

**DEFICIÊNCIA E FORMAS DE APLICAÇÃO DE BORO EM  
COQUEIRO ANÃO VERDE**

**LEANDRO GLAYDSON DA ROCHA PINHO**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY  
RIBEIRO - UENF**

**CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ  
JANEIRO – 2008**

**DEFICIÊNCIA E FORMAS DE APLICAÇÃO DE BORO EM  
COQUEIRO ANÃO VERDE**

**LEANDRO GLAYDSON DA ROCHA PINHO**

**Tese apresentada ao Centro de Ciências  
e Tecnologias Agropecuárias da  
Universidade Estadual do Norte  
Fluminense Darcy Ribeiro, como parte  
das exigências para obtenção do título de  
Doutor em Produção Vegetal**

**Orientador: Prof. Pedro Henrique Monnerat**

**CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ  
JANEIRO – 2008**

# DEFICIÊNCIA E FORMAS DE APLICAÇÃO DE BORO EM COQUEIRO ANÃO VERDE

LEANDRO GLAYDSON DA ROCHA PINHO

**Tese apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Doutor em Produção Vegetal**

Aprovada em 23 de janeiro de 2008

Comissão Examinadora:

---

Prof. Cláudio Roberto Marciano (D.Sc., Solos e Nutrição de Plantas) - UENF

---

Prof. Gilmar Santos Costa (D. Sc., Produção Vegetal) - FAETEC

---

Prof<sup>ª</sup>. Marta Simone Mendonça Freitas (D.Sc., Produção Vegetal) - UENF

---

Prof. Pedro Henrique Monnerat (Ph.D., Nutrição Mineral de Plantas)  
(Orientador)

À minha família.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus.

Aos meus pais Nivaldo (em memória) e Elvira e aos meus irmãos, Caciana, Rodrigo e Andrele.

Ao Professor Pedro Henrique Monnerat, pela confiança, incentivo, orientação, exemplo e amizade.

A UENF, pela oportunidade de realização do curso.

A FAPERJ, pela bolsa e pelo financiamento do projeto de pesquisa.

À Fazenda Taí Agropecuária.

Aos meus amigos: André, Poliana, Raul, Dadu, Anselmo, Guilherme, Marcela, Marta, Maria José e Marcelo.

Ao Senhor Accácio, Geisa e Yaska, que com calma e paciência sempre estiveram por perto, ajudando.

Aos professores das disciplinas que cursei.

Ao Professor Cláudio Roberto Marciano e ao Vicente Mussi Dias.

Aos amigos: Chicão, Eleodoro, Romano, Marcelo, Matheus, Ernando, Édson, Laélío, Gustavo, Partelli, Farlen, Hildefonso e Dimmy,

A todos que direta ou indiretamente ajudaram na condução deste trabalho. Muito obrigado.

## SUMÁRIO

RESUMO .....	vi
ABSTRACT .....	viii
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	3
2.1 DEFICIÊNCIA DE BORO EM COQUEIRO .....	3
2.2 EFEITO DO BORO NAS PLANTAS: ASPECTOS ANATÔMICOS E FISIOLÓGICOS .....	5
2.2.1 ASPECTOS ANATÔMICOS .....	5
2.2.2 ASPECTOS FISIOLÓGICOS .....	10
2.3 DINÂMICA DO BORO NO SOLO .....	13
3. TRABALHOS .....	19
DEFICIÊNCIA DE BORO EM COQUEIRO ANÃO VERDE: I. CARACTERIZAÇÃO DOS SINTOMAS VISUAIS E TEORES DE BORO NA PARTE AÉREA .....	19
1. INTRODUÇÃO .....	21
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	22
3. RESULTADOS .....	28
4. DISCUSSÃO .....	38
5. CONCLUSÕES .....	41
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	42
DEFICIÊNCIA DE BORO EM COQUEIRO ANÃO VERDE: II. DISTRIBUIÇÃO DE NUTRIENTES NAS FOLHAS .....	45

1. INTRODUÇÃO.....	47
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	49
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	54
4. CONCLUSÕES.....	73
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	74
DEFICIÊNCIA DE BORO EM COQUEIRO ANÃO VERDE: III. SINTOMAS VISUAIS E DISTRIBUIÇÃO DE NUTRIENTES NAS RAÍZES.....	
	76
1. INTRODUÇÃO.....	78
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	80
3. RESULTADOS.....	85
4. DISCUSSÃO.....	90
5. CONCLUSÕES.....	94
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	94
EFICIÊNCIA DE DUAS FORMAS DE APLICAÇÃO DE ÁCIDO BÓRICO EM COQUEIRO ANÃO VERDE.....	
	98
1. INTRODUÇÃO.....	99
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	103
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	105
4. CONCLUSÕES.....	110
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	110
5. RESUMO E CONCLUSÕES .....	113
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	115

## RESUMO

PINHO, Leandro Glaydson da Rocha; D.Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; Janeiro de 2008; Deficiência e formas de aplicação de boro em coqueiro anão verde; Orientador: Prof. Pedro Henrique Monnerat.

Conduziram-se dois experimentos em Campos dos Goytacazes-RJ, com o intuito de avaliar os efeitos do boro em plantas de coco anão verde. Um experimento foi conduzido em casa de vegetação, de 05/01/2006 a 29/05/2007, com o objetivo de caracterizar os sintomas visuais de deficiência de boro em folhas e raízes, durante as primeiras fases de crescimento da planta, bem como a distribuição de nutrientes nessas partes da planta. Dois tratamentos, +B e - B, foram aplicados como soluções nutritivas em vasos plásticos contendo 90 litros de areia purificada e uma planta de coqueiro, em delineamento inteiramente casualizado, com seis repetições. As soluções nutritivas foram aplicadas diariamente na dosagem de 2,5 L por planta e as irrigações, com 3 L de água desionizada por planta, foram aplicadas oito vezes ao dia. Os sintomas de deficiência de boro foram fotografados à medida que apareceram. Depois de 406 dias da imposição dos tratamentos, foram coletadas as seguintes amostras foliares: A) folíolos da parte central de todas as folhas; B) folíolos da parte apical, central e basal da folha número 4; C) folíolos centrais da folha número 4, subdivididos em sete seções. As raízes foram coletadas 464 dias após a indução da deficiência de boro. Os sintomas visuais de deficiência de boro em folhas de coqueiro foram: folíolos com pontuações translúcidas brancas que se fundem, formando linhas paralelas à nervura central; enrugamento parcial dos folíolos com formato semelhante ao das

pontuações e linhas brancas; fendilhamento em forma de V nos folíolos da base do ráquis da folha; tamanho reduzido das folhas novas; ausência da folha flecha; necrose no ápice dos folíolos, sendo que os mais afetados apresentam dobraduras em forma de sanfona. O palmito tornou-se escurecido com manchas castanhas, e necroses profundas nos dois lados da ráquis. A relação entre as concentrações de boro no ápice e no centro do folíolo tornou-se uma alternativa promissora na diagnose de deficiência de boro; plantas deficientes de B tiveram uma relação em torno de 2, enquanto que plantas bem supridas de B tiveram valores bem maiores. A porção do folíolo que melhor respondeu a aplicação de B foi a apical. A deficiência de boro aumentou as concentrações de N, P e K em todas as raízes, as de Mg, S, Cu e Zn nas raízes mais finas, mas não afetou as concentrações de Ca, Fe e Mn. A deficiência de boro reduziu a massa das raízes totais e finas em 29,7% e 48,3%, respectivamente, e promoveu o engrossamento e escurecimento das raízes, com ramificações curtas; as pontas das raízes necrosaram, causando superbrotamento das raízes. O segundo experimento, realizado no período de 06/05/2003 a 05/03/2004, foi instalado no campo, na Fazenda Taí Agropecuária. Para tanto, objetivou-se verificar a distribuição de boro entre as folhas do coqueiro em resposta às aplicações de ácido bórico na axila da folha número 10 e no solo. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com três tratamentos: 30 g de  $H_3BO_3$  aplicados na axila da folha número 10, 60 g de  $H_3BO_3$  aplicados no solo, e um controle, sem aplicação de B, com seis repetições e duas plantas por unidade experimental. O boro distribuiu-se nas diversas folhas do coqueiro em ambas as formas de aplicação do ácido bórico.

## **ABSTRACT**

PINHO, Leandro Glaydson da Rocha; D.Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; January, 2008; Boron deficiency in green dwarf coconut; Advisor: Prof. Pedro Henrique Monnerat.

Two experiments were undertaken in Campos of Goytacazes-RJ to evaluate the effects of boron on green dwarf coconut. One experiment was conducted in a greenhouse, from 05/01/2006 to 29/05/2007, with the aim of characterizing boron visual deficiency symptoms in leaves and roots during the first stages of growth, as well the mineral distribution in those plant parts. Two treatments, +B and -B, were applied as nutrient solutions in plastic pots containing 90 liters of purified sand and one coconut plant, in a completely randomized design with six replicates. 2.5 L of nutrient solution were applied daily; 3 L of deionized water was applied eight times a day. The symptoms of boron deficiency were photographed as they appeared. After 406 days of the imposition of the treatments, the following leaf samplings were collected A) leaflets of the central area of all the leaves; B) leaflets of apical, central and basal areas of leaf number 4; C) central leaflets of leaf number 4 were split up in seven parts. The roots were collected 464 days after the induction of the deficiency. The visual symptoms of boron deficiency in coconut tree leaves were: leaflets with white translucent punctuations that coalesce forming parallel lines to the midrib; partial corrugation of the leaflets with similar format to the punctuations and white lines; leaflet cracks with V form at the base of the leaf rachis; the new leaves were visually small; absence of the arrow leaf; necrosis in the apex of the leaflets, the most affected leaflets have folds with

an "accordion" form. The palm heart was darkened with brownish stains, possessing deep necroses in the two sides of the rachis. The ratio between boron concentration in the apex to that in the center of the same leaflet came as a promising alternative in the nutritional diagnosis of boron deficiency; B deficient plants had a relationship around 2 while B sufficient plants had a much greater value. The part of the leaflet that best responded to B application was the apical one. The boron deficiency increased the concentrations of N, P and K in all of the roots, those of Mg, S, Cu and Zn in the finer roots, but it didn't affect the concentrations of Ca, Fe and Mn. Boron deficiency reduced total and fine roots by 29.7% and 48.3%, respectively, and promoted the thickening and darkening of the roots, with short ramifications; the tips of the roots died causing root oversprouting. In the second experiment, driven from 05/06/2003 to 03/05/2004, Conducted under field condition at Taí Farm. It was aimed at to verify boron distribution among the coconut tree leaves in response to the application of boric acid in the leaf axil number 10 to the soil. The experiment was in a completely randomized design, with three treatments: 30 g of  $H_3BO_3$  applied to the axil of leaf number 10, 60 g of  $H_3BO_3$  applied to the soil, and a control with no B application, with six replicates. Boron distribution along the leaves occurred when it was supplied either to the soil or to leaf axil.

## 1. INTRODUÇÃO

Das fruteiras produzidas no Brasil, o coqueiro (*Cocos nucifera* L.), com seus 285.243 hectares, representa a quarta maior área colhida, sendo menor que a área da laranjeira (*Citrus sinensis* L.), cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) e bananeira (*Musa* spp.) (FAO, 2007). Seu fruto pode ser utilizado para o consumo *in natura* e também como matéria prima para processamento agroindustrial. Sua importância mundial é grande, o que o faz ser conhecido como “árvore da vida”. Alguns órgãos de pesquisa dedicam parte ou a totalidade de suas atividades ao coqueiro, como exemplo: *The Coconut Research Institute, do Sri Lanka; Institut de Recherches des Huiles et Oleagineux, da França* e, no Brasil a Embrapa Tabuleiros Costeiros, o Instituto Agrônomo de Campinas e a Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, dentre outros.

No Brasil, o coqueiro se destaca por gerar muitos empregos e por ser também cultivado por pequenos produtores, contribuindo para a fixação do homem no campo (Hoffmann et al., 1996; Mariano et al., 1997). Nas regiões Norte e Nordeste do Brasil, essa cultura tem contribuído para aumentar o valor bruto da produção agrícola (Mariano et al., 1998).

O cultivo do coqueiro anão verde se expandiu na Região Norte Fluminense no início da década de 90. O motivo para tal expansão foi a grande demanda pela água de coco verde, principalmente durante o verão, e a expectativa de lucros elevados. De maneira geral, as culturas foram implantadas com a adoção de poucas tecnologias apropriadas, pois não existiam técnicas

desenvolvidas para a região e as utilizadas foram geradas para o Nordeste do Brasil. Alguns plantios foram implantados com as recomendações básicas da EMBRAPA, inclusive adubação de plantio, entretanto, na maioria dos casos, as adubações de formação e de produção não foram seguidas. Com isso, desenvolveram-se culturas muito carentes de adubação. Alguns plantios têm recebido as adubações e tratos culturais preconizadas pela EMBRAPA para a Região Nordeste Brasileira, mas têm apresentado problemas como a deficiência hídrica, deficiências minerais e algumas pragas.

Após a instalação da cultura do coqueiro na Região Norte Fluminense, várias áreas apresentaram plantas com deformações foliares, sintoma previamente descrito como de deficiência de boro. A correção do sintoma tem sido possível com a aplicação de boro na axila foliar. De qualquer forma, o sintoma também se assemelha ao descrito como ataque de ácaros, o que gera dúvidas sobre qual o agente causal do quadro sintomatológico. Em decorrência disso, objetivou-se com o presente trabalho:

1. Induzir plantas de coqueiro anão verde a apresentarem sintomas de deficiência de boro nas folhas e no palmito;
2. Verificar, em plantas deficientes de boro, a distribuição de nutrientes nas folhas, em regiões da folha e em seções dos folíolos, assim como estabelecer normas para identificação de deficiência de boro em coqueiro anão verde;
3. Caracterizar os sintomas visuais de deficiência de boro em raízes de coqueiro e verificar o efeito da deficiência de boro na formação de raízes de diferentes diâmetros e na acumulação de nutrientes nestas raízes.
4. Avaliar a distribuição de boro entre as folhas de coqueiro quando a aplicação de ácido bórico for realizada na axila foliar ou no solo.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 DEFICIÊNCIA DE BORO EM COQUEIRO

Os sintomas até então descritos como deficiência de boro (B) em coqueiro são folíolos com as extremidades unidas e, quando a deficiência se torna mais grave, os folíolos da base da ráquis de novas folhas diminuem de tamanho e começam a apresentar deformações e/ou enrugamentos. Nos casos mais extremos, o ponto de crescimento deforma-se completamente, paralisando o desenvolvimento da planta (Sobral, 1998).

Os sintomas de deficiência de boro anteriormente descritos se assemelham muito com os sintomas apresentados por folhas de coqueiro atacadas pelo ácaro *Aceria (Eriophyes) guerreronis* Keifer (Ferreira et al., 1998). Fato que além de gerar dúvidas sobre qual o agente causal, leva a dificuldade na identificação dos sintomas visuais de deficiência de boro. Em várias ocasiões, produtores de coqueiro do Estado do Rio de Janeiro, orientados pelo Prof. P. H. Monnerat, aplicaram B nas axilas de plantas apresentando os sintomas de deficiência de B, e em todos os casos relataram a correção do sintoma nas folhas emitidas posteriormente<sup>1</sup>.

No Estado do Rio de Janeiro, mais precisamente no Norte Fluminense, a deficiência de boro foi observada em coqueirais jovens (Mirisola Filho, 1997). Naquela época, a folha indicadora (4 ou 9) foi amostrada a cada 6 meses, durante

---

<sup>1</sup> Comunicação pessoal.

18 meses, porém sempre apresentavam teores de boro em torno de  $17,5 \text{ mg kg}^{-1}$  (Mirisola Filho, 1997), valor esse que não caracteriza a deficiência por diagnose nutricional. Posteriormente, corrigiu-se a deficiência de boro em coqueiro com epinastia, as folhas novas estavam deformadas e necrosadas, aplicando-se de 15 g de bórax por planta na axila foliar das folhas novas. Após alguns meses as folhas foram emitidas normalmente (Santos et al., 2003). No entanto, o diagnóstico nutricional por análise química do tecido é um problema. Assim como Mirisola Filho (1997), Santos et al. (2003) encontraram na folha indicadora (folha 9 ou 14), teores acima do nível crítico ( $8 \text{ mg kg}^{-1}$ , na folha 14), segundo Chew, (1978). Os sintomas de deficiência de boro aparecem nas folhas novas (Manciot et al., 1980; Corrado et al., 1992; Sobral et al., 1998; Santos et al., 2003), dificultando a identificação por diagnose foliar em que se utilizam folhas mais desenvolvidas (folhas 4, 9 ou 14) (Santos et al., 2003). Segundo Santos et al. (2003), as folhas mais novas e passíveis de amostragem podem ser melhores para indicar a disponibilidade do boro ao coqueiro. Entretanto, não existem padrões de comparação para folhas novas, o que, de certa forma, desestimula tal prática. De forma geral, os profissionais especializados são consultados após algumas folhas já estarem comprometidas.

Tendo em vista a baixa mobilidade do boro na planta, os sintomas de deficiência iniciam-se nas partes meristemáticas (Marschner, 1995), havendo paralisação do crescimento celular em virtude do papel que esse micronutriente tem na estabilidade da parede celular (Marschner, 1995). Como, em condições de campo, não existe falta absoluta de boro, as pequenas e insuficientes quantidades de boro absorvidas são distribuídas para folhas que apresentam maior intensidade transpiratória, promovendo, então, acumulação de boro nessas folhas que poderão ser amostradas para análise. Mesmo as folhas mais novas com sintomas de deficiência passam a acumular boro quando a disponibilidade no solo aumenta, tendo em vista que o dano causado ao tecido é irreversível (Santos et al., 2003).

