular (cm⁻³); NFL: Número de Flores; NFR: Número de Frutos; MSH: Masa Seca de Hojas (g); MSR: Masa Seca de Raíces (g); MST: Masa Seca de Tallo (g); MSTT: Masa Seca Total de la planta (g)

FV	GL	CUADRADOS MEDIOS									
		NHO	APL	DTA	VRA	NFL	NFR	MSH	MSR	MST	MSTT
Fuentes Boro (F)	2	0,67 ^{ns}	21,53 ^{ns}	0,24 ^{ns}	26,04 ^{ns}	40,54 ^{ns}	0,04 ^{ns}	1,00 ^{ns}	0,38 ^{ns}	0,06 ^{ns}	3,28 ^{ns}
Tensoactivo (T)	1	1,04 ^{ns}	1,82 ^{ns}	0,02 ^{ns}	126,04 ^{ns}	8,17 ^{ns}	0,67 ^{ns}	13,37 ^{**}	0,76 ^{ns}	0,57 ^{ns}	27,91 [*]
F x T	2	0,67 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,60 ^{ns}	113,54 ^{ns}	8,29 ^{ns}	3,79 ^{ns}	4,45 [*]	0,01 ^{ns}	0,28 ^{ns}	7,12 ^{ns}
Fact x Adic+Test [#]	1	0,51 ^{ns}	33,37 ^{ns}	1,16 ^{ns}	26,04 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,67 ^{ns}	2,97 ^{ns}	0,57 ^{ns}	0,01 ^{ns}	6,70 ^{ns}
Adic x Test	1	0,50 ^{ns}	3,92 ^{ns}	0,37 ^{ns}	703,13 ^{**}	21,13 ^{ns}	2,00 ^{ns}	3,47 ^{ns}	0,44 ^{ns}	0,87 ^{ns}	11,96 ^{ns}
Tratamientos	7	0,67 ^{ns}	11,79 ^{ns}	0,46 ^{ns}	162,05 [*]	18,14 ^{ns}	1,57 ^{ns}	4,39 ^{**}	0,36 ^{ns}	0,30 ^{ns}	9,62 [*]
Bloques	3	1,45 ^{ns}	20,63 ^{ns}	0,16 ^{**}	134,38 ^{ns}	4,86 ^{ns}	0,75 ^{ns}	1,78 ^{ns}	0,80 ^{ns}	0,04 ^{ns}	4,96 ^{ns}
Residuo	21	0,52	20,89	0,29	51,64	12,34	2,04	1,17	0,34	0,14	3,49
CV (%)		6,84	9,33	8,21	18,69	32,21	43,90	19,53	26,73	17,53	19,03

** F significativo al nivel de 1% de probabilidad

* F significativo al nivel de 5% de probabilidad

ns: F no significativo al nivel de 5% de probabilidad

Tabla 21a. Tabla del análisis de varianza (ANOVA) de concentraciones (c) y acúmulos (a) de boro (B) y calcio (Ca) en hojas (h) y raíces (r) de tomates cultivados bajo diferentes suministros de B los 32 DDT

FV	GL	CUADRADOS MEDIOS							
		cBh	cBr	cCah	cCar	aBh	aBr	aCah	aCar
Fuentes Boro (F)	2	1840,95**	347,83**	50,81*	1,97**	21345,46*	696,08 ^{ns}	2323,73 ^{ns}	12,92 ^{ns}
Tensoactivo (T)	1	1709,10**	0,31 ^{ns}	6,23 ^{ns}	0,44 ^{ns}	11280,84 ^{ns}	460,16 ^{ns}	3241,35 ^{ns}	16,52 ^{ns}
F x T	2	399,25**	1,01 ^{ns}	18,93 ^{ns}	1,70**	3353,75 ^{ns}	315,82 ^{ns}	404,73 ^{ns}	2,93 ^{ns}
Fact x Adic+Test	1	906,76**	77,44**	6,04 ^{ns}	1,41*	22017,44*	1250,11 ^{ns}	36,71 ^{ns}	10,29 ^{ns}
Adic x Test	1	285,01**	46,13**	26,65 ^{ns}	1,21 ^{ns}	27445,08*	1100,53 ^{ns}	2557,95 ^{ns}	16,67 ^{ns}
Tratamientos	7	1054,46**	117,36**	25,49*	1,49**	15734,54**	690,66 ^{ns}	1613,28 ^{ns}	10,74 ^{ns}
Bloques	3	4,08 ^{ns}	1,27 ^{ns}	4,05 ^{ns}	0,16 ^{ns}	1667,89 ^{ns}	792,23 ^{ns}	818,94 ^{ns}	2,09 ^{ns}
Residuo	21	5,34	1,98	9,24	0,24	3702,68	442,30	1714,86	4,47
CV (%)		4,42	4,56	8,24	12,04	25,55	33,48	23,60	25,88

** F significativo al nivel de 1% de probabilidad

* F significativo al nivel de 5% de probabilidad

ns: F no significativo al nivel de 5% de probabilidad

Tabla 22a. Tabla del análisis de varianza (ANOVA) de los atributos biométricos tomados de los tomates a los 60 DDT. NHO: Número de Hojas; APL: Altura de la planta (cm); DTA: Diámetro del tallo (mm); VRA: Volumen Radicular (cm⁻³); NFL: Número de Flores; NFR: Número de Frutos; MSH: Masa Seca de Hojas (g); MSR: Masa Seca de Raíces (g); MST: Masa Seca de Tallo (g); MSTT: Masa Seca Total de la planta (g)

FV	GL	CUADRADOS MEDIOS									
		NHO	APL	DTA	VRA	NFL	NFR	MSH	MSR	MST	MSTT
Fuentes Boro (F)	2	12,70*	802,10*	0,98 ^{ns}	416,29 ^{ns}	42,54 ^{ns}	9,40 ^{ns}	15,18 ^{ns}	1,53 ^{ns}	0,10 ^{ns}	19,24 ^{ns}
Tensoactivo (T)	1	5,67 ^{ns}	672,36 ^{ns}	0,09 ^{ns}	1365,04 ^{ns}	28,17 ^{ns}	18,96 ^{ns}	9,03 ^{ns}	1,84 ^{ns}	4,89 ^{ns}	4,62 ^{ns}
F x T	2	3,67 ^{ns}	35,04 ^{ns}	0,22 ^{ns}	38,79 ^{ns}	6,54 ^{ns}	98,30 ^{ns}	7,46 ^{ns}	0,43 ^{ns}	6,52 ^{ns}	31,75 ^{ns}
Fact x Adic+Test	1	65,55**	1335,34**	1,11 ^{ns}	1850,74 ^{ns}	2677,49**	229,19*	92,02*	0,46 ^{ns}	20,53**	180,73*
Adic x Test	1	91,13**	7895,85**	1,68 ^{ns}	17782,15**	9637,58**	2701,13**	342,57**	35,70 ^{ns}	152,60**	1356,94**
Tratamientos	7	27,87**	1653,98**	0,75 ^{ns}	3129,73**	1777,34**	452,10**	69,84**	5,99 ^{ns}	27,32**	234,90**
Bloques	3	2,88 ^{ns}	21,83 ^{ns}	1,02 ^{ns}	69,75 ^{ns}	85,45 ^{ns}	13,25 ^{ns}	5,16 ^{ns}	2,41 ^{ns}	0,98 ^{ns}	10,38 ^{ns}
Residuo	21	3,43	158,73	0,67	541,80	52,50	44,27	14,27	4,49	1,99	37,57
CV (%)		13,09	15,77	9,33	16,95	34,18	30,26	18,16	19,47	12,38	14,23

** F significativo al nivel de 1% de probabilidad

* F significativo al nivel de 5% de probabilidad

ns: F no significativo al nivel de 5% de probabilidad

Tabla 23a. Tabla del análisis de varianza (ANOVA) de concentraciones (c) y acúmulos (a) de boro (B) y calcio (Ca) en hojas (h) y raíces (r) de tomates cultivados bajo diferentes suministros de B los 60 DDT