Para a correção da deficiência de boro em coqueiro recomenda-se a aplicação de 30 g de bórax na axila (espaço entre a bainha e o estipe) da folha 4 em plantas jovens, e em plantas adultas o bórax pode ser misturado com outros fertilizantes e aplicado no solo (Sobral, 1998). Santos et al. (2003), após o fornecimento de 30 g de bórax, divididas em duas aplicações de 15 g, nas axilas

das folhas 2, 3 e 4 promoveram a emissão de folhas normais em plantas de coqueiro anão verde que anteriormente apresentavam epinastia e deformações nas folhas novas, sintomas atribuídos à deficiência de boro (Sobral, 1998; Macêdo et al., 1999; Broschat, 2005). A aplicação de boro em coqueiro jovem promoveu a emissão de folhas normais, porém não corrigiu o sintoma em folhas já afetadas pela deficiência de boro (Santos et al., 2003). Assim, para se reduzir possíveis quedas na produtividade, o manejo da adubação com boro deve ser realizado de forma a prevenir a deficiência, evitando a formação de folhas anormais.

A deficiência de boro foi diagnosticada em coqueiro adulto (Macêdo et al., 1999), além de em outras *Arecaceae* de grande porte (Broschat, 2005). Nestes trabalhos a redução da área foliar foi evidente e observou-se também epinastia. Pinho (2004) trabalhando com plantas adultas de coqueiro anão verde observou aumento nos teores de boro na folha 14 e elevou a produtividade de plantas de coqueiro anão verde através do fornecimento de ácido bórico ao solo e à axila da folha 10. Apesar de a adubação com boro ter permitido a emissão de folhas normais (Santos et al., 2003) e incremento em produtividade (Pinho, 2004), não se tem informações sobre a eficiência dos métodos de aplicação na distribuição de boro entre as folhas do coqueiro.

## **2.2 EFEITO DO BORO NAS PLANTAS: ASPECTOS ANATÔMICOS E FISIOLÓGICOS**

### **2.2.1 ASPECTOS ANATÔMICOS**

Após a confirmação do boro como nutriente essencial às plantas superiores por Warington em 1923, vários esforços científicos foram direcionados para verificar qual o papel deste micronutriente no metabolismo vegetal. Das funções atualmente atribuídas ao boro, duas são aceitas pela comunidade científica. Uma é como constituinte da parede celular, onde o boro, possivelmente, atuaria estabilizando-a (Hu e Brown, 1994; Ishii e Matsunaga, 1996; Fleischer et al., 1998; Pfeffer et al., 2001, Match et al., 1993 e Kobayashi et

al. 1996). A outra função seria na manutenção da integridade da membrana plasmática (Cakmak et al., 1995).

Recentes descobertas mostraram o envolvimento do boro na fisiologia vegetal, onde se evidenciou aspectos que se relacionam diretamente com a estrutura da parede celular (Kobayashi et al., 1996; Matoh, 1997). Todavia, Nielsen (2000) mostrou que o B é essencial para o metabolismo animal, onde não existe parede celular. Nesse caso, o boro deve possuir outras funções mais voltadas à bioquímica vegetal.

A compreensão atual do papel do B na parede celular é de seu provável uso como ponto para ligações em cruz, através da ligação dos dois pares de hidroxilas livres do borato com constituintes da pectina que possuem grupos cis-diois em conformação favorável. As ligações diésteres formadas têm a vantagem de serem reversíveis. Os ésteres de borato são dissociáveis em pH de 3,5 a 5,0. Com a acidificação do apoplasto, pode ocorrer a quebra das ligações em cruz do B com a pectina e permitir a expansão celular. Essa hipótese está de acordo com a hipótese do crescimento ácido (Loomis e Durst, 1992).

A descoberta de vários constituintes da parede celular que são dependentes de ligações com o borato como o *rhamnogalacturonan II* tem fortalecido a hipótese, além de moléculas com grupos dihidroxi-alcoois (Hu et al., 1997). Kobayashi et al. (1996) e Ishii e Matsunaga (1996), mostraram que realmente ocorre em plantas a formação de ésteres de borato em ligações em cruz com a pectina. Segundo estes autores, o B se liga a duas unidades denominadas "*Rhamnogalacturonan II*". Essa molécula é uma estrutura polissacarídica complexa da pectina, presente na parede celular primária das plantas (Ishii e Matsunaga, 1996).

Matoh (1992) observou em tabaco uma formação anormal da parede celular, onde as células em deficiência de B apresentavam-se com o tamanho aumentado, quando comparado com o tratamento controle.

As observações apresentadas nos trabalhos supracitados mostram uma das possíveis funções diretas do boro à manutenção da integridade da parede celular. Associado a integridade da parede celular, artigos científicos mostraram que ocorrem perdas de componentes celulares em plantas ocasionadas pela má formação da plasmalema. O fluxo de potássio e substâncias orgânicas para o apoplasto em plantas deficientes de boro foi demonstrado por Cakmak et al.

(1995). Para tal liberação de conteúdo celular em baixa disponibilidade de B, a membrana plasmática deveria estar comprometida.

Em abacaxi e maracujá doce induzidos à deficiência de boro, a deformação dos frutos foi evidente (Ramos, 2006; Siebeneichler, 2002; Freitas, 2006), essa deformação causa má aparência e conseqüentemente compromete a comercialização do produto. Como o B participa da constituição da parede celular são esperadas desordens na estrutura da parede em células formadas em condições de ausência ou baixa disponibilidade de boro.

Sintomas macroscópicos de deficiência de boro em frutos, de maneira geral, levam a uma má formação, como mostrado em abacaxi por Ramos (2006) e Siebeneichler (2002) e em maracujá doce por Freitas (2006). Tanto em abacaxi quanto em maracujá, além da deformação, observou-se uma espécie de “cortiça”. Estes sintomas devem estar associados à anormal formação da parede celular e a disfuncionalidade das membranas.

Em feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), o primeiro sintoma de deficiência de B ocorreu nas raízes (Moraes-Dallaqua et al., 2000). Nas raízes das plantas submetidas a  $0,25 \text{ mg L}^{-1}$  de boro (baixa disponibilidade), notou-se desorganização dos tecidos da extremidade distal do ápice, não sendo possível a distinção entre meristema sub-apical e coifa, pois as células são de vários formatos e tamanhos, sendo que as da extremidade encontram-se em degeneração. Neste trabalho, observou-se em plantas desprovidas de B o colapso celular e a não evidência de núcleos.

Bassil et al. (2004) apresentaram dados que sugerem possível efeito do B em conexões citoplásmicas transvacuololares (*Transvacuolar Cytoplasmic Strands*) e na adesão da célula na parede celular. Os autores utilizaram diferentes fontes de boro e seus análogos, cada reagente possuindo distintos valores de pKa e revelando diferentes forças de reação com o boro presente na planta, conseqüentemente apresentando diferentes níveis de fornecimento de ligação cis-diol para os componentes celulares. Foram percebidas alterações na morfologia celular com os reagentes utilizados, sendo que os autores enfatizaram a separação das conexões citoplásmicas transvacuolares e o colapso do núcleo no final da parede celular. O distúrbio celular foi maior à medida que se aumentava a força de reação (valores de pKa mais baixos) dos ácidos borônicos utilizados. O tratamento da célula com  $0,1 \text{ mM}$  do ácido 3-nitrofenilborônico, pKa 7,2, por duas

horas promoveu um drástico distúrbio nas conexões transvacuolares levando a perda de apoio do núcleo e o colapso da periferia celular. De forma contrária, células tratadas com ácido metilborônico (pKa 10,7) não distinguiram das células não tratadas com B e não exibiram distúrbios celulares visíveis após prolongado período de exposição e sob alta concentração (1mM).

Como já foi mencionado, o sintoma de deficiência de boro ocorre inicialmente em raízes; a dificuldade para a detecção do sintoma inicial de deficiência seria a localização das raízes no solo. Para a expressão de sintomas visuais de deficiência, inicialmente ocorrem mudanças nas células, para posteriormente os tecidos e órgãos apresentarem os sintomas. Nesse caso, estudos anatômicos podem ser utilizados para auxiliar pesquisadores a comprovar o sintoma visual apresentado.

Assim como na deficiência, efeitos tóxicos também levam a distúrbios, como demonstrado por Ganathi et al. (2004), cuja toxidez por B levou a alterações anatômicas nas raízes ocorrendo possíveis desbalanços nutricionais e hídricos. Esses autores identificaram a suberização de raízes submetidas à toxidez de boro. O nível mais baixo (deficiente), foi 0,01 mM; o intermediário, 0,05 mM e o tóxico, 5 mM de B. Comparado ao nível intermediário, o crescimento de raízes foi reduzido devido à deficiência e à toxidez, mostrando a importância do controle da adubação com o micronutriente. A drástica diminuição no crescimento ocorreu em toxidez. Esses autores apresentaram uma série de evidências para a formação de hipoderme, com deposição de suberina na parede celular em raízes de soja submetidas a excesso de B. Esta suberização, segundo os autores, diminuiu a capacidade do movimento de água no córtex da raiz.

Vale ressaltar que em estresse hídrico, a planta exibe conjuntamente alguns sintomas de deficiência nutricional, muitas vezes ligados a nutrientes que tem movimento dependente, em maior expressão, do transporte por fluxo de massa. O amarelecimento em milho causado por déficit hídrico é comum em regiões produtoras desprovidas da irrigação, e é causado pela deficiência de nitrogênio.

A associação da deficiência de B com estresse hídrico pode causar dificuldades na identificação de verdadeiros problemas, devido a múltiplos sintomas que a planta irá apresentar. Segundo Hu e Brown (1997), a absorção de boro está diretamente relacionada à absorção de água. Culturas perenes não

irrigadas estão constantemente submetidas a déficit hídrico. Como resultado, estas plantas podem exibir visíveis ou microscópicos sintomas de deficiência de boro. A ocorrência do sintoma em raízes deve comprometer a absorção de outros nutrientes, levando a planta a se adaptar ao fluxo irregular do micronutriente.

Distúrbios no alongamento de raízes de tomate foram mostrados por Yih e Clark (1964). Os autores submeteram as plantas inicialmente à solução completa e após 10 dias aplicaram o teste com solução completa ou sem boro, promovendo as avaliações durante 72 horas. Os autores observaram rápida paralisação do crescimento radicular e as raízes laterais deformaram-se.

Moraes et al. (2002) estudaram variações anatômicas entre plantas de seringueira com sintomas parecidos com deficiência de boro e plantas sem sintomas, ambas com aproximadamente três anos e meio de idade. Os autores observaram variações anatômicas nas plantas com sintomas de possível deficiência de boro, onde as paredes celulares ou as camadas constituintes da parede mostraram, nos cortes, alta frequência de separação, inclusive dos vasos lenhosos, enquanto nas plantas sem sintomas o mesmo não ocorreu. Nestas o contorno das paredes era bastante nítido, em contraste com a aparência difusa das células do lenho das plantas com sintomas. Observou-se, nas amostras de plantas sem sintomas de deficiência de boro, a presença abundante de grãos de amido, tanto no lenho periférico como no interno. Nas amostras com sintomas foram encontrados poucos grãos de amido. Neste experimento os autores concluíram que o encurvamento do caule em seringueira é consequência da menor coesão entre os elementos do lenho, causada pela redução dos constituintes da lamela média, principalmente do pectato de cálcio (Moraes et al., 2002).

A compreensão da forma de absorção de B pelas plantas, certamente pode auxiliar no entendimento de certos sintomas visuais de deficiência de B, principalmente quando ocorrem estresses variados nas culturas. De certa forma, observações de campo levam a aparente deficiência de boro em plantas submetidas a solos com disponibilidade relativamente boa desse nutriente. É comum também a associação da deficiência com o ataque de pragas e doenças, como ocorre em coqueiro. Segundo Ferreira (1998), o ataque do ácaro da necrose do coqueiro (*Aceria gerreronis* Keifer), se confunde com os sintomas de deficiência de boro até então descritos na literatura.

## 2.2.2 ASPECTOS FISIOLÓGICOS

Segundo Ruiz (2001), o mecanismo de absorção de boro é debatido há mais de três décadas. Em condições de campo ocorrem, entre espécies e entre variedades de uma mesma espécie cultivadas nas mesmas condições, diferenças marcantes na absorção de boro (Ruiz, 2001; Blevins e Lukaszewsk, 1998).

A absorção de boro é realizada em parte por difusão passiva pela bicamada lipídica e possivelmente por canais que mediam a absorção de boro (Dorbas et al., 2000). Os autores observaram inibição parcial, 30-39%, do transporte de boro, a partir de  $\text{HgCl}_2$ . Segundo Ruiz (2001), estes fatos, em conjunto com a diferença na expressão de canais que mediam a absorção de boro podem explicar as diferenças na taxa de absorção de boro entre espécies e diferentes cultivares produzidas em condições idênticas.

Segundo Hu e Brown (1997), a transpiração parece ser o fator mais importante que governa a absorção de boro, uma vez que o boro se movimenta no solo através do fluxo de massa. Assim, em momentos de estresse hídrico prolongado, as plantas podem apresentar sintomas visuais de deficiência de boro. Grandes avanços na pesquisa ocorreram em relação à absorção do B, seu papel na parede celular e nas membranas, em particular na plasmalema e na partição de B na planta. Todavia, ainda permanecem obscuros os efeitos da umidade relativa, da disponibilidade de água e queda na temperatura, na absorção e distribuição do B e os efeitos de suas interações em processos bioquímicos, fisiológicos e na anatomia vegetal. Estudos em plantas perenes e de elevado porte são mais escassos.

O efeito de baixas temperaturas é de relativa importância para regiões de clima temperado ou em áreas em que no inverno a temperatura decresce bastante. A queda na temperatura pode afetar o metabolismo da planta e diminuir a absorção de nutrientes (Huang et al., 2005). Existem variações na resistência de plantas ao decréscimo da temperatura; usualmente os vegetais de origem tropical e subtropical são caracterizados como sensíveis a baixas temperaturas (Huan et al., 2005).

A mandioca (*Manihot esculenta*) é uma das espécies extremamente sensíveis a baixas temperaturas radiculares. Forno et al. (1979), expuseram plantas de mandioca a temperaturas de 18, 22, 28 e 33 °C com o nível adequado

de B na solução nutritiva (46  $\mu\text{M}$ ). Nas plantas submetidas a 18 °C ocorreram severos sintomas de deficiência de B, inicialmente nas raízes e posteriormente na parte aérea. Em tomate (*Lycopersicon esculentum*), as plantas diminuíram a absorção de B após a queda da temperatura para 10 °C, mas não exibiram sintomas visuais de deficiência, porém a solução nutritiva tinha 93  $\mu\text{M}$  de B (Tindall et al., 1990), concentração relativamente elevada.

A resistência de plantas em relação a queda na temperatura radicular está diretamente relacionada à capacidade de adaptação para absorver água pelas raízes e manter transpiração foliar (Aroca et al., 2001). Em decorrência disso, vale salientar que em plantas deficientes de B, um dos primeiros órgãos a exibir sintoma de deficiência é a raiz, e possivelmente interferindo na absorção de água devido à má formação e disposição das células, como foi mostrado por Moraes-Dallaqua et al. (2000). Conforme o exposto, se a planta é sensível à queda na temperatura radicular e a absorção de boro é diminuída, certamente ocorrerão prejuízos na produção e possivelmente a absorção de outros nutrientes será afetada.

Em condições de campo, para a temperatura do solo diminuir, possivelmente a temperatura do dossel teria decrescido a mais tempo, e prejudicado a absorção de nutrientes cujo movimento é preferencialmente feito por fluxo de massa, como é o caso do B.

Segundo Lawrence et al. (1995), boro e zinco são essenciais para o funcionamento ótimo das ATPases e dos sistemas redox da membrana plasmática. Ou seja, todo o processo de absorção de nutrientes da planta pode ser afetado em deficiência desses nutrientes.

A diminuição da absorção de potássio foi um dos efeitos observados por Schon et al. (1990), em células de raízes de girassol (*Helianthus annuus* L.), submetidas à omissão de boro. Potássio e cloro são nutrientes que estão diretamente envolvidos na abertura dos estômatos (Marschner, 1995). Possivelmente, em baixa disponibilidade de boro, ocorrerá menor eficiência dos mecanismos de controle da condutância estomática.

Associado à menor absorção de K, encontra-se na literatura dados mostrando diminuição da absorção de fósforo (P), por raízes de milho e feijão, fato que agrava as preocupações pertinentes a menor ou ausente disponibilidade de B. O fósforo é um nutriente requerido diretamente na fotossíntese, nas reações

de fosforilação do ADP à ATP, assim como na maioria das reações que necessitam da entrada de energia livre (Taiz e Zeiger, 2002).

Cakmak et al. (1995) mostraram que folhas de plantas submetidas à deficiência de boro apresentavam maior extravasamento para o apoplasto de potássio, fenóis, açúcares e aminoácidos do conteúdo celular, aumentando o extravasamento em condições de alta intensidade luminosa, além de menor atividade das H<sup>+</sup> ATPases. Esses autores explicaram que em situação de deficiência de boro ocorre aumento da permeabilidade da membrana plasmática a vários produtos citossólicos, isso acontece devido ao acúmulo de fenóis e dos produtos de sua oxidação como quinonas e radicais livres.

O efeito da deficiência de boro mais comumente citado na literatura é o decréscimo no alongamento e menor expansão das folhas novas. A explicação mais plausível é a perda da plasticidade celular Hu e Brown, (1994). Em consequência da diminuição da área foliar e de alterações nos constituintes das folhas, em casos de deficiência de boro, a fotossíntese reduziria indiretamente (Dell e Huang, 1997).

Em *Anabaena* PCC 7119 em condições de assimilação de nitrogênio (N), a deficiência de B resultou em menor evolução de O<sub>2</sub>, após 24 horas da remoção do B do meio de cultura, e em menor fixação de CO<sub>2</sub>, agora às 48 horas de ausência de B. Os teores de clorofila e ficobilina também reduziram 24 horas após a remoção do B do meio de cultura (Garcia-González, 1990).