FV	GL	CUADRADOS MEDIOS							
		cBh	cBr	cCah	cCar	aBh	aBr	aCah	aCar
Fuentes Boro (F)	2	191,76 ^{**}	26,96 ^{**}	292,51 ^{**}	0,12 ^{ns}	29819,45 ^{ns}	5588,79 ^{ns}	15883,02 ^{ns}	240,05 ^{ns}
Tensoactivo (T)	1	45,46 ^{ns}	5,58 ^{ns}	33,58 ^{ns}	0,01 ^{ns}	25811,24 ^{ns}	2337,69 ^{ns}	2358,32 ^{ns}	587,47 ^{ns}
F x T	2	67,60 [*]	13,90 ^{ns}	51,11 [*]	4,93 [*]	80983,48 [*]	1807,48 ^{ns}	41742,63 ^{ns}	124,13 ^{ns}
Fact x Adic+Test	1	1175,30 ^{**}	211,52 ^{**}	99,36 [*]	35,13 ^{**}	3431461,31 ^{**}	11538,45 ^{ns}	27705,87 ^{ns}	6335,45 ^{**}
Adic x Test	1	4814,26 ^{**}	242,99 ^{**}	1,63 ^{ns}	15,78 ^{**}	8431163,98 ^{**}	145499,11 ^{**}	422338,86 ^{**}	7771,06 ^{**}
Tratamientos	7	936,25 ^{**}	77,20 ^{**}	117,40 ^{**}	8,72 ^{**}	1730006,05 ^{**}	24881,11 ^{**}	81093,48 ^{**}	2203,19 ^{**}
Bloques	3	43,90 ^{**}	2,60 ^{ns}	1,90 ^{ns}	0,13 ^{ns}	1453,01 ^{ns}	156,35 [*]	13150,14 ^{ns}	244,89 ^{ns}
Residuo	21	13,44	3,81	14,51	1,31	16248,09	2792,42	17918,71	173,61
CV (%)		9,0	7,79	9,41	19,21	13,91	19,22	17,24	21,29

** F significativo al nivel de 1% de probabilidad

* F significativo al nivel de 5% de probabilidad

ns: F no significativo al nivel de 5% de probabilidad

Tabla 24a. Tabla del análisis de varianza (ANOVA) de los atributos biométricos tomados de los tomates a los 106 DDT. NHO: Número de Hojas; APL: Altura de la planta (cm); DTA: Diámetro del tallo (mm); VRA: Volumen Radicular (cm⁻³); NFL: Número de Flores; NFR: Número de Frutos; MSH: Masa Seca de Hojas (g); MSR: Masa Seca de Raíces (g); MST: Masa Seca de Tallo (g); MSTT: Masa Seca Total de la planta (g)

FV	GL	CUADRADOS MEDIOS									
		NHO	APL	DTA	VRA	MSH	MSR	MST	MSTT	NFL	NFA
Fuentes Boro (F)	2	6,62 ^{ns}	172,17 ^{ns}	0,93 ^{ns}	2168,14 [*]	36,85 ^{ns}	35,69 [*]	9,09 ^{ns}	195,17 [*]	66,0 ^{ns}	60,53 ^{ns}
Tensoactivo (T)	1	1,04 ^{ns}	156,77 ^{ns}	0,03 ^{ns}	11,58 ^{ns}	52,22 [*]	20,15 ^{ns}	22,87 ^{ns}	272,03 [*]	2,67 ^{ns}	58,03 ^{ns}
F x T	2	0,54 ^{ns}	278,57 [*]	0,08 ^{ns}	2003,27 [*]	78,21 ^{**}	79,50 ^{**}	76,67 ^{**}	684,82 ^{**}	387,60 [*]	115,63 [*]
Fact x Adic+Test	1	171,55 ^{**}	10510,84 ^{**}	0,22 ^{ns}	76219,01 ^{**}	3,27 ^{ns}	169,12 ^{**}	35,75 ^{ns}	295,09 [*]	916,80 ^{**}	52,01 ^{ns}
Adic x Test	1	410,17 ^{**}	28461,40 ^{**}	0,00 ^{ns}	15458,97 ^{**}	648,18 ^{**}	52,69 ^{ns}	287,88 ^{**}	2468,59 ^{**}	6766,92 ^{**}	18,00 ^{ns}
Tratamientos	7	93,87 ^{**}	5718,64 ^{**}	0,32 ^{ns}	14290,34 ^{**}	133,40 ^{**}	67,48 ^{**}	74,00 ^{**}	684,98 ^{**}	1227,67 ^{**}	68,62 [*]
Bloques	3	2,36 ^{ns}	114,13 ^{ns}	0,52 ^{ns}	1183,52 ^{ns}	28,26 ^{ns}	21,28 ^{ns}	13,47 ^{ns}	164,25 [*]	65,06 ^{ns}	39,86 ^{ns}
Residuo	21	3,60	52,63	0,61	540,95	11,20	9,05	8,52	52,44	67,39	20,15
CV (%)		10,75	7,28	7,44	14,29	10,05	14,78	15,07	9,91	16,00	39,75