Zhao e Oosterhuis (2000) cultivaram plantas de algodão em solução nutritiva, utilizando areia lavada e após duas semanas do plantio os pesquisadores subdividiram plantas de mesmo porte, aplicando os tratamentos, solução completa ou -B. Entre a quarta e quinta semana as plantas começaram a apresentar sintomas visuais de deficiência de boro. Semanalmente os autores mediram a fotossíntese, condutância estomática e transpiração. Ao mesmo tempo o teor de carboidratos foi medido. Coincidindo com os sintomas visuais de deficiência, somente após cinco semanas da omissão de B ocorreram reduções na taxa de fotossíntese e na taxa de transpiração; a condutância estomática reduziu três semanas após a remoção do B (Zhao e Oosterhuis, 2000).

O processo de abertura e fechamento estomático é governado por uma série de fatores, muitos desses estimulados pela luz como a atividade de enzimas (Rao e Anderson, 1983), que trabalham de forma a promover a diminuição do

potencial hídrico na célula guarda e a entrada de água para equilibrá-lo (Taiz e Zaiger, 2004). Um dos nutrientes minerais utilizados no processo é o K, e como a deficiência de B pode levar a menor absorção do nutriente, isso pode gerar possíveis prejuízos na abertura estomatal. Zhao e Oosterhuis (2000), também analisaram a liberação de solutos pelas folhas de algodão, revelando significativo aumento em deficiência de B, quatro e cinco semanas após a omissão do B. Não foram encontrados na literatura investigação sobre a possibilidade de efluxo de potássio diretamente através da plasmalema da célula guarda em plantas deficientes de B, o que poderia prejudicar a abertura estomática. Esses autores não revelaram quais solutos estavam sendo liberados; existe grande possibilidade de possuir elevados teores de K, uma vez que Cakmak et al. (1995) observaram incremento no efluxo de K em folhas de plantas de girassol deficientes em boro.

Não se tem dados consistentes a respeito do papel do boro no metabolismo de açúcares, porém o teor de fosfato inorgânico (Pi) foi menor em plantas de feijão e milho desprovidas de B na solução (Pollard et al., 1977). Acúmulo de amido pode ocorrer no cloroplasto de folhas em deficiência de P, isto devido à troca entre Pi do citoplasma e trioses fosfato do cloroplasto. Caso o Pi esteja pouco disponível, a célula não permite a troca e, assim, as trioses fosfato formadas no processo fotossintético são revertidas em amido no cloroplasto, promovendo até mesmo o sombreamento do tilacoide (Taiz e Zeiger, 2004).

As plantas de algodão do tratamento deficiente em boro apresentaram menor capacidade de translocar açúcares para o botão floral como observado por Zhao e Oosterhuis (2000). As plantas, de alguma forma, em caso de deficiência de boro, podem apresentar dificuldade na translocação de açúcares para órgãos em crescimento ou de reserva.

## **2.3 DINÂMICA DO BORO NO SOLO**

Em termos mundiais, a deficiência de B é a mais comum entre os micronutrientes e surge de maneira mais freqüente em solos arenosos, devido a sua lixiviação para as camadas não atingidas pelo sistema radicular das plantas. O baixo fornecimento não só promove diminuição na produtividade, mas também diminui a qualidade do produto colhido (Blevins e Lukaszewski, 1998).

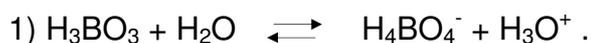
Shorrocks (1997) apresentou um mapa identificando as principais áreas de ocorrência de deficiência de B (Figura 1). As áreas escuras são onde as culturas apresentam maior probabilidade de resposta à aplicação de boro. Percebe-se, no Brasil, uma grande área de provável resposta.



Figura 1. Áreas deficientes de boro (Shorrocks, 1997).

O boro é absorvido da solução do solo, principalmente, na forma não dissociada de ácido bórico,  $H_3BO_3$ ,  $pK_a = 9,25$ ;  $25^\circ C$  (Hu e Brown, 1997).

A disponibilidade de boro às plantas está muito relacionada ao comportamento desse nutriente no solo. Em pH próximo ao  $pK_a$  do ácido bórico ocorre a maior adsorção de boro no solo. A dissociação do ácido bórico segue a equação:



Em valores de pH inferiores ao  $pK$  do ácido bórico tem-se predomínio da forma não dissociada ( $H_3BO_3$ ).

A extração de boro no solo, pelo método da água quente, em 103 amostras de terra de horizontes superficiais do Estado do Rio de Janeiro, pertencentes às solotecas da EMBRAPA-CNPS e do Departamento de Solos da UFRRJ, demonstrou que a disponibilidade de boro elevou com o aumento do teor de argila e carbono orgânico e decrescem com a elevação do pH de 3,5 à 7,5 (Valadares et al., 1999).

A adsorção do B no solo tem sido estudada, com resultados similares entre vários autores. Goldberg e Glaubig (1985) mostraram elevação da adsorção de B por óxidos de ferro com o incremento do pH, mesmo com a concentração de B nas amostras sendo mantida constante. Aproximadamente 15% do B na solução foi adsorvido pelos óxidos de ferro, em pH 5,5; a adsorção foi aumentada até um pico quando o pH atingiu em torno de 8,2; nesse pH a percentagem de adsorção foi de, aproximadamente, 38%.

A diminuição da temperatura de 40°C para 10°C aumentou a adsorção de B, o efeito foi mais pronunciado à medida que se elevava o pH do solo, atingindo o máximo de adsorção em pH próximo a 9. O incremento do pH também elevou a adsorção de boro por óxidos de alumínio, ocorrendo maior adsorção nas concentrações de B mais elevadas. O fato marcante é que a adsorção de B, sempre se eleva de pH 5,5 até próximo a 9,0, com queda a partir deste valor. A partir de 9,25 (pKa do ácido bórico), ocorre predomínio de borato ( $\text{H}_4\text{BO}_4^-$ ), porém a concentração de hidroxilas ( $\text{OH}^-$ ) se eleva muito, e essa pode competir com o borato pelos sítios de adsorção (Goldberg et al., 1993).

A adsorção de B por óxidos de alumínio é muito maior quando comparada com a adsorção por óxidos de ferro. Na concentração de B de  $5 \text{ mg kg}^{-1}$  e em pH 6,0 a adsorção de B nos óxidos de ferro foi, aproximadamente,  $0,75 \text{ mmol kg}^{-1}$ , entretanto, a adsorção pelos óxidos de alumínio foi de, aproximadamente,  $15 \text{ mmol kg}^{-1}$  (Goldberg e Glaubig, 1985 e 1988). É provável que a maior adsorção de boro em óxidos de alumínio seja devida a sua maior área superficial, quando comparada com a do óxido de ferro (Goldberg, 1997).

As argilas silicatadas caulinita, illita e montmorilonita diferem na capacidade de adsorção de B. A illita apresentou maior capacidade de adsorção de B, sendo maior que caulinita e montmorilonita em todos os valores de pH estudados. Todas, no entanto, apresentam incremento de adsorção com a elevação do pH (Keren e Mezuman, 1981).

Soares e Alleoni (2005) estudaram o comportamento do B na fase sólida em dois solos intensamente intemperizados, sendo estes Latossolo Vermelho (LV) e Latossolo Amarelo (LA) e em um com balanço negativo de carga ao longo do perfil Nitossolo Vermelho (NV), em duas profundidades. Nestes solos ocorreu adsorção de B na superfície e na subsuperfície, mesmo no valor de pH ácido original. A adsorção elevou-se com o incremento do pH. Em pH 6,5 apenas 0,4%

do boro está na forma dissociada, o pH original dos solos era abaixo 6,5; e mesmo na prevalência de ácido bórico (carga zero) ocorreu elevada adsorção. A adsorção em condições ácidas reforça a suspeita da adsorção molecular de ácido bórico; a variação negativa da energia livre ( $\Delta G$ ) indica que a reação é exergônica, o que ocorreu também no pH natural, mostrando que a reação se processa no sentido da formação do produto, ou seja, B adsorvido.

Quaggio et al. (2003) obtiveram incrementos no teor foliar em laranja e elevaram a produtividade quando se aplicou boro no solo. O aumento no teor de B foi 5,5 vezes aplicando-se a dose de 34,3 kg de ácido bórico por hectare (6 kg de B), aproximadamente 84 g de  $H_3BO_3$  planta<sup>-1</sup>, em comparação com o tratamento testemunha. O solo utilizado no experimento é um Latossolo Vermelho de textura média, ácido e de baixa fertilidade natural. Latossolos são extremamente intemperizados, possuindo teores altos de óxidos, que são comumente citados como adsorventes de B.

Segundo Caetano e Carvalho (2006), a aplicação de ácido bórico em Latossolo Amarelo, proveniente dos sedimentos do Terciário, em Campos dos Goytacazes, elevou o teor de B no solo extraído em água quente. As doses utilizadas foram 0, 20, 40, 60, 80 e 100 g por planta. A elevação da dose de ácido bórico não aumentou a produtividade, e não exerceu efeito tóxico às plantas de figueira. No tratamento testemunha o teor médio de boro no solo foi 0,30 mg dm<sup>-3</sup>, classificado por Ribeiro et al. (1999), como baixo.

As pesquisas com isotermas de adsorção têm demonstrado que a adsorção de boro aumenta com as quantidades adicionadas ao solo, ao passo que a percentagem adsorvida em relação à quantidade adicionada diminui com o aumento da concentração de B na solução de equilíbrio (Azevedo et al., 2001; Alleoni e Camargo, 2000). As plantas respondem diretamente à atividade de boro na solução do solo e indiretamente ao boro adsorvido aos constituintes do solo (Goldberg, 1997). Em áreas com deficiência de boro no solo, possivelmente, pode-se manejar as adubações com boro de forma a permitir disponibilidade do elemento às plantas, como realizado por Quaggio et al. (2003). O que se faz necessário é quantificar, além dos intervalos de aplicação, quais as doses ideais para os diferentes tipos de solos e as exigências das culturas pelo boro.

A adsorção de B por ácidos húmicos aumentou com a elevação do pH, atingindo valor máximo em torno de pH 9,0, e decrescendo a partir de então. O

manejo da matéria orgânica é de fundamental importância para deprimir possíveis deficiências de micronutrientes, inclusive do B. A matéria orgânica, por apresentar cargas positivas, contribui para a adsorção de boro no solo (Valadares, 1999). Como possui boro também na sua constituição a matéria orgânica pode ser manejada de forma a manter e elevar o nível desse elemento no solo. Como o teor de matéria orgânica dos solos sob vegetação de cerrado é baixo, e como a matéria orgânica é principal fonte de boro para as culturas, as sucessivas colheitas podem levar a problemas de deficiência de boro nesses solos (Buzetti et al.,1990). Outro fator importante é a superfície específica do colóide, pois, segundo Azevedo et al. (2001), a maior adsorção de boro pelo solo orgânico foi devido à maior superfície específica dos seus constituintes, quando comparado com os outros solos estudados.

A adição ao solo de composto orgânico oriundo de palha mais esterco bovino, nas doses 0, 2, 4, 6, 8 e 10% combinada com a aplicação de ácido bórico, nas doses 0; 0,1; 0,5 e 1 mmol kg<sup>-1</sup>, promoveu a diminuição no teor de boro na solução do solo nas duas maiores doses de B, à medida que se elevou a dose de composto orgânico. O teor de B foliar também diminuiu nas duas maiores doses de ácido bórico à medida que se aumentou a dose de composto orgânico aplicada (Yermiyahu et al.,2001). Esses autores lavaram o composto orgânico com água desionizada, liberando os nutrientes adsorvidos nas cargas. Como ocorreu menor teor de B na solução do solo e nas folhas com a elevação da percentagem de composto orgânico e de boro, evidencia-se a possibilidade de deficiência de B, em plantas crescidas em solos com alto teor de carbono orgânico.

Em solos autóctones altamente intemperizados, ocorrem intensas remoções de sílica, predominando, no horizonte B, os óxidos de ferro, alumínio e manganês e a argila 1:1 caulinita. Como foi discutido até então, grande possibilidade de adsorção ocorre em solos com predomínio desses constituintes.

Ribeiro et al. (1999) sugeriram distintos valores de B disponível às plantas, sendo: muito baixa,  $\leq 0,15$  mg dm<sup>-3</sup>; baixa, de 0,16 a 0,35; médio, de 0,36 a 0,60; boa, de 0,61 a 0,90 e alta,  $> 0,90$  mg dm<sup>-3</sup>. Possivelmente uma melhor aproximação destes dados seria obtida com a adição na tabela dos teor de argila silicatada, óxidos, principalmente os de Al, carbono orgânico, coordenados com a profundidade específica do sistema radicular de várias culturas.

Nable et al. (1988) encontraram diferenças marcantes entre a absorção de boro por variedades de cevada, onde as variedades Sahara “3763” e “Schooner” acumularam 112 e 710 mg B kg<sup>-1</sup> na matéria seca da folha mais jovem completamente expandida, respectivamente.

Segundo Blevins e Lukaszewsk (1998), a recomendação de certa dosagem de boro pode ser ótima para uma espécie, mas para outra a quantidade pode ser tóxica ou insuficiente. Com isso, as plantas podem ser subdivididas em grupos com base na demanda de boro, sendo estes: as gramíneas, com baixa exigência de boro; as monocotiledôneas restantes e a maioria das dicotiledôneas, com intermediária necessidade de boro; e por fim as plantas que produzem látex, que são altamente exigentes em boro (Mengel e Kirkby, 1987, citados por Blevins e Lukaszewsk, 1998).

Segundo Yamada (2000), dois consagrados dogmas impedem a aplicação de maiores doses de boro que as atualmente praticadas: A estreita faixa entre a deficiência e a toxicidade de boro na planta e a facilidade de lixiviação do boro. Na literatura científica existem trabalhos que colocam em dúvida estes dogmas, mostrando que não há evidência que suporte a idéia da faixa estreita entre deficiência e toxidez de boro (Chapman et al., 1997, citado por Yamada, 2000). Possivelmente, a forma de perda mais expressiva em solos argilosos seja a adsorção e em solos arenosos a lixiviação.

### **3. TRABALHOS**

#### **DEFICIÊNCIA DE BORO EM COQUEIRO ANÃO VERDE: I. CARACTERIZAÇÃO DOS SINTOMAS VISUAIS E TEORES DE BORO NA PARTE AÉREA**

##### **RESUMO**

Conduziu-se um experimento em casa de vegetação no período de 05/01/2006 a 14/06/2007, objetivando caracterizar os sintomas visuais de deficiência de boro nas folhas e no palmito de plantas de coqueiro anão verde, bem como as alterações na distribuição do boro em folhas. O experimento constou de dois tratamentos em solução nutritiva: completo (+B) e sem boro (-B), distribuídos em delineamento inteiramente casualizado, com seis repetições. A unidade experimental constou de uma planta em um vaso plástico contendo 90 litros de areia de praia purificada. Todas as plantas receberam solução nutritiva completa durante os 60 primeiros dias. Os tratamentos começaram no 61º dia após o transplante. Os sintomas de deficiência de boro em coqueiro foram: folíolos com pontuações brancas a translúcidas que coalescem formando linhas paralelas à nervura central; enrugamento com formato similar ao das pontuações e das linhas brancas; fendilhamento em forma de V nos folíolos da base da ráquis atrofiamiento das folhas novas; abertura prematura dos folíolos da folha nova;

ausência da folha flecha; necrose no ápice dos folíolos; disposição dos folíolos mais afetados em “forma de sanfona”. O palmito ficou escurecido com manchas castanhas, possuindo necroses profundas nos dois lados da ráquis. O coleto tornou-se mais espesso. A deficiência paralisou a emissão de novos primórdios foliares. Os teores de B variaram de 13,7-34,5 mg kg<sup>-1</sup> nas folhas não deficientes e de 6,9-8,7 mg kg<sup>-1</sup> nas folhas deficientes de boro.

**Termos para indexação:** diagnose foliar, deficiência nutricional, solução nutritiva.

**DEFICIENCY OF BORON IN GREEN DWARF COCONUT TREE: I.  
CHARACTERIZATION OF THE VISUAL SYMPTOMS AND CONCENTRATION  
OF BORON IN THE PLANT TOP**

**ABSTRACT**

Abstract - An experiment was undertaken in greenhouse from 05/01/2006 to 14/06/2007, aiming to characterize the visual symptoms of boron deficiency in the leaves and in the palm heart of plants of green dwarf coconut tree, as well as the alterations in the distribution of boron in leaves. The experiment consisted of two treatments in nutrient solution: complete (+B) and without boron (-B), distributed in a completely randomized design, with six replicates. The experimental unit consisted of a plant in a plastic pot containing 90 liters of purified beach sand. All the plants received complete nutrient solution during the first 60 days. The treatments began in the 61st day after the transplant. The symptoms of boron deficiency in coconut tree were: leaflets with white to translucent punctuations which coalesce forming parallel lines to the central rib; corrugation similar to the punctuations and to the white lines; cracks with a V form at the base of the leaflets; atrophy of the new leaves; the leaflets of the new leaf open up prematurely; absence of the arrow leaf; necrosis in the apex of the leaflets; the most affected leaflets have an "accordion" form. The palm heart was darkened with brown stains, possessing deep necroses at the two sides of the rachis. The trunk was thicker. The deficiency paralyzed the emission of new leaves. The

concentrations of B varied from 13.7 to 34.5 mg kg<sup>-1</sup> in no deficient leaves and from 6.9 to 8.7 mg kg<sup>-1</sup> in boron deficient leaves.

**Key words:** foliar diagnosis, nutritional deficiency, nutrient solution.

## 1. INTRODUÇÃO

Das fruteiras produzidas no Brasil, o coqueiro (*Cocos nucifera* L.), com seus 285.243 hectares, representa a quarta maior área colhida, sendo menor que a da laranjeira (*Citrus sinensis* L.), cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) e bananeira (*Musa* spp.) (FAO, 2007). Seu fruto pode ser utilizado para o consumo *in natura* e também como matéria prima para processamento agroindustrial. Sua importância mundial é grande, o que o faz ser conhecido mundialmente como “árvore da vida”. Alguns órgãos de pesquisa dedicam a totalidade ou parte de suas atividades ao coqueiro, como é o caso da Embrapa Tabuleiros Costeiros, do Brasil; *The Coconut Research Institute, do Sri Lanka*; *Institut de Recherches des Huiles et Oleagineux, da França* e, mais recentemente, no Brasil, o Instituto Agrônomo de Campinas e a Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, dentre outros.

No Brasil, o coqueiro se destaca por gerar muitos empregos e por ser também cultivado por pequenos produtores, contribuindo para a fixação do homem no campo (Hoffmann et al., 1996; Mariano et al., 1997). Nas regiões Norte e Nordeste do Brasil, essa cultura tem contribuído para aumentar o valor bruto da produção agrícola (Mariano et al., 1998).

Os sintomas até então descritos como deficiência de boro (B) em coqueiro são folíolos com as extremidades unidas e, quando a deficiência se torna mais grave, os folíolos da base da ráquis das folhas novas diminuem de tamanho e começam a apresentar deformações e/ou enrugamentos. Nos casos mais extremos, o ponto de crescimento deforma-se completamente, paralisando o desenvolvimento da planta (Sobral, 1998).

Em termos mundiais, a deficiência de B é a mais comum entre os micronutrientes. A deficiência ocorre mais freqüentemente em solos arenosos, devido à sua lixiviação para as camadas mais profundas não atingidas pelo

sistema radicular das plantas. O baixo fornecimento provoca diminuição na produtividade, e diminui a qualidade do produto colhido (Blevins e Lukaszewski, 1998).

Shorrocks (1997) apresentou um mapa mundial identificando as principais áreas de ocorrência de deficiência de B, onde nota-se que no Brasil há uma grande área com solos propícios a essa carência. Segundo esse mesmo autor, em mais de 80 países, em 132 culturas, dentre as quais a do coqueiro, a deficiência de B pode ser representada pela resposta positiva à aplicação desse micronutriente.

Os sintomas de deficiência de boro anteriormente descritos se assemelham muito com os sintomas apresentados por folhas de coqueiro atacadas pelo ácaro *Aceria (Eriophyes) querreronis* Keifer (Ferreira et al., 1998). Fato que além de gerar dúvidas sobre qual o agente causal, leva a dificuldade na identificação dos sintomas visuais de deficiência de boro. Em várias ocasiões, produtores de coqueiro do Estado do Rio de Janeiro, orientados pelo Prof. P. H. Monnerat, aplicaram B nas axilas de plantas apresentando o sintoma de deficiência de B, e em todos os casos relataram a correção do sintoma nas folhas emitidas posteriormente.

A dificuldade em se induzir deficiências nutricionais em árvores de grande porte gera sérias dúvidas na diagnose do sintoma exato da deficiência, principalmente em frutos. Mesmo em culturas anuais, os sintomas apresentam-se, de maneira geral, em folhas produzidas em absoluta exclusão do nutriente.

Em face do exposto, neste trabalho objetivou-se caracterizar os sintomas de deficiência de boro em folhas e no palmito de plantas de coqueiro anão verde.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Conduziu-se um experimento com plantas de coqueiro anão verde, entre 05/01/2006 e 29/05/2007, em casa de vegetação localizada no *campus* da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, em Campos dos Goytacazes, Estado do Rio de Janeiro. As coordenadas geográficas da casa de vegetação são: 21°45'39.99" S; 41°17'20.93" W; altitude aproximada de 7 metros.

Os tratamentos consistiram de solução nutritiva completa (+B) e solução nutritiva sem adição de boro (-B), em delineamento experimental inteiramente casualizado, com seis repetições. A unidade experimental constou de uma planta em um vaso plástico contendo 90 litros de areia de praia purificada. O vaso consistiu de um tambor cortado ao meio e cuja drenagem foi promovida por 57 perfurações de 5 mm de diâmetro. A purificação da areia consistiu de sua embebição em ácido clorídrico diluído em água na proporção de 1:4 durante cerca de quatro horas e posterior lavagem com água comum até que o pH se aproximasse de cinco, quando, então, fez-se a última lavagem com água desionizada.

Em 05/01/2006 selecionaram-se as mudas com 11 meses de idade em um viveiro situado na Fazenda Taí Agropecuária, em Campos dos Goytacazes, retirando-se, por meio de uma cavadeira, plantas com sete folhas e sem sintomas de doenças. O sistema radicular das plantas foi umedecido e protegido com sacolas plásticas para evitar ressecamento. As plantas foram imediatamente transportadas para a casa de vegetação onde se efetuou uma toailete, eliminando-se a amêndoa e podando-se as raízes a 25 cm da base, sendo cada planta transplantada para o vaso com areia. Após o transplante, as mudas foram irrigadas com água desionizada até a saturação da areia. As irrigações passaram, então, a serem feitas automaticamente, por meio de uma bomba controlada por um temporizador, oito vezes ao dia, aplicando-se três litros de água desionizada por irrigação. O turno de rega foi de duas horas, iniciando-se diariamente às seis horas e finalizando às 20 horas, aplicando-se água durante 15 minutos, através de dois gotejadores com capacidade máxima de oito litros por hora.

Em dois vasos de cada tratamento, dois tensiômetros foram instalados, um de 10-15 cm de profundidade e outro de 20-25 cm, permitindo acompanhar a tensão de água na areia (Figura 1). As leituras da altura da coluna de mercúrio foram realizadas diariamente por meio de régua graduada, com precisão de um milímetro. Calculou-se o potencial mátrico através da fórmula:  $\Psi_M = -12,6H + Z + h_c$ , onde  $\Psi_M$  representa o potencial mátrico; H a leitura da altura da coluna de mercúrio no tensiômetro;  $h_c$  a distância do nível de mercúrio na cuba à superfície da areia no momento da leitura; e Z a profundidade de instalação da cápsula (Libardi, 1995). Procurou-se manter a areia constantemente úmida, não permitindo grandes oscilações na tensão entre duas irrigações subseqüentes.

Das tensões calculadas, os valores da tensão máxima, mínima, média, tensão mais repetida, e desvio padrão encontram-se no Quadro 1.

Quadro 1. Valores de tensão máxima, mínima, média, tensão mais repetida e desvio padrão, observados durante a condução do experimento, em duas profundidades, nos tratamentos +B e -B. Campos dos Goytacazes, 2007.

Tratamento	Prof. -cm-	TM	TMIM	Média	TR	DP
		-----m.c.a.-----				
-B	10-15	-0,54	-0,30	-0,39	-0,41	0,033
	20-25	-0,49	-0,21	-0,36	-0,34	0,043
+B	10-15	-0,57	-0,28	-0,41	-0,38	0,048
	20-25	-0,55	-0,21	-0,39	-0,39	0,042

Prof. = profundidade; TM = tensão máxima; TMIM = tensão mínima; TR = tensão mais repetida; DP = desvio padrão; m.c.a= metros de coluna de água.



Figura 1. Tensiômetros instalados em um dos vasos, em duas profundidades. Campos dos Goytacazes, 2007.

Durante a condução do experimento, registram-se diariamente as temperaturas máximas e mínimas, através de termômetro digital, com sensor de temperatura colocado junto à folha de uma das plantas (Figura 2). Durante todo o período experimental pulverizaram-se todas as plantas, a cada 20 dias, com inseticidas-acaricidas, sempre alternando o princípio ativo.

Durante os primeiros 10 dias, as plantas de ambos os tratamentos receberam, uma vez ao dia, 2,5 litros de solução nutritiva completa a  $\frac{1}{4}$  de força iônica; do décimo primeiro ao décimo quinto dia, a solução foi de  $\frac{1}{2}$  força e do 16º ao 60º aplicou-se solução nutritiva a uma força iônica. O pH das soluções foi ajustado a  $5,5 \pm 0,2$  (Quadro 2). No 61º dia após o transplante procedeu-se a lavagem de todos os vasos com água corrente e, posteriormente, com água desionizada, para remoção do boro existente nos vasos e, logo em seguida, aplicaram-se as soluções completa (+B) e sem boro (-B) nos vasos dos respectivos tratamentos.

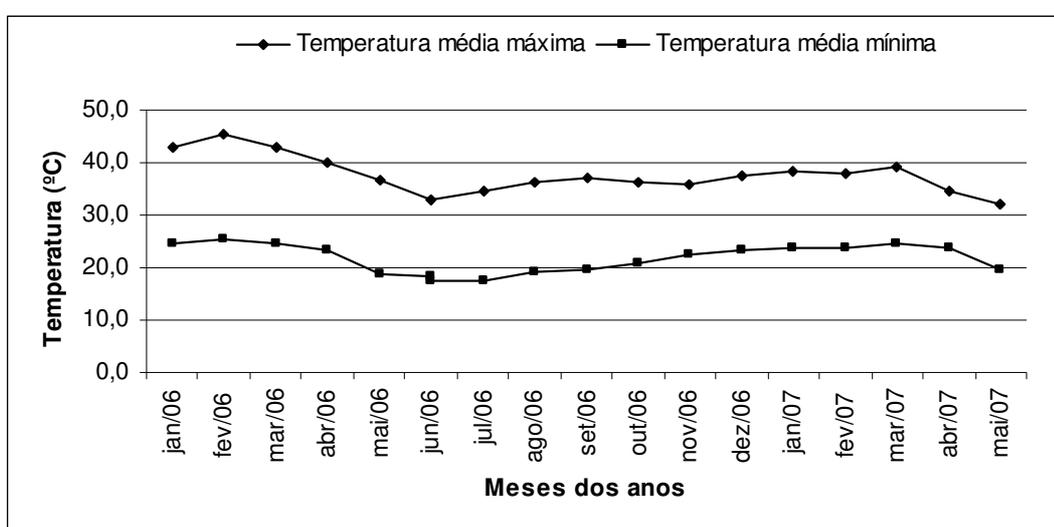


Figura 2. Temperaturas máximas e mínimas (média mensal) obtidas no interior da casa de vegetação. Campos dos Goytacazes, 2007.

Para verificar a pureza dos sais utilizados em termos de contaminação com boro, semearam-se, em épocas diferentes, girassol, rabanete, milho e tomate. Todas as plantas cultivadas no tratamento -B apresentaram sintomas de deficiência de boro descritos na literatura enquanto que no tratamento +B elas cresceram normalmente. Para ilustrar foram inseridas as figuras referentes ao girassol. Aproximadamente, uma semana após a germinação observaram-se nas plantas de girassol submetidas às condições do tratamento -B os sintomas típicos de deficiência de boro: diminuição do tamanho do ponto de crescimento com posterior necrose e morte da gema apical (Figura 3).

Quadro 2. Composição da solução nutritiva completa utilizada no experimento. Campos dos Goytacazes, 2007.

<b>Macronutrientes</b>	mmol L <sup>-1</sup>
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> . 2H <sub>2</sub> O	3
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	1
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	0,25
KNO <sub>3</sub>	4
MgSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	1
<b>Micronutrientes</b>	μmol L <sup>-1</sup>
Fe-EDTA	40 até 23/08/06 e 80 após.
MnSO <sub>4</sub>	5
ZnSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	2
CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O	0,5
(NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> MoO <sub>7</sub> O <sub>24</sub>	0,086
KCl	50
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	25 até 29/06/06 e 50 após.



Figura 3. Plantas de girassol produzidas na solução +B (A e B) e na solução -B (C e D). Campos dos Goytacazes, 2007.

O aparecimento e a evolução dos sintomas nos coqueiros foram acompanhados diariamente até que o ponto de crescimento das plantas do tratamento -B apresentasse o máximo desenvolvimento sintomatológico. Após o surgimento dos sintomas, retiraram-se amostras para avaliação de patógenos no Laboratório de Entomologia e Fitopatologia-CCTA-UENF.

Os sintomas de deficiência nas folhas, folíolos e na última avaliação, nos palmitos, foram fotografados. Fotografaram-se, também, os mesmos órgãos nas plantas do tratamento +B. Em cada estágio sintomatológico, quatro folíolos com sintoma de deficiência e outros quatro, correspondentes em posição, nas plantas do tratamento +B foram amostrados. A folha amostrada para quantificar o teor de boro correspondente aos sintomas iniciais foi a folha um; no surgimento dos sintomas intermediários amostrou-se a folha três, e quando surgiram os sintomas finais amostrou-se a região central dos folíolos centrais da folha quatro.

Os folíolos foram acondicionados em sacos de papel *Kraft*, no laboratório passou-se algodão previamente embebido em água desionizada, e posteriormente retirou-se a nervura central. O material foi acondicionado em estufa de circulação forçada de ar a 75 °C, durante 48 horas. Após a secagem, moeram-se os materiais vegetais em moinho tipo *Wiley*, com peneira de 30 *mesh*. O material foi acondicionado em tubos hermeticamente vedados. Determinou-se o teor de boro após submeter 250 mg do tecido vegetal à digestão via seca a 550 °C; na cinza adicionou-se ácido nítrico na relação de 1/60. Para dosagem do boro utilizou-se o método da Azometina-H (Jones Jr. et al., 1991; Malavolta et al., 1997, modificado por Monnerat et al.<sup>2</sup>)

Na coleta final do experimento retiraram-se as folhas desenvolvidas das plantas, deixando-se apenas uma folha acompanhando o ponto de crescimento do estipe. Neste ponto, as plantas foram fotografadas. Cortou-se o estipe a 20 centímetros da parte superior da areia no vaso e a parte aérea restante foi levada para o laboratório para caracterização dos sintomas. À medida que se expôs o palmito fotografaram-se os primórdios foliares, quando existentes. O primórdio mais novo, com tamanho que permitisse seção em três partes, foi seccionado em ápice, centro e base. Essas regiões foram postas para secar, assim como descrito anteriormente para os folíolos. Após a secagem, por tempo não inferior a 72 horas, determinou-se a matéria seca de cada seção. Posteriormente, realizou-se a moagem e acondicionamento do material vegetal em tubos herméticos. O método de determinação de boro foi o mesmo referido anteriormente.

Neste experimento optou-se por utilizar análise descritiva dos dados baseando-se, principalmente, em fotografias que ilustrassem melhor os sintomas.

---

<sup>2</sup> Notas das aulas da disciplina: Nutrição Mineral de Plantas-LFIT-CCTA-UENF

Descreveram-se os sintomas de deficiência de boro associando-os com os teores foliares de boro encontrados na época em que cada sintoma tornou-se evidente.

### 3. RESULTADOS

#### Sintomas Iniciais

Em 26/06/2006, aproximadamente três meses após a indução da deficiência, observaram-se os primeiros sintomas de deficiência de boro, em que alguns folíolos de folhas novas apresentaram pontuações translúcidas ou brancas, de tecido aclorofilado; percebia-se, a olho nu, que a epiderme estava intacta<sup>3</sup> (Figura 4A). As plantas do tratamento completo apresentavam o limbo verde, sem nenhuma pontuação clorótica (Figura 4B). Nessa fase, o teor de B nos folíolos da folha um (1) das plantas do tratamento completo era  $13,7 \pm 1,8 \text{ mg kg}^{-1}$  e, nas do tratamento -B,  $8,7 \pm 1,2 \text{ mg kg}^{-1}$ . Nessa época, aumentou-se a concentração de B na solução completa de 25 para  $50 \mu\text{mol L}^{-1}$ .

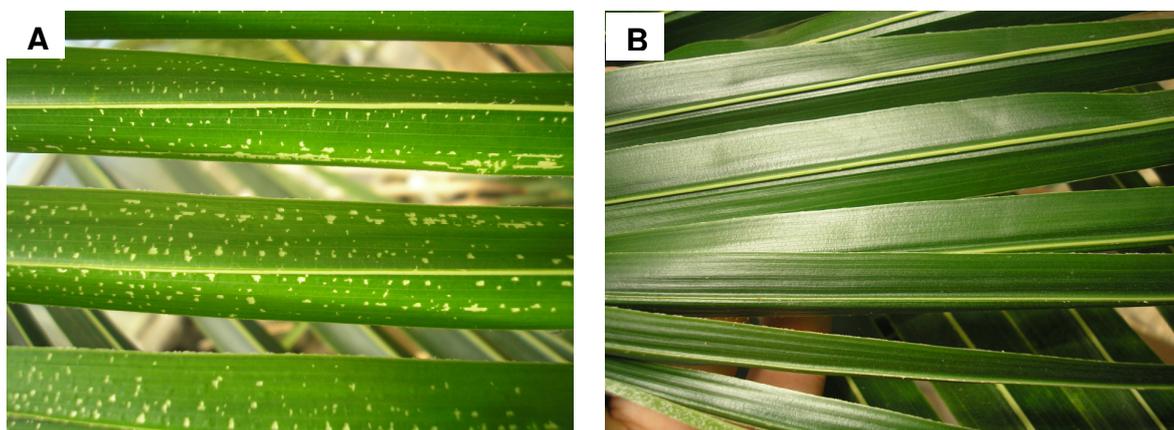


Figura 4. Folíolos de coqueiro anão verde do tratamento -B (A) e do tratamento +B (B). Campos dos Goytacazes, 2007.

Aproximadamente um mês após o surgimento dos sintomas, todas as plantas emitiram novas folhas. Nas plantas do tratamento -B, os folíolos das

<sup>3</sup> Confirmado em lupa de aumento de 40X.

novas folhas apresentaram o sintoma já descrito, porém a despigmentação em alguns folíolos era mais intensa, formando linhas brancas paralelas à nervura central. Algumas pontuações juntaram-se, enquanto que outras permaneceram isoladas (Figura 5 A). Com o desenvolvimento da folha, algumas áreas afetadas pelos sintomas ressecavam-se, rompendo a epiderme e formando fendas no local da lesão (Figura 5 B).