** F significativo al nivel de 1% de probabilidad

* F significativo al nivel de 5% de probabilidad

ns: F no significativo al nivel de 5% de probabilidad

Tabla 25a. Tabla del análisis de varianza (ANOVA) de los atributos relacionados a la producción de los tomates y la calidad de los frutos cosechados a los 106 DDT. NFR: Número total de Frutos producidos por planta; MFFR: Masa Fresca total de Frutos producidos por planta (g); MSFR: Masa Seca total de Frutos producidos por planta (g); NFRBER: Número de Frutos por planta con *Blessed en rot*; SST: Sólidos Solubles Totales (°Brix); pH_i: pH inicial de la pulpa de los frutos; ATT: Acidez Total Titulable (g%); IM: Índice de Maduración; DUR: Dureza de penetración de la pulpa (kgf); DIA: Diámetro medio ecuatorial de los frutos (mm)

FV	GL	CUADRADOS MEDIOS									
		NFRU	MFFRU	MSFRU	NFRBER	SST	pHi	ATT	IM	DUR	DIA
Fuentes Boro (F)	2	23,79 ^{ns}	45339,13 ^{ns}	612,56 ^{**}	41,06 ^{**}	0,338 ^{ns}	0,010 ^{ns}	0,001 ^{**}	2,93 ^{ns}	0,44 ^{ns}	2,29 ^{ns}
Tensoactivo (T)	1	5,04 ^{ns}	11149,97 ^{ns}	47,86 ^{ns}	2,45 ^{ns}	0,041 ^{ns}	0,012 ^{ns}	0,005 ^{ns}	9,44 ^{ns}	0,31 ^{ns}	0,19 ^{ns}
F x T	2	180,54 ^{**}	36893,37 ^{ns}	164,70 ^{ns}	4,50 ^{ns}	0,083 ^{ns}	0,004 ^{ns}	0,005 [*]	5,39 ^{ns}	1,19 ^{**}	13,16 ^{ns}
Fact x Adic+Test	1	368,17 ^{**}	550018,04 ^{**}	2939,53 ^{**}	50,56 ^{**}	0,283 ^{ns}	0,014 ^{ns}	0,002 ^{ns}	1,08 ^{ns}	0,27 ^{ns}	3,23 ^{ns}
Adic x Test	1	6105,13 ^{**}	5374772,91 ^{**}	21633,04 ^{**}	32,00 ^{ns}	0,072 ^{ns}	0,025 ^{ns}	0,008 ^{ns}	0,75 ^{ns}	0,23 ^{ns}	3,20 ^{ns}
Tratamientos	7	983,86 ^{**}	871486,56 ^{**}	3739,28 ^{**}	25,16 ^{**}	0,177 ^{ns}	0,011 ^{ns}	0,006 ^{**}	3,99 ^{ns}	0,58 ^{**}	5,36 ^{ns}
Bloques	3	18,08 ^{ns}	27540,12 ^{ns}	69,53 ^{ns}	4,15 ^{ns}	0,293 ^{ns}	0,063 [*]	0,007 [*]	20,04	0,07 ^{ns}	7,42 ^{ns}
Residuo	21	23,18	17227,24	72,99	4,84	0,140	0,014	0,001	2,73	0,14	5,65
CV (%)		16,75	17,02	17,99	42,49	5,72	2,68	9,42	10,15	13,16	6,79