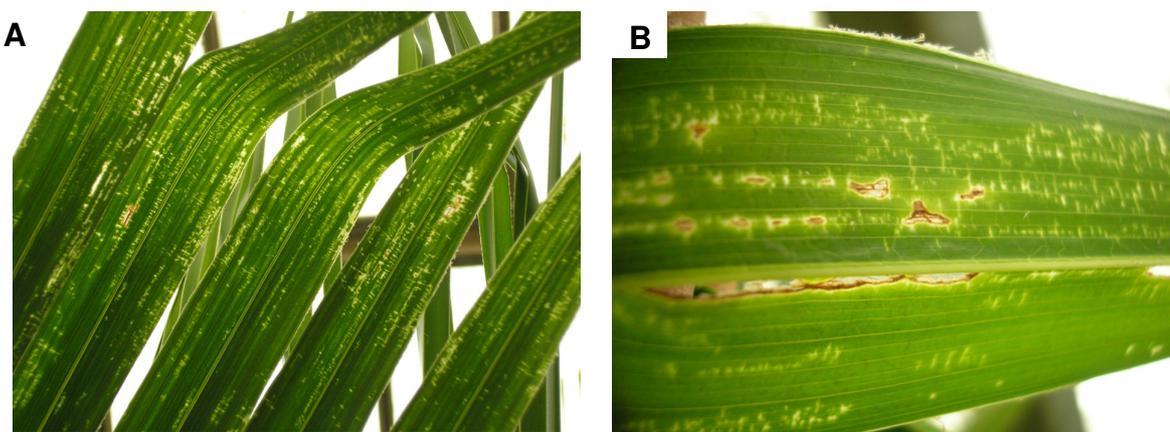
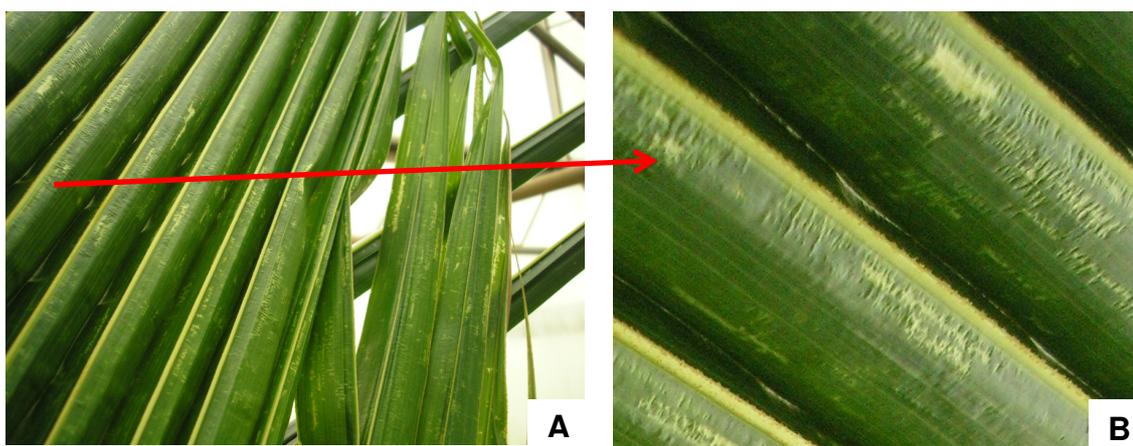


Figura 5. Folíolos de plantas de coqueiro anão verde com sintomas de deficiência de B. União dos pontos brancos em linhas (A) e ressecamento da lesão com rompimento do tecido (B). Campos dos Goytacazes, 2007.

Com a emissão de novas folhas, nas plantas do tratamento -B verificou-se, além das pontuações e linhas paralelas à nervura central, enrugamentos na região dorsal do limbo foliar que possuíam o formato semelhante ao das pontuações e ao das linhas aclorofiladas (Figura 6 A e 6 B). Nas plantas do tratamento controle, o limbo foliar encontrava-se perfeito, sem nenhum sintoma atípico (Figura 7). A análise de tecido dos folíolos da folha um (1) revelou que as plantas submetidas ao tratamento +B apresentaram teores de boro de  $27,0 \pm 15,1$   $\text{mg kg}^{-1}$  e nas plantas submetidas ao tratamento -B os teores foram  $7,2 \pm 1,4$   $\text{mg kg}^{-1}$ . Nas amostras enviadas para análise de patógenos não foram encontrados agentes bióticos; em laudo técnico emitido pelo responsável atribuiu-se os sintomas a causas abióticas.



Figuras 6. Folíolos de plantas de coqueiro anão verde com sintoma de deficiência de B, mostrando branqueamento, necrose e enrugamento no limbo foliar. Campos dos Goytacazes, 2007.



Figura 7. Folíolos de plantas de coqueiro anão verde submetidas ao tratamento +B. Campos dos Goytacazes, 2007.

Em uma mesma folha das plantas do tratamento -B, havia folíolos com os sintomas descritos e folíolos aparentemente sem nenhuma anomalia. Observando a distribuição dos folíolos com e sem sintoma de deficiência em uma mesma folha, excluindo a primeira folha de cada planta do tratamento -B, percebeu-se que a distribuição seguia um padrão triangular. Observou-se que o sintoma já

aparecia nos folíolos da folha flecha, folha não expandida. Nessa fase, as pontuações claras e ondulações ocorriam em uma região abaixo da ponta e acima da base da folha flecha. Os folíolos localizados dentro da faixa com sintoma, mais perto da base apresentavam pontuações e linhas brancas até a sua ponta, ocorria diminuição gradativa da intensidade do sintoma até atingir um mínimo nos folíolos localizados no ápice da faixa com sintoma de deficiência. Nesses folíolos somente a base apresentava as pontuações claras e ondulações. Quando a folha flecha se abria, percebia-se a forma triangular de distribuição das pontuações e linhas brancas, assemelhando-se em muitos casos a um leque. Quando a folha estava totalmente aberta formava-se um triângulo com sua base votada para o coleto da planta. Em geral esses sintomas ocorreram em apenas uma região da folha (no ápice, no meio ou na base), mas algumas vezes observou-se, também, a ocorrência simultânea na base e no ápice de uma mesma folha (Figura 8).



Figura 8. Padrão de distribuição do sintoma de deficiência de B em coqueiro anão verde. Campos dos Goytacazes, 2007.

### Sintomas Intermediários

Em 06/01/07 verificou-se que os folíolos da base de folhas novas estavam necrosados. Os folíolos tinham aspecto cortiçoso, quebradiço e destacavam-se facilmente da folha (Figura 9 A e B). Com a emissão de novas folhas, percebeu-

se o fendilhamento em forma de V na região basal dos folíolos da base da folha (Figura 9 C); em alguns casos, o fendilhamento ocorria no meio ou na ponta dos folíolos da base da folha. A fenda ocorria tanto antes de a folha se abrir, como após sua abertura; suas bordas ficavam bronzeadas e a profundidade do fendilhamento evoluía com o tempo, sendo que em alguns dias a parte do folíolo localizada acima da fenda necrosava e se destacava da planta (Figura 9 D). Nessa fase os teores de boro, nos folíolos da folha três, das plantas normais (+B) foi  $21,1 \pm 7,4 \text{ mg kg}^{-1}$  e nas plantas deficientes de boro (-B) foi  $7,4 \pm 0,77 \text{ mg kg}^{-1}$ .

Em fevereiro de 2007, além dos sintomas já descritos, os folíolos apresentavam regiões com amarelecimento que se distribuía da mesma forma do branqueamento do limbo descrito anteriormente (Figura 10 A e B).

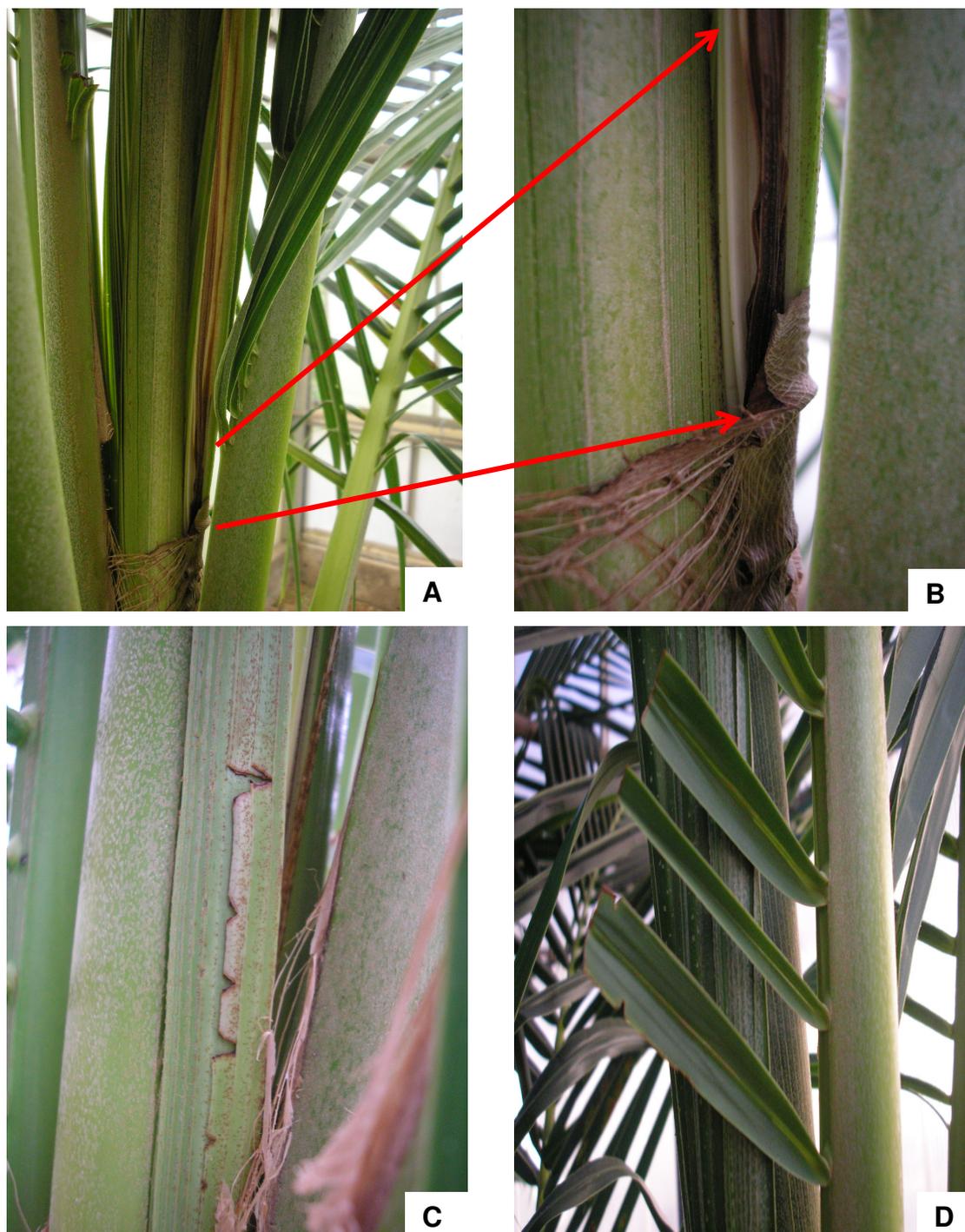


Figura 9. Necrose (A e B), fendas em forma de V (C) e perda de folíolos da base da folha (D) de plantas de coqueiro anão verde deficientes em B. Campos dos Goytacazes, 2007.

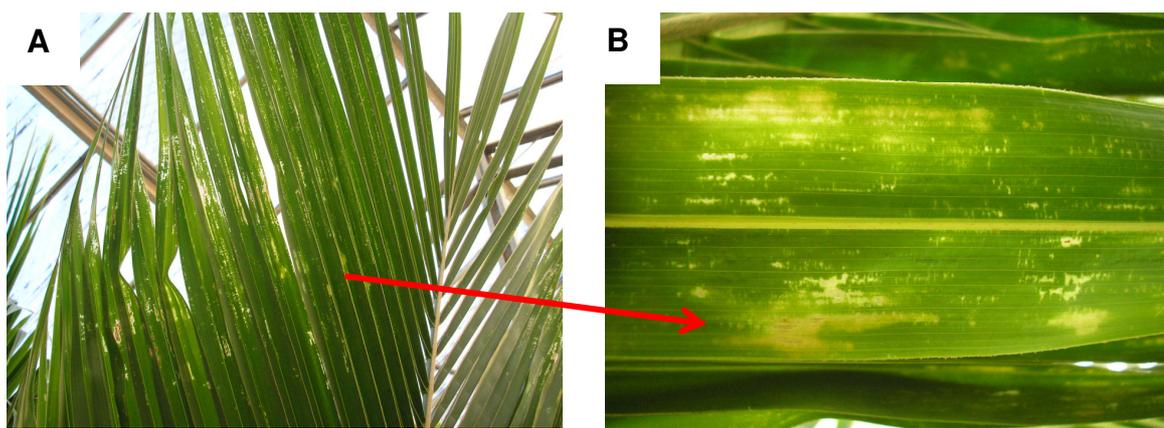


Figura 10. Pontos de amarelecimento nos folíolos de plantas de coqueiro anão verde deficientes em boro (-B). Campos dos Goytacazes, 2007.

### Sintomas Finais

Em abril de 2007, as plantas deficientes (-B) apresentavam atrofia do ponto de crescimento, além de todos os sintomas já descritos. A folha flecha nessas plantas já não estava visível. A folha mais nova estava atrofiada, com os folíolos superiores abertos e expostos e os da base estavam ocultos no centro da copa (Figura 11 A, B e C). Nesse estágio, o teor de boro encontrado nos folíolos da folha quatro, nas plantas deficientes de B foi  $6,9 \pm 2,9 \text{ mg kg}^{-1}$ . As plantas normais (+B) emitiram novas folhas e a folha flecha encontrava-se visível e bem desenvolvida (Figura 11 D); o teor de boro nos folíolos da folha quatro, nessas plantas, era  $34,5 \pm 18,3 \text{ mg kg}^{-1}$ . As plantas deficientes de B eram muito menores que as plantas não deficientes em virtude da paralisação do crescimento das folhas mais novas.

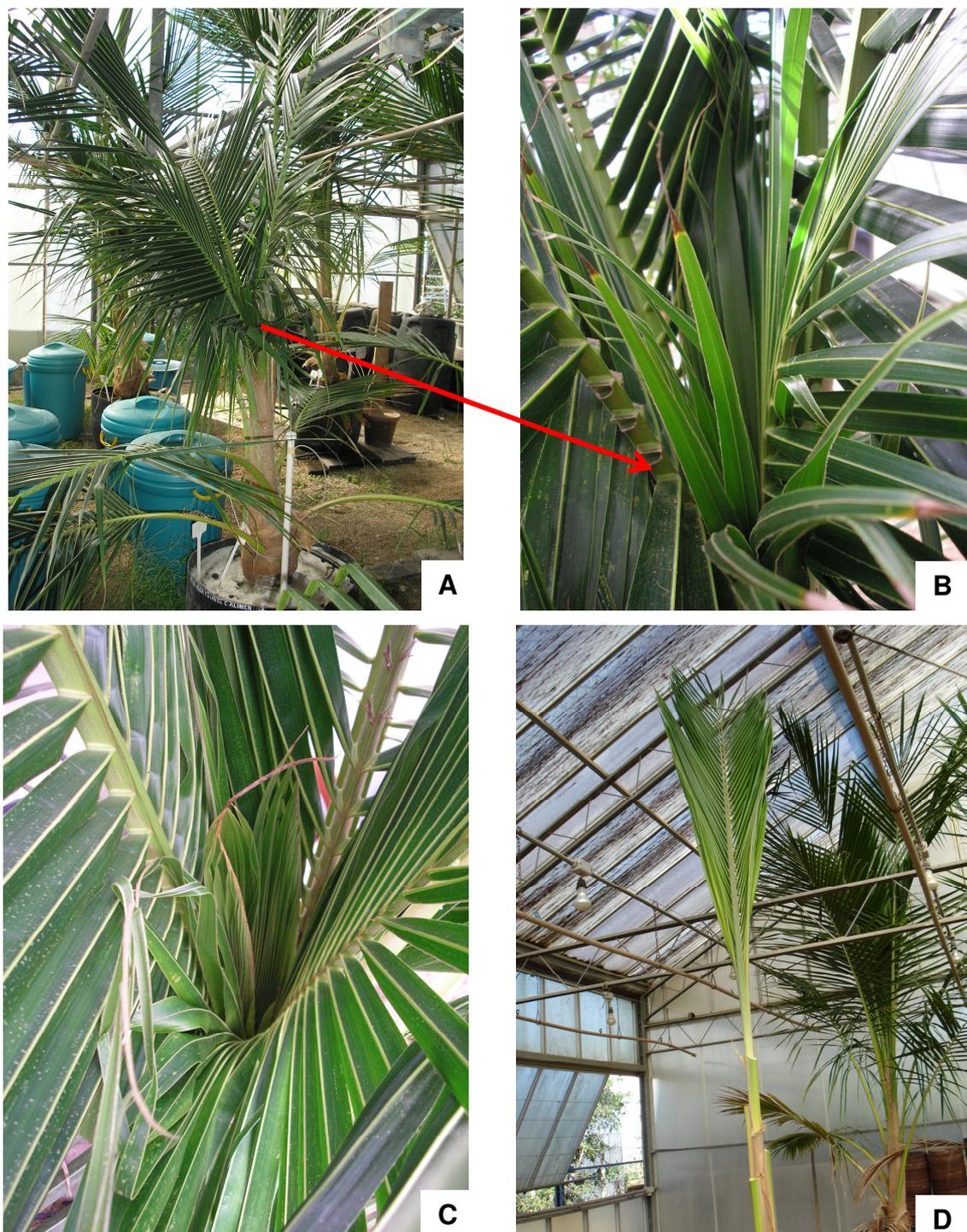


Figura 11. Ponto crescimento (A) e detalhe do ponto de crescimento (B e C) representando as plantas de coqueiro anão verde deficientes em boro; imagem da folha mais nova de uma das plantas normais (D). Campos dos Goytacazes, 2007.

Na coleta final do experimento, em 14/06/07, verificou-se que as folhas novas, que estavam ocultas entre as folhas anteriormente emitidas, apresentaram deformações no limbo e as pontas dos folíolos estavam necrosadas (Figura 12 A

e B); observou-se, também, enrugamento nos folíolos da base da folha e a nervura principal acompanhava estas ondulações (folha em formato de acordeom) (Figura 12 C). As folhas mais novas da planta apresentavam-se semi-abertas, seus folíolos eram curtos, possuíam manchas com aspecto amarronzado ao longo da ráquis; nos folíolos, nas regiões sem manchas, o tecido era levemente amarelado (Figura 12 D). A base do coleto encontrava-se deformada com aumento de seu diâmetro; a superfície possuía depressões necróticas pretas, as lesões eram duras e sem a presença de mucilagens (Figura 12 E e F).

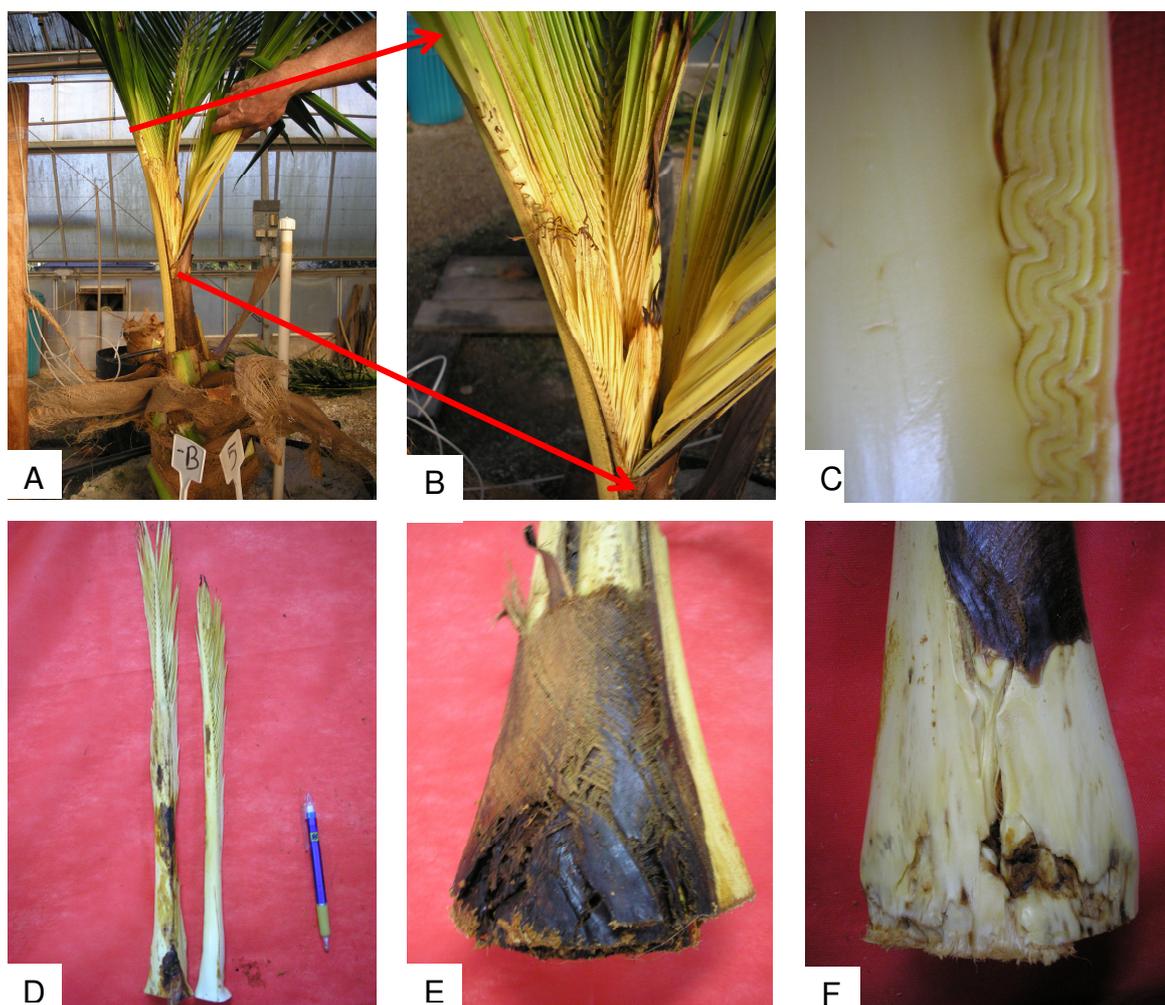


Figura 12. Visão geral de uma das plantas com sintoma de deficiência de boro (A), detalhe das folhas novas da planta (B), enrugações nos folíolos da base da folha (C), primórdios foliares (D) e lesões no coleto da planta (E e F). Campos dos Goytacazes, 2007.

O palmito apresentava fendilhamento transversal (Figura 13 A). A região basal do palmito encontrava-se necrosada, a necrose se localizava na região

exterior e no interior da ráquis (Figura 13 B). Sempre que se retirava um primórdio foliar, o próximo que se localizava no interior do retirado apresentava o mesmo aspecto necrosado.

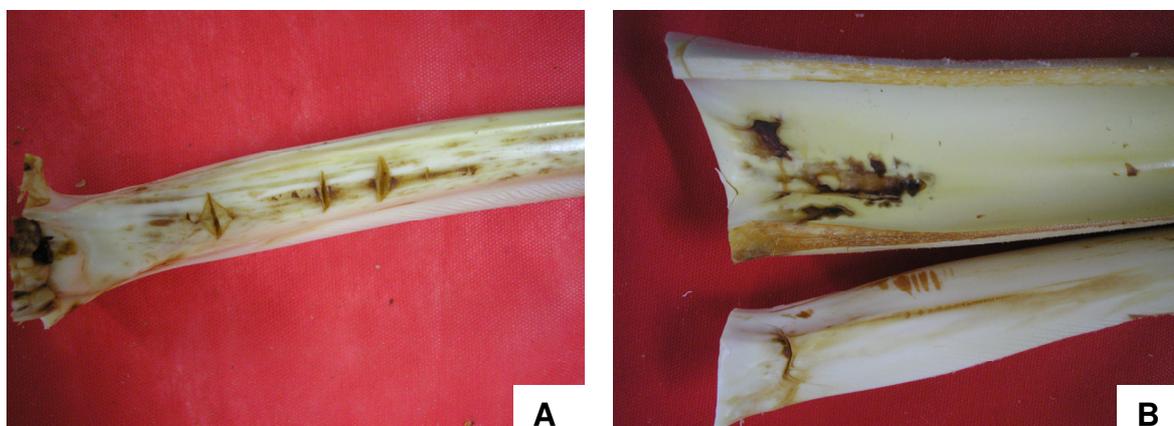


Figura 13. Fendas (A) e necrose externa e interna (B), observadas no palmito de plantas de coqueiro deficientes em B. Campos dos Goytacazes, 2007.

O palmito das plantas normais (+B) apresentava-se cilíndrico, de coloração branca, sem nenhuma pontuação com necrose (Figura 14 A). As plantas possuíam os primórdios foliares bem formados, totalmente fechados e facilmente identificáveis (Figura 14 B). Nas plantas deficientes (-B), os primórdios foliares retirados eram grandes, poucos e deformados, em comparação ao encontrado nas plantas normais (+B).

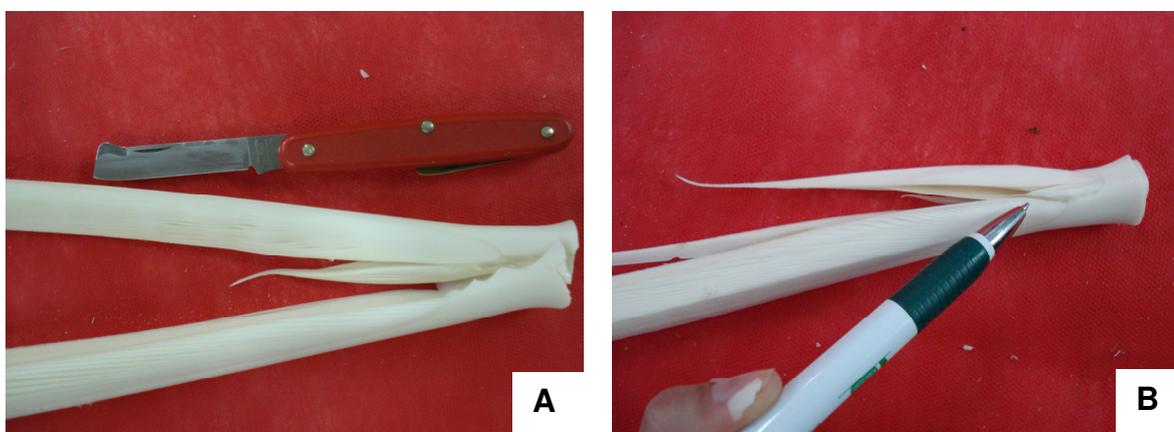


Figura 14. Formato cilíndrico do palmito (A e B), primórdio foliar (B), das plantas normais (+B). Campos dos Goytacazes, 2007.

Quadro 3. Teor médio de B, mg kg<sup>-1</sup>, em três regiões do primórdio foliar de plantas de coqueiro anão verde. Campos dos Goytacazes, 2007

Tratamento	Ápice	Centro	Base
+B	17,2 ± 4,7	19,8 ± 5,3	22,9 ± 1,5
-B	11,5 ± 1,9	11,9 ± 5,0	9,0 ± 2,0

No estágio mais drástico da deficiência, os teores de B no ápice, no centro e na base do primórdio foliar eram, respectivamente, 67, 60 e 39% do teor de B encontrado nas mesmas regiões nas plantas normais (+B). A diferença marcante encontra-se no teor de boro da região basal, na qual se observaram os sintomas mais drásticos da deficiência.

Durante toda a condução do experimento observou-se que tanto as plantas deficientes de boro (-B) como as normais (+B) apresentavam folhas com os folíolos da região apical unidos.

#### 4. DISCUSSÃO

O sintoma de deficiência de B em coqueiro no seu estágio inicial se assemelhou aos sintomas descritos para sorgo, milho, pupunha e açaí. Em sorgo (Alves et al., 2003) e milho (Coelho et al., 2002), nas folhas novas ocorrem faixas alongadas e transparentes que depois ficam brancas e secas e com o agravamento da deficiência, o ponto de crescimento necrosa e morre.

Em pupunha (*Bactris gasipaes* Kunth, Palmae), a lâmina foliar das folhas novas de plantas deficientes de boro apresentava-se ondulada (Silva e Falcão, 2002). Também em pupunha, La Torraca et al. (1984) observaram falhas no limbo de folhas novas nas plantas deficientes de B.

Em açaí (*Euterpe oleracea* Mart.), a deficiência de boro manifestou-se por pequenos riscos brancos nas folhas mais novas, sendo que, com a intensificação da deficiência, esses riscos tornaram-se maiores; as plantas deficientes ficaram menores que a do tratamento completo (Naiff et al., 2003).

O boro tem papel importante na formação e estruturação da parede celular e membrana plasmática e na divisão celular. Sua deficiência leva à má formação celular e, conseqüentemente, ao extravasamento de conteúdo celular para o apoplasto do tecido (Marschner, 1995).

Kobayashi et al. (1996) e Ishii e Matsunaga (1996) mostraram que em plantas ocorre a formação de ésteres de borato em ligações em cruz com a pectina. Segundo esses autores, o B se liga a duas unidades denominadas *Rhamnogalacturonan II*. Esta molécula é uma estrutura polissacarídica complexa da pectina, presente na parede celular primária das plantas (Ishii e Matsunaga, 1996). Segundo Hu e Brown (1994), como conseqüência da deficiência de B, há produção de uma parede celular dura, não elástica, que impede o crescimento celular normal, como resultado, há rápida inibição do crescimento meristemático. Esses autores mostraram que em plantas de tabaco (*Nicotiana tabacum*) deficientes de boro, 96 a 97% do boro estava localizado na parede celular, enquanto nas plantas normais 64% localizava-se na parede celular.

Como o B participa da constituição da parede celular, são esperadas desordens na estrutura da parede em células formadas em condições de ausência ou baixa disponibilidade de boro. A parede celular mal formada pode então refletir em desordens anatômicas e levar ao surgimento de sintomas como o descrito anteriormente para várias culturas.

O estágio intermediário da deficiência de B, onde se verificou a perda de folíolos da base da folha devido à formação de fendas em V, pode ser explicado pela má formação e divisão celulares. Em abacaxi deficiente de boro também foi observado o fendilhamento da base das folhas de mudas, porém a região superior da folha não chegava a se separar da base (Ramos, 2006). Possivelmente, o fendilhamento ocorre devido ao limbo cessar seu crescimento e a nervura central continuar crescendo, provocando o rompimento das células do limbo. A parte superior do folíolo unida apenas pela nervura central, perde a capacidade transpiratória ressecando-se e posteriormente se separando da folha.

No estágio final da deficiência, a planta de coqueiro cessou o crescimento do meristema apical, sintoma típico de deficiência de boro. Em várias culturas o ponto de crescimento morre, como é o caso do milho (Coelho et al., 2002), sorgo (Alves et al., 2003), camucazeiro (Viégas et al., 2004), umbuzeiro (Neves et al., 2004), dentre outras culturas. A morte do meristema apical é devida

fundamentalmente às funções exercidas pelo nutriente na divisão e alongamento celulares, essenciais para manter a integridade da membrana plasmática e da parede celular. As necroses apresentadas no palmito são causadas pela má formação do tecido e, possivelmente pela oxidação causada por fenóis. O boro é um dos nutrientes que tem participação na alteração do metabolismo e no conteúdo fenólico (Ruiz et al., 1998). Segundo esses autores, o acúmulo de fenóis ocorre em tecidos deficientes em boro devido ao aumento da síntese e inibição da utilização destes na formação da parede celular. Os fenóis interagem com compostos que regulam o crescimento, como também com peroxidases e com AIA-oxidase (Erdey et al., 1994).

Cakmak et al. (1995) mostraram que folhas de plantas submetidas à deficiência de boro apresentavam, além de menor atividade das  $H^+$  ATPase, maior extravasamento de potássio, fenóis, açúcares e aminoácidos do citoplasma para o apoplasto, principalmente em condições de alta intensidade luminosa. Esses autores explicaram que, em situação de deficiência de boro, o acúmulo de fenóis e dos produtos de sua oxidação, como quinonas e radicais livres, promove aumento da permeabilidade da membrana plasmática a vários produtos citossólicos.

A formação de linhas brancas ou translúcidas, ainda não foi relatada em situações de campo. Uma dificuldade é que estes sintomas surgem em folhas novas, o que torna difícil o diagnóstico em coqueiro adulto. Em situações de campo, possivelmente estes tecidos sejam afetados por pragas e doenças, dissimulando o sintoma.

Os sintomas mais severos da deficiência verificados neste trabalho (sintomas finais nas folhas) já foram apresentados por Sobral (1998), Santos et al. (2003) e Macêdo et al. (1999). Porém, possivelmente, ainda não se tinham retirado amostras do palmito em plantas com sintoma severo de deficiência nas folhas, de modo que não foram encontrados na literatura relatos do efeito da deficiência de B no palmito.

O teor de boro encontrado no folíolo inteiro nas plantas do tratamento -B foi, no máximo  $9,95 \text{ mg kg}^{-1}$  e enquanto no tratamento completo foi, no mínimo,  $11,9 \text{ mg kg}^{-1}$ . Os valores mostram que a faixa entre a deficiência e o nível adequado é muito estreita, podendo ser facilmente corrigida com a aplicação de boro suplementar. A correção da deficiência pode ser realizada através da

aplicação de boro na axila da planta, como foi constatado por Santos et al. (2003). A aplicação de 80 g de ácido bórico por planta no solo e 40 g na axila não promoveu efeito tóxico e, além disso, elevou a produção de frutos em plantas de coqueiro anão verde (Pinho, 2004).

O nível de deficiência atingiu o ponto máximo nas plantas submetidas ao tratamento –B, uma vez que, o ponto de crescimento foi totalmente prejudicado, necrosando-se e inviabilizando a emissão de novas folhas pelo coqueiro.