** F significativo al nivel de 1% de probabilidad

* F significativo al nivel de 5% de probabilidad

ns: F no significativo al nivel de 5% de probabilidad

Tabla 26a. Tabla del análisis de varianza (ANOVA) de concentraciones (c) y acúmulos (a) de boro (B) y calcio (Ca) en hojas (h), raíces (r) y frutos (f) de tomates cultivados bajo diferentes suministros de B los 106 DDT

FV	GL	CUADRADOS MEDIOS											
		cBh	cBr	cBf	cCah	cCar	cCaf	aBh	aBr	aBf	aCah	aCar	aCaf
Fuentes Boro (F)	2	19,13 ^{ns}	6,89 ^{**}	5,91 ^{**}	2,03 ^{ns}	0,21 ^{ns}	0,004 ^{ns}	4795,74 ^{ns}	7088,44 ^{ns}	156539,72 [*]	222542,10 [*]	466,10 ^{ns}	319,30 [*]
Tensoactivo (T)	1	4,88 ^{ns}	1,66 ^{ns}	3,80 [*]	0,67 ^{ns}	2,70 ^{ns}	0,067 ^{ns}	819,49 ^{ns}	12153,87 ^{ns}	47756,43 ^{ns}	215206,51 [*]	186,67 ^{ns}	252,17 ^{ns}
F x T	2	8,86 ^{ns}	1,36 ^{ns}	0,48 ^{ns}	15,12 ^{ns}	0,30 ^{ns}	0,014 ^{ns}	92049,69 [*]	62379,70 ^{**}	50715,01 ^{ns}	206657,42 [*]	3834,17 ^{**}	84,44 ^{ns}
Fact x Adic+Test	1	4127,29 ^{**}	16,31 ^{**}	0,01 ^{ns}	2,00 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,007 ^{ns}	7134311,65 ^{**}	42642,52 [*]	1196580,97 ^{**}	368793,27 ^{**}	11632,77 ^{**}	199,57 ^{ns}
Adic x Test	1	9646,61 ^{**}	86,33 ^{**}	22,34 ^{**}	418,91 ^{**}	7,64 ^{**}	0,589 ^{**}	18634450,25 ^{**}	179002,69 ^{**}	7968353,36 ^{**}	2419250,96 ^{**}	7204,62 ^{**}	3143,53 ^{**}
Tratamientos	7	1976,39 ^{**}	17,26 ^{**}	5,56 ^{**}	65,12 [*]	1,66 ^{ns}	0,100 ^{**}	3709038,89 ^{**}	53247,91 ^{**}	1375314,31 ^{**}	551664,26 ^{**}	3946,37 ^{**}	628,96 ^{**}
Bloques	3	27,10 ^{ns}	2,15 ^{ns}	0,20 ^{ns}	15,45 ^{ns}	0,83 ^{ns}	0,006 ^{ns}	8706,33 ^{ns}	3953,51 ^{ns}	15941,15 ^{ns}	70865,16 ^{ns}	152,38 ^{ns}	61,24 ^{ns}
Residuo	21	16,55	1,03	0,53	22,53	0,94	0,021	21655,89	6006,60	31537,79	42407,45	588,50	63,63
CV (%)		10,51	3,71	3,93	9,17	17,47	16,74	10,79	13,79	20,56	11,52	21,59	22,13

** F significativo al nivel de 1% de probabilidad

* F significativo al nivel de 5% de probabilidad

ns: F no significativo al nivel de 5% de probabilidad

Tabla 27a. Porcentaje del efecto de cada tratamiento comparado frente al tratamiento Control+B, 20 $\mu\text{mol L}^{-1}$ B en disolución nutritiva (DN) sobre cada variable medida en los tomateros a los 106 DDT