## 5. CONCLUSÕES

Os estádios do desenvolvimento de sintomas de deficiência de boro em coqueiro são:

- a. Estádio inicial: folíolos com pontuações brancas a translúcidas que coalescem formando linhas paralelas à nervura central; na folha estes pontos se distribuem de forma triangular; necrose do tecido na região das pontuações e linhas com posterior fendilhamento; enrugamento com formato similar ao das pontuações e linhas brancas.
- b. Estádio intermediário: fendilhamento em forma de V nos folíolos da base da ráquis, que desenvolve até que o limbo e a nervura central acima da fenda ressequem e se desprendam da folha; amarelecimento de regiões dos folíolos que se distribui da mesma forma triangular que as pontuações e linhas brancas.
- c. Estádio final: as folhas novas ficam ocultas entre as já emitidas; os folíolos da região superior da folha mais jovem aparecem entre as demais e se abrem; ausência da folha flecha; necrose no ápice dos folíolos, enrugamento no limbo acompanhado pela nervura central; encurtamento dos folíolos, a nervura deforma-se em forma de sanfona. O palmito fica escurecido com manchas amarronzadas, possuindo necroses profundas nos dois lados de cada ráquis retirada; as folhas novas, que tipicamente apresentam-se como palmitos fechados, ficam com os folíolos da ponta abertos; ocorrem fendas no palmito, a necrose fica mais intensa, assemelhando-se a carvão; o coleto fica mais espesso; não são encontrados primórdios foliares pequenos e distinguíveis.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alves, V. M. C.; Pitta, G. V. E.; Coelho, A. M.; França, G. E. de; Oliveira, C. A. de (2003) Diagnose Foliar. Comunicado Técnico N°90. Embrapa Milho e Sorgo.
- Blevins, D. G., Lukaszewski, K. M. (1998) Boron in plant structure and function. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 49:481–500.
- Cakmak, I., Kurz, H., Marschner, H. (1995) Short-term effects of boron, germanium and high light intensity on membrane permeability in boron deficient leaves of sunflower. *Physiol. Plantarum*, v.95, p.11-18.
- Coelho, A. M.; França, G. E. de; Pitta G. V. E.; Alves, V. M. C. (2002) CULTIVO DO MILHO: Diagnose Foliar do Estado Nutricional da Planta. Comunicado Técnico N°45. Embrapa Milho e Sorgo.
- Erdei, L., Szabó-Nagy, A., Laszlavik, M. (1994) Effect of tannin and phenolics on the H<sup>+</sup>-ATPase activity in plant plasma membrane. *J Plant Physiol.*, 144:49-52.
- Fao Faostat. Data 2007. Disponível em: (<http://faostat.fao.org/site/408/DesktopDefault.aspx?PageID=408> 18:04 3/10/2007).
- Ferreira, J. M. S. (1998) Pragas do coqueiro. In: Ferreira, J. M. S.; Warwick, D. R. N.; Siqueira, L. A., (Eds.) *A cultura do coqueiro no Brasil*. Aracaju: EMBRAPA-SPI, p. 189-267.
- Hoffmann, A., Nachtigal, J. C., Kluge, R. A., Fachinello, J. C. Adubação em pomares: Métodos de quantificação das doses de fertilizantes. *Revista Brasileira de Fruticultura*. Cruz das Almas. v. 18, n. 2, p. 161-169, 1996.
- Hu, H., Brown, P. H. (1994) Localization of boron in the cell walls of squash and tobacco and its association with pectin. *Plant Physiol.* 105: 681–689.
- Ishii, T. Matsunaga, T. (1996) Isolation and characterization of a boron rhamnogalacturonan II complex from cell walls of sugar beet pulp. *Carbohydr Res.*, 284: 1–9
- Jones Jr., J.B., Wolf, B., Mills, H.A. (1991) *Plant Analysis Handbook: a practical sampling, preparation, analysis, and interpretation guide*. Athens (USA): Micro-Macro Publishing, 213p.
- Kobayashi, M., Match, T., Azuma, J. (1996) Two chains of rhamnogalacturonan II are cross-linked by borate e-diol ester bonds in higher plant cell walls. *Plant Physiol.* 110: 1017–1020.

- La Torraca, S.M.; Haag, H.P.; Dechen, A.R. (1984) Nutrição mineral de frutíferas tropicais I. Sintomas de carências nutricionais em pupunha. *O Solo*, 76(1): 53-56.
- Libardi, P.L. (1995) *Dinâmica da água no solo*. Piracicaba : Libardi,. 497p.
- Malavolta, E.; Vitti, G. C.; Oliveira, S. A. (1997) *Avaliação do estado nutricional das plantas*. 2. ed. rev. atual. Piracicaba: POTAFOS. 319p.
- Mariano, R. L. R., Lira., R. V. F. Silveira, E. B., Menezes, M. (1998) Levantamento de fungos endofíticos e epifíticos em folhas de coqueiro no Nordeste do Brasil. II. Efeito da localidade sobre a população fúngica. *Agrotrópica*, Ilhéus. v. 10, n. 1, p. 1-8.
- Mariano, R. L. R., Lira., R. V. F. Silveira, E. B., Menezes, M. (1998) Levantamento de fungos endofíticos e epifíticos em folhas de coqueiro no Nordeste do Brasil. II. Efeito da localidade sobre a população fúngica. *Agrotrópica*, Ilhéus. v. 10, n. 1, p. 1-8.
- Marschner, H. (1995) *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Second ed. Academic Press, London, p. 379–396.
- Naiff, A. P. M. ; VIÉGAS, Ismael de Jesus Matos ; LIMA, Sabrina Santos de (2003). Caracterização de sintomas de deficiências de micronutrientes em plantas de açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.). In: I seminário de iniciação científica da UFRA e VII seminário de iniciação científica da embrapa amazônia oriental.
- Neves, O. S. C.; Sá, J. R. de, Carvalho, J. G. de. (2004) Crescimento e sintomas visuais de deficiências de micronutrientes em umbuzeiros. *Rev. Bras. Frutic.*, Jaboticabal - SP, v. 26, n. 2, p. 306-309.
- Pinho, L. G. da R. (2004) *Controle da mancha anelar dos frutos de coqueiro anão verde no noroeste do Estado do Rio de Janeiro: Efeitos da aplicação de ácido bórico*. (Tese de Mestrado) - Campos dos Goytacazes - RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF. 44f.
- Ramos, M. J. M. (2006) *Caracterização de sintomas de deficiência de macronutrientes e de boro em abacaxizeiro cultivar imperial*. (Doutorado em Produção Vegetal) - UENF - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. 95 p.
- Ruiz, J. M., Bretones, G., Baghour, M., Ragala, L., Belakbir, A., Romero, L. (1998) Relationship between boron and phenolic metabolism in tobacco leaves. *Phytochemistry*, Vol. 48, N<sup>o</sup>. 2, p. 269-272.
- Santos, A. L. (2002) *Estabelecimento de normas de amostragem foliar para avaliação do estado nutricional e adubação mineral do coqueiro anão verde na Região Norte Fluminense*. (Tese de Doutorado) - Campos dos Goytacazes - RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF. 82p.

- Santos, A. L. dos, Monnerat, P. H., Alves, E. A. B. (2003) Teor foliar de boro em função da aplicação de bórax na axila foliar de coqueiro anão verde no Norte Fluminense. *Pesquisa Agropecuária e Desenvolvimento Sustentável*. Niterói, v.1, n. 2, p. 165-171.
- Silva, J. R. A. da, Falcão, N. P. de S. (2002) Caracterização de sintomas de carências nutricionais em mudas de pupunheira cultivadas em solução nutritiva. *Acta Amazônica* 32(4):529-539
- Sobral, F. L. (1998) Nutrição e adubação do coqueiro. In: Ferreira, J. M. S.; Warwick, D. R. N.; Siqueira, L. A., (Eds.) *A cultura do coqueiro no Brasil*. Aracaju: EMBRAPA-SPI, p. 129-157.
- Viégas, I. de J. M.; Thomaz, M. A. A., Silva; J. F. da, Conceição, H. E. O. da; Naiff, A. P. M. (2004) Efeito da omissão de macronutrientes e boro no crescimento, nos sintomas de deficiências nutricionais e na composição mineral de plantas de camucamuzeiro. *Rev. Bras. Frutic.*, Jaboticabal - SP, v. 26, n. 2, p. 315-319.

## **DEFICIÊNCIA DE BORO EM COQUEIRO ANÃO VERDE: II. DISTRIBUIÇÃO DE NUTRIENTES NAS FOLHAS**

### **RESUMO**

Em coqueiro deficiente de boro a análise química da folha indicadora não tem revelado teores baixos de boro, indicando que tal folha não se presta para indicar o 'status' de boro na planta. Neste experimento objetivou-se verificar a distribuição de nutrientes nas folhas, em regiões da folha e em seções dos folíolos de plantas de coqueiro anão verde submetido à deficiência de boro, para estabelecer normas para identificação de deficiência de boro em coqueiro anão verde. O experimento constou de dois tratamentos em solução nutritiva: completo (+B) e sem boro (-B), distribuídos em delineamento inteiramente casualizado, com seis repetições. A unidade experimental constou de uma planta em um vaso plástico contendo 90 litros de areia de praia purificada. Todas as plantas receberam solução nutritiva completa durante os 60 primeiros dias. Os tratamentos começaram no 61º dia após o transplante. Após 406 dias da imposição dos tratamentos, iniciaram-se as amostragens foliares, coletando-se: A) folíolos da região central de todas as folhas; B) folíolos das regiões apical, central e basal da folha quatro e C) folíolos centrais da folha quatro foram seccionados em sete regiões. Os maiores teores de boro ocorreram no ápice dos folíolos e os menores, na base, tanto em plantas bem supridas como nas deficientes de boro. Entretanto, a relação entre o teor de boro do ápice do folíolo de uma folha nova expandida e o da porção basal deste mesmo folíolo foi muito maior na planta bem suprida de boro, atingindo o valor de

34,9, ao passo que foi de apenas 2,7 nas plantas deficientes, indicando que essa técnica poderá ser empregada na diagnose da deficiência de boro em coqueiro. Os nutrientes Ca, Mg, S, B, Zn e Fe acumularam-se no ápice dos folíolos.

Termos de indexação: micronutrientes, diagnóstico nutricional, *Cocos nucifera* L., nutrição de fruteiras.

## **DEFICIENCY OF BORON IN GREEN DWARF COCONUT TREE: II. DISTRIBUTION OF NUTRIENTS IN THE LEAVES**

### **ABSTRACT**

In boron deficient coconut tree the chemical analysis of the pattern leaf has not shown low boron concentrations, indicating that such leaf is not adequate to indicate the 'status' of boron in the plant. The objective of this experiment was to evaluate the distribution of nutrients in all the leaves, in portions of the leaf and in sections of the leaflets of dwarf green coconut tree plants submitted to boron deficiency, and to establish norms for identification of boron deficiency. The experiment consisted of two treatments in nutrient solution: complete (+B) and without boron (-B), distributed in a completely randomized design, with six replicates. The experimental unit consisted of a plant in a plastic pot containing 90 liters of purified beach sand. All the plants received complete nutrient solution during the first 60 days. The treatments began in the 61st day after the transplant. After 406 days of the imposition of the treatments, leaf samplings began, being collected: A) leaflets of the central portion of all the leaves; B) leaflets of the apical, central and basal portions of leaf number four and C) central leaflets of the leaf number four were split up in seven parts. The largest boron concentrations was in the apex of the leaflets and the smallest, in the base, so much in plants well supplied as in the deficient of boron. However, the relationship between the concentration of boron in the apex of the leaflet of an expanded new leaf and that of the basal portion of the same leaflet was very larger in plants well supplied of boron, reaching the value of 34.9, while it was of only 2,7 in the deficient plants,

indicating that the technique can be used in the diagnosis of the boron deficiency in coconut tree. The nutrients Ca, Mg, S, B, Zn and Fe accumulated in the apex of the leaflets.

**Key words:** micronutrient, nutritional diagnosis, *Cocos nucifera* L., mineral nutrition.

## 1. INTRODUÇÃO

Entre os micronutrientes, as deficiências de boro e zinco são as mais comuns no Brasil e já foram observadas em uma série de culturas anuais e perenes (Malavolta, 2006).

No Estado do Rio de Janeiro, mais precisamente no Norte Fluminense, a deficiência de boro foi observada em coqueirais jovens (Mirisola Filho, 1997). Naquela época, a folha indicadora (4 ou 9) foi amostrada a cada 6 meses, durante 18 meses, porém sempre apresentavam teores de boro em torno de  $17,5 \text{ mg kg}^{-1}$  (Mirisola Filho, 1997), valor esse que não caracteriza a deficiência por diagnose nutricional. Posteriormente, corrigiu-se a deficiência de boro em coqueiro com epinastia, no qual as folhas novas estavam deformadas e necrosadas, aplicando-se 15 g de bórax por planta na axila foliar das folhas novas. Após alguns meses as folhas foram emitidas normalmente (Santos et al., 2003). Assim como Mirisola Filho (1997), Santos et al. (2003) encontraram na folha indicadora (folha 9 ou 14), teores acima do nível crítico ( $8 \text{ mg kg}^{-1}$ , na folha 14), segundo Chew, (1978). Desta forma, o diagnóstico nutricional por análise química do tecido ainda é um problema.

Os sintomas de deficiência de boro aparecem nas folhas novas (Manciot et al, 1980; Corrado et al., 1992; Sobral et al., 1998; Santos et al., 2003), dificultando a identificação por diagnose foliar onde se utiliza folhas mais desenvolvidas (folhas 4, 9 ou 14) (Santos et al., 2003). Segundo Santos et al. (2003), as folhas mais novas e passíveis de amostragem podem ser melhores para indicar a disponibilidade do boro ao coqueiro. Entretanto, não existem padrões de comparação para folhas novas, o que, de certa forma, desestimula tal prática. De forma geral, os profissionais especializados são acionados após

algumas folhas já estarem apresentando os sintomas visuais de deficiência. Tendo em vista a baixa mobilidade do boro na planta, os sintomas de deficiência iniciam-se nas partes meristemáticas (Marschner, 1995), havendo paralisação do crescimento celular em virtude do papel que esse micronutriente tem na estabilidade da parede celular (Marschner, 1995). Como, em condições de campo, não existe falta absoluta de boro, as pequenas e insuficientes quantidades de boro absorvidas são distribuídas para folhas que apresentam maior intensidade transpiratória, promovendo, então, acumulação de boro nessas folhas que poderão ser amostradas para análise. Mesmo as folhas mais novas com sintomas de deficiência passam a acumular boro quando a disponibilidade no solo aumenta, tendo em vista que o dano causado ao tecido é irreversível (Santos et al., 2003).

Pouco se conhece sobre a distribuição de nutrientes minerais em fruteiras tropicais. De maneira geral, a concentração de nutrientes varia em função da idade da folha amostrada, e grandes oscilações ocorrem até mesmo entre regiões de uma mesma folha, por exemplo, em abacaxi (*ananas comosus* L.), há grande diferença na composição mineral entre as folhas e em regiões da folha (Siebeneichler, 2002). Os nutrientes móveis no floema, tais como N, P e K (Marschner, 1995; Malavolta et al., 1997), tendem a diminuir o teor com o aumento na idade da folha (Malavolta et al., 1997), ao passo que nutrientes pouco móveis, como Ca e Mn (Marschner, 1995; Malavolta et al., 1997), tendem a possuir teores mais baixos em folhas novas (Malavolta et al., 1997). Santos (2002) e Sobral (1998) mostraram a tendência de distribuição do teor dos nutrientes entre as folhas de coqueiro anão verde e gigante, respectivamente. As plantas utilizadas por Santos (2002) e Sobral (1998) estavam bem nutridas, assim, pouco ou nada se conhece sobre o efeito de deficiências nutricionais na distribuição de nutrientes em plantas de coqueiro.

Em face do exposto, neste experimento objetivou-se verificar a distribuição de nutrientes nas folhas, em regiões da folha e em seções dos folíolos de plantas de coqueiro anão verde submetido à deficiência de boro, assim como verificar a viabilidade da amostragem em folhas novas de plantas com deficiência de boro.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Conduziu-se um experimento com coqueiro anão verde, entre 05/01/2006 e 29/05/2007, em casa de vegetação localizada no *campus* da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, em Campos dos Goytacazes, Estado do Rio de Janeiro. As coordenadas geográficas da casa de vegetação são: 21°45'39.99" S; 41°17'20.93" W; altitude aproximada de 7 metros.

Os tratamentos consistiram de solução nutritiva completa (+B) e solução nutritiva sem adição de boro (-B), em delineamento experimental inteiramente casualizado, com seis repetições. A unidade experimental constou de uma planta em um vaso plástico contendo 90 litros de areia de praia purificada. O vaso consistiu de um tambor cortado ao meio e cuja drenagem foi promovida por 57 perfurações de 5 mm de diâmetro. A purificação da areia consistiu de sua embebição em ácido clorídrico diluído em água na proporção de 1:4 durante cerca de quatro horas e posterior lavagem com água comum até que o pH se aproximasse de cinco, quando, então, fez-se a última lavagem com água desionizada.

Em 05/01/2006 selecionaram-se as mudas com 11 meses de idade em um viveiro situado na Fazenda Taí Agropecuária, em Campos dos Goytacazes, retirando-se, por meio de uma cavadeira, plantas com sete folhas e sem sintomas de doenças. O sistema radicular das plantas foi umedecido e protegido com sacolas plásticas para evitar ressecamento. As plantas foram imediatamente transportadas para a casa de vegetação onde se efetuou uma toaleta, eliminando-se a amêndoa e podando-se as raízes a 25 cm da base, sendo cada planta transplantada para o vaso com areia. Após o transplante, as mudas foram irrigadas com água desionizada até a saturação da areia. As irrigações passaram, então, a ser feitas automaticamente, por meio de uma bomba controlada por um temporizador, oito vezes ao dia, aplicando-se três litros de água desionizada por irrigação. O turno de rega foi de duas horas, iniciando-se diariamente às seis horas e finalizando às 20 horas, aplicando-se água durante 15 minutos, através de dois gotejadores com capacidade máxima de oito litros por hora.

Em dois vasos de cada tratamento, dois tensiômetros foram instalados, um de 10-15 cm de profundidade e outro de 20-25 cm, permitindo acompanhar a tensão de água na areia. As leituras da altura da coluna de mercúrio foram

realizadas diariamente por meio de régua graduada, com precisão de um milímetro. Calculou-se o potencial mátrico através da fórmula:  $\Psi_M = -12,6H + Z + h_c$ , onde  $\Psi_M$  representa o potencial mátrico; H a leitura da altura da coluna de mercúrio no tensiômetro;  $h_c$  a distância do nível de mercúrio na cuba à superfície da areia no momento da leitura; e Z a profundidade de instalação da cápsula (Libardi, 1995). Procurou-se manter a areia constantemente úmida, não permitindo grandes oscilações na tensão entre duas irrigações subseqüentes. Das tensões calculadas, os valores da tensão máxima, mínima, média, tensão mais repetida, e desvio padrão encontram-se no Quadro 1.