Fuentes de B	NHO		APL		DTA		VRA		MSH		MST		MSR		MSTT	
	Tensoactivo		Tensoactivo		Tensoactivo		Tensoactivo		Tensoactivo		Tensoactivo		Tensoactivo		Tensoactivo	
	Con	Sin	Con	Sin	Con	Sin	Con	Sin	Con	Sin	Con	Sin	Con	Sin	Con	Sin
Ácido Bórico	-45	-42	-60	-51	6	4	-53	-47	-31	-13	-34	-5	-7	37	-26	0
Bórax	-48	-48	-54	-52	2	3	-55	-48	-24	-12	-19	-2	21	30	-13	0
B-Etanolamina	-42	-41	-49	-52	-1	-2	-54	-66	-23	-33	-5	-26	15	-9	-10	-26
20 $\mu\text{mol L}^{-1}$ B DN																
05 $\mu\text{mol L}^{-1}$ B DN		-52		-63		0		-30		-42		-51		-27		-41

Tabla 27a. continuación...

Fuentes de B	NFL		NFA		NFR		MFFR		MSFR		NFRBER	
	Tensoactivo		Tensoactivo		Tensoactivo		Tensoactivo		Tensoactivo		Tensoactivo	
	Con	Sin	Con	Sin	Con	Sin	Con	Sin	Con	Sin	Con	Sin
Ácido Bórico	-52	-46	-50	42	-61	-56	-62	-65	-63	-67	200	300
Bórax	-38	-57	25	-8	-48	-68	-60	-69	-71	-70	600	800
B-Etanolamina	-48	-38	-42	-33	-58	-48	-60	-54	-61	-50	600	500
20 $\mu\text{mol L}^{-1}$ B DN												
05 $\mu\text{mol L}^{-1}$ B DN		-64		25		-89		-90		-90		400

Tabla 27a. continuación...

Fuentes de B	SST		pHi		ATT		IM		DUR		DIA	
	Tensoactivo		Tensoactivo		Tensoactivo		Tensoactivo		Tensoactivo		Tensoactivo	
	Con	Sin	Con	Sin	Con	Sin	Con	Sin	Con	Sin	Con	Sin
Ácido Bórico	4	7	0	-2	-2	17	13	-5	-22	14	-2	-9
Bórax	2	0	1	0	-5	-7	0	3	-10	-17	-6	-1
B-Etanolamina	-2	1	1	1	-12	-7	13	4	-15	-22	-4	0
20 $\mu\text{mol L}^{-1}$ B DN												
05 $\mu\text{mol L}^{-1}$ B DN		-3		2		-14		4		-11		-3

Tabla 28a. Porcentaje del efecto de cada tratamiento comparado frente al tratamiento Control+B, 20 $\mu\text{mol L}^{-1}$ B en disolución nutritiva (DN) sobre cada variable medida en los tomateros a los 106 DDT

Fuentes de B	cBh		cBr		cBf		cCah		cCar		cCaf	
	Tensoactivo		Tensoactivo		Tensoactivo		Tensoactivo		Tensoactivo		Tensoactivo	
	Con	Sin	Con	Sin	Con	Sin	Con	Sin	Con	Sin	Con	Sin
Ácido Bórico	-67	-67	-14	-15	-16	-11	-8	-13	-18	-21	20	52
Bórax	-63	-67	-17	-21	-6	-5	-11	-12	-11	-26	39	48
B-Etanolamina	-65	-64	-14	-13	-10	-4	-14	-10	-9	-21	33	43
20 $\mu\text{mol L}^{-1}$ B DN												
05 $\mu\text{mol L}^{-1}$ B DN		-75		-21		-17		-25		-29		89

Tabla 28a. continuación...

Fuentes de B	aBh		aBraiz		aBfru		aCah		aCaraiz		aCafu	
	Tensoactivo		Tensoactivo		Tensoactivo		Tensoactivo		Tensoactivo		Tensoactivo	
	Con	Sin	Con	Sin	Con	Sin	Con	Sin	Con	Sin	Con	Sin
Ácido Bórico	-70	-70	-28	8	-67	-69	-36	-15	-2	36	-22	-15
Bórax	-73	-68	-8	-3	-71	-70	-33	-27	9	25	-43	-39
B-Etanolamina	-68	-74	-5	-24	-65	-52	-37	-41	24	-15	-36	-8
20 $\mu\text{mol L}^{-1}$ B DN												
05 $\mu\text{mol L}^{-1}$ B DN		-82		-46		-91		-44		-55		-77