Quadro 1. Valores de tensão máxima, mínima, média, tensão mais repetida e desvio padrão, observados durante a condução do experimento, em duas profundidades, nos tratamentos +B e -B. Campos dos Goytacazes, 2007.

Tratamento	Prof.	TM	TMIM	Média	TR	DP
	-cm-	-----m.c.a.-----				
-B	10-15	-0,54	-0,30	-0,39	-0,41	0,033
	20-25	-0,49	-0,21	-0,36	-0,34	0,043
+B	10-15	-0,57	-0,28	-0,41	-0,38	0,048
	20-25	-0,55	-0,21	-0,39	-0,39	0,042

Prof. = profundidade; TM = tensão máxima; TMIM = tensão mínima; TR = tensão mais repetida; DP = desvio padrão; m.c.a= metros de coluna de água.

Durante a condução do experimento, registram-se diariamente as temperaturas máximas e mínimas, através de termômetro digital, com sensor de temperatura colocado junto à folha de uma das plantas (Figura 1). Durante todo o período experimental pulverizaram-se todas as plantas, a cada 20 dias, com inseticidas-acaricidas, sempre alternando o princípio ativo.

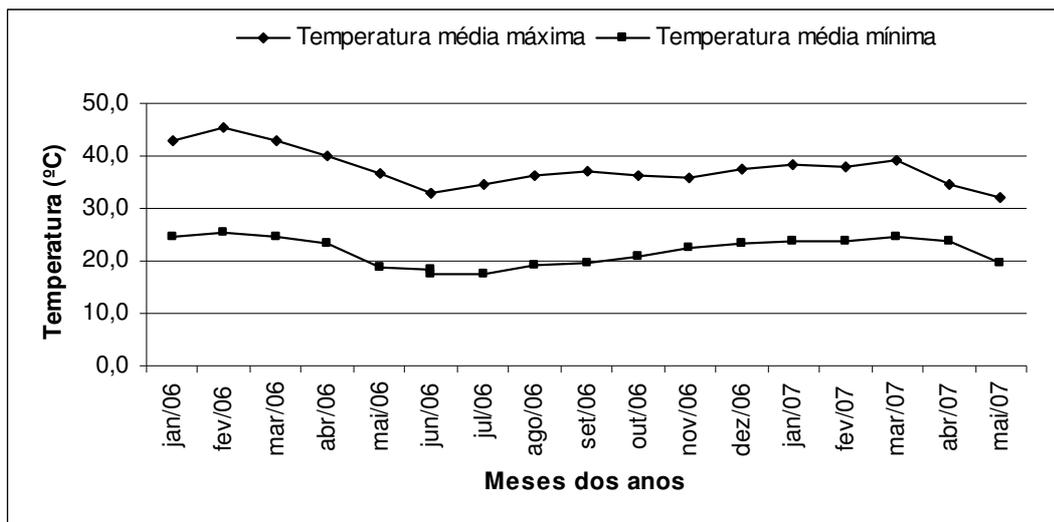


Figura 1. Temperaturas máximas e mínimas (média mensal) obtidas no interior da casa de vegetação. Campos dos Goytacazes, 2007.

Durante os primeiros 10 dias, as plantas de ambos os tratamentos receberam, uma vez ao dia, 2,5 litros de solução nutritiva completa a  $\frac{1}{4}$  de força iônica; do décimo primeiro ao décimo quinto dia, a solução foi de  $\frac{1}{2}$  força e do 16º ao 60º aplicou-se solução nutritiva a uma força iônica. O pH das soluções foi ajustado a  $5,5 \pm 0,2$  (Quadro 2). No 61º dia após o transplante procedeu-se a lavagem de todos os vasos com água corrente e, posteriormente, com água desionizada, para remoção do boro existente nos vasos e, logo em seguida, aplicaram-se as soluções completa (+B) e sem boro (-B) nos vasos dos respectivos tratamentos.

Para verificar a pureza dos sais utilizados em termos de contaminação com boro, semearam-se, em épocas diferentes, girassol, rabanete, milho e tomate. Todas as plantas cultivadas no tratamento -B apresentaram sintomas de deficiência de boro descritos na literatura enquanto que no tratamento +B elas cresceram normalmente. A exemplo das demais, aproximadamente, uma semana após a germinação observaram-se nas plantas de girassol submetidas às condições do tratamento -B os sintomas típicos de deficiência de boro: diminuição do tamanho do ponto de crescimento com posterior necrose e morte da gema apical.

Quadro 2. Composição da solução nutritiva, com uma força iônica, utilizada no experimento. Campos dos Goytacazes, 2007.

<b>Macronutrientes</b>	mmol L <sup>-1</sup>
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> . 2H <sub>2</sub> O	3
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	1
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	0,25
KNO <sub>3</sub>	4
MgSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	1
<b>Micronutrientes</b>	μmol L <sup>-1</sup>
Fe-EDTA	40 até 23/08/06 e 80 após
MnSO <sub>4</sub>	5
ZnSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	2
CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O	0,5
(NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> MoO <sub>7</sub> O <sub>24</sub>	0,086
KCl	50
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	25 até 29/06/06 e 50 após

Durante a condução do experimento várias amostragens foliares foram realizadas, porém, representando a distribuição dos nutrientes avaliados na planta só serão apresentados os dados referentes às três últimas. São elas:

1ª. Em 16/04/2007, 406 dias após a imposição da deficiência de boro, para avaliar o efeito da deficiência de boro na composição mineral das diferentes folhas da planta, coletaram-se seis folíolos, três de cada lado da região central de cada uma das folhas das plantas.

2ª. Em 10/05/2007, 430 dias após a imposição da deficiência de boro, para avaliar o efeito da deficiência de boro na composição mineral das regiões apical, central e basal da folha quatro da planta, coletaram-se seis folíolos de cada região (três de cada lado da folha). Na região apical, a posição da coleta foi abaixo do quinto par de folíolos; na central, no centro da folha, e na basal, acima do terceiro par de folíolos, contado a partir do final da folha. Analisaram-se os 10 cm centrais dos folíolos.

3ª. Em 29/05/2007, 444 dias após a imposição da deficiência de boro, para avaliar o efeito da deficiência de boro na composição mineral de sete porções dos folíolos centrais da folha quatro (equivalente à folha três das coletas anteriormente citadas), retiraram-se dez folíolos, cinco de cada lado da folha. Esses folíolos foram divididos em sete partes, tendo o ápice 14 cm e a parte

restante dos folíolos foi dividida em seis de mesmo tamanho. As regiões foram nomeadas de 1 a 7, sendo a apical a 1 e a basal a 7.

Em todas as amostragens quantificou-se a matéria seca dos folíolos ou de suas partes.

Para comparar os resultados obtidos nos folíolos seccionados em sete partes nas plantas cultivadas em casa de vegetação, amostraram-se, em 18/06/2007, plantas cultivadas em condições de campo e previamente adubadas com ácido bórico, retirando-se 10 folíolos do centro da folha nove, cinco de cada lado. Estes folíolos foram seccionados em sete partes, assim como descrito anteriormente. As plantas vinham recebendo as doses 0, 15, 30 e 45 g de  $H_3BO_3$  a intervalos de cerca de seis meses desde fevereiro de 2003, sendo que última aplicação ocorreu em 04/04/2007.

O solo da área é um Neossolo Quartzarênico (EMBRAPA, 2006) e as plantas constituíam um experimento em delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições e duas plantas por parcela.

Em todas as amostragens, os folíolos foram acondicionados em sacos de papel tipo *Kraft*, sendo levadas ao laboratório onde passaram por limpeza com algodão embebido em água desionizada, e posteriormente retirou-se a nervura central. Recolocados em sacos de papel, os folíolos foram secos em estufa de circulação forçada de ar a 75°, durante 48 horas. Posteriormente foram pesados e moídos em moinho tipo Wiley com peneira de 30 *mesh* e acondicionados em recipientes hermeticamente fechados. Todas as amostras foram submetidas às determinações de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn.

As análises foram realizadas de acordo com metodologias descritas por Malavolta et al. (1997), exceto o N, analisado pelo método de Nessler (Jackson, 1965). Todos os métodos foram adaptados por P. H. Monnerat<sup>4</sup>, e calibrados com os métodos padrões. O N foi determinado após submeter o tecido vegetal à oxidação pela digestão úmida ( $H_2SO_4$  e  $H_2O_2$ ). Os teores de Ca, Mg, Fe, Zn, Cu e Mn foram quantificados, após oxidação do tecido vegetal pela digestão nitro-perclórica ( $HNO_3$  e  $HClO_4$ ), por espectrofotometria de absorção atômica. Determinou-se o P colorimetricamente, pelo método do molibdato, e o K por espectrofotometria de emissão, sendo que, para ambos, utilizaram-se alíquotas do extrato da digestão nitro-perclórica. Determinou-se o S, utilizando-se também o

---

<sup>4</sup> Notas das aulas da disciplina: Nutrição Mineral de Plantas-LFIT-CCTA-UENF

extrato da digestão nitro-perclórica, por turbidimetria do sulfato. Determinou-se o teor de boro após submeter 250 mg do tecido vegetal à digestão via seca; à cinza adicionou-se 10 ml de HNO<sub>3</sub> (1:60) e, após homogeneização e centrifugação, determinou-se o teor de B no sobrenadante, pelo método da Azometina-H.

Para avaliação dos resultados utilizou-se análise da variância, e quando necessário o teste de médias. Utilizou-se o erro padrão da média para representar a homogeneidade dos dados. Os níveis de significância foram representados por \* para  $P < 0,05$  e \*\* para  $P < 0,01$ ,  $P < 0,001$  e não significativo (ns) para  $P > 0,05$ . Analisaram-se os dados em delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial, sendo o esquema dependente do número de folhas amostradas (9 ou 12) ou do número de posições de amostragem na folha (3) e do número de seções do folíolo (7).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### **Distribuição de macronutrientes nos folíolos centrais de diferentes folhas**

A matéria seca dos folíolos amostrados para se estimar a distribuição dos nutrientes nas folhas do coqueiro encontra-se na Figura 2 A. Nota-se, nas plantas deficientes (-B), que a matéria seca produzida pelos folíolos nas folhas de um a quatro, que são as mais novas, foi inferior à da folha 5, enquanto nas plantas normais (+B) os folíolos das folhas mais novas apresentaram matéria seca cerca de 25% maior que a da folha 5 (Figura 2A). A deficiência de boro resulta na inibição do crescimento de tecidos meristemáticos. Este sintoma em tecidos novos indica que o boro não é prontamente retranslocado na planta (Hu et al., 1997).

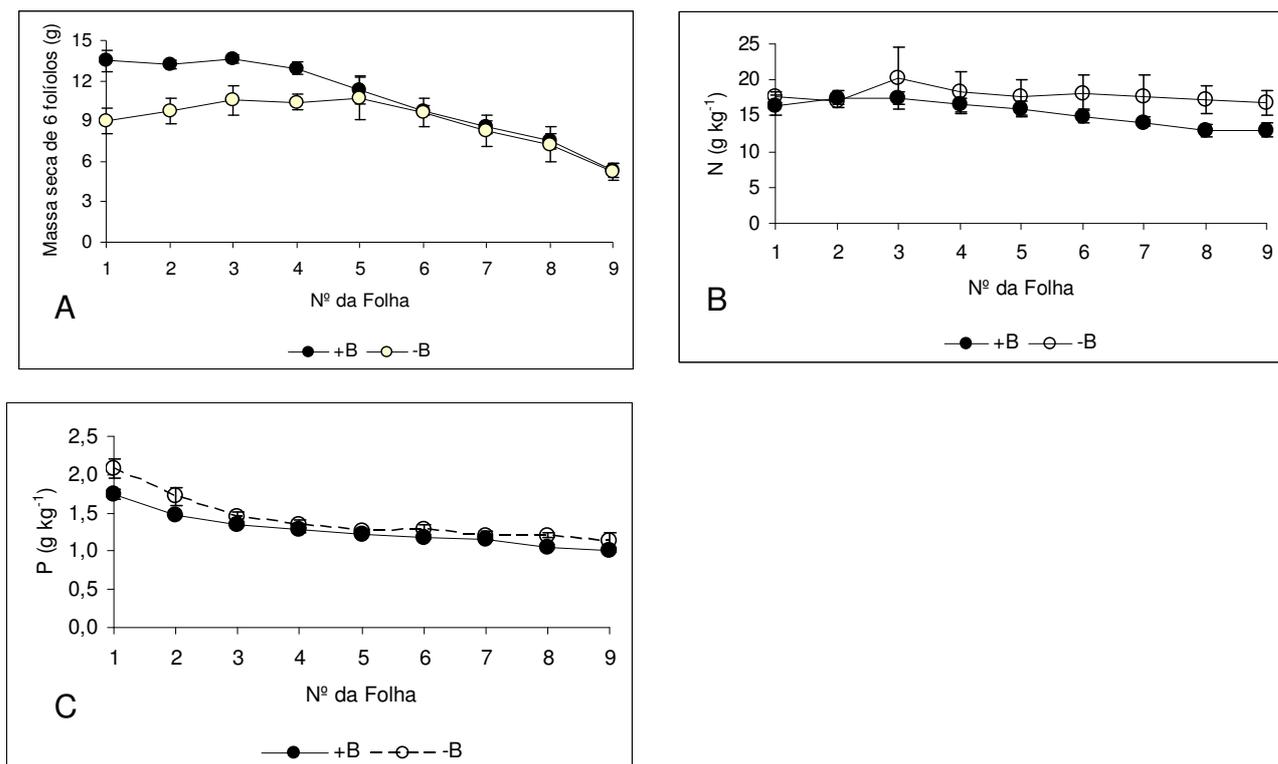


Figura 2. Massa seca dos folíolos e teores de N e P na matéria seca dos folíolos centrais das folhas de plantas de coqueiro anão verde normais (+B) e deficientes de boro (-B). Campos dos Goytacazes, 2007.

Em relação ao N, as plantas deficientes (-B) possuíam teor de N maior ( $P < 0,001$ ) que as plantas normais (+B) (Figura 2B).

Nas folhas mais velhas, da cinco em diante a matéria seca dos folíolos não diferiu significativamente entre tratamentos (Figura 2A), enquanto nas folhas mais novas a matéria seca foi menor nos folíolos amostrados das plantas deficientes. No entanto, em relação ao conteúdo deste nutriente nos folíolos (obtido pelo produto do teor pela massa seca), o tratamento -B é inferior ao +B quando se considera as folhas novas, este efeito é causado pela diminuição da produção de matéria seca dessas folhas promovida pela deficiência de B. As plantas crescidas sob omissão de B apresentavam, na época da amostragem foliar, sintomas visuais de deficiência de boro (branqueamento em linhas, rugas em todas as folhas), e redução da área foliar nas folhas 1, 2 e 3.

O teor de N não variou em função da folha amostrada (Figura 2B). Entretanto, Santos (2002), trabalhado com plantas de coqueiro anão verde, observou acréscimo do teor de N da folha um até a folha seis, com posterior

redução até a última folha avaliada (18). Em coqueiro gigante, o teor de N elevou-se da folha um a 14 e decresceu na folha 19 (Sobral, 1998). Os dois autores trabalharam em situação de campo, com plantas bem nutridas. Neste experimento, as plantas foram crescidas em casa de vegetação, com solução nutritiva, o que possivelmente alterou a distribuição de N entre as folhas.

Em maracujazeiro amarelo (*Passiflora edulis* F. *Flavicarpa*), o teor de N decresceu da primeira folha no ramo até a décima, o teor de N na folha um foi 25% maior que o teor encontrado na folha 10, do mesmo ramo (Freitas, 2006). Em copaíba (*Copaifera langsdorffi*) o teor de N decresceu das folhas mais novas para as mais velhas, sendo 36% maior na folha mais nova, em relação a mais velha (Langenheim et al., 1986).

O teor de P ( $P < 0,001$ ) foi maior nas folhas novas das plantas deficientes (-B) (Figura 2C). No entanto, chama-se a atenção pela proximidade dos teores encontrados nos dois tratamentos, sendo provável que esta diferença não tenha significado metabólico para a planta. O teor de P reduziu da folha um à folha nove ( $P < 0,001$ ), sendo que a diferença percentual do teor de P entre as folhas um e nove foi de 44%, em média dos dois tratamentos (Figura 2C). Segundo Malavolta et al. (1997), pode ocorrer redistribuição de até 60% do teor de P de tecidos senescentes, para tecidos drenos. Santos (2002) observou, em coqueiro anão verde, queda do teor foliar de P, da folha 1 a 18, dados também concordantes com os obtidos por Sobral (1998), em coqueiro gigante, e com os de Freitas (2006), em maracujazeiro amarelo.

Os teores de K e Ca não diferiram entre tratamentos. O teor de K diminuiu da folha mais nova para as mais velhas ( $P < 0,001$ ) (Figura 3). Santos (2002) e Sobral (1998), em coqueiro anão e gigante, respectivamente, também verificaram diminuição do teor de K com o aumento da idade da folha, fato ocorrido também em maracujazeiro amarelo (Freitas, 2006). N, P, e K são nutrientes móveis no floema das plantas (Marschner, 1995; Malavolta et al., 1997), o que justifica os maiores teores destes nutrientes encontrados em órgãos novos. O teor de Ca aumentou da folha um para a folha nove ( $P < 0,001$ ) (Figura 3), o que é justificado pela sua imobilidade no floema (Marschner, 1995; Malavolta et al., 1997). O teor de  $8,59 \text{ g kg}^{-1}$  obtido na folha nove é 47,9% maior que o teor de Ca encontrado na folha um. Outros pesquisadores trabalhando com coqueiro obtiveram resultados

similares (Sobral, 1998; Santos, 2002). Em maracujazeiro amarelo, a décima folha do ramo teve 66% mais Ca que a primeira (Freitas, 2006).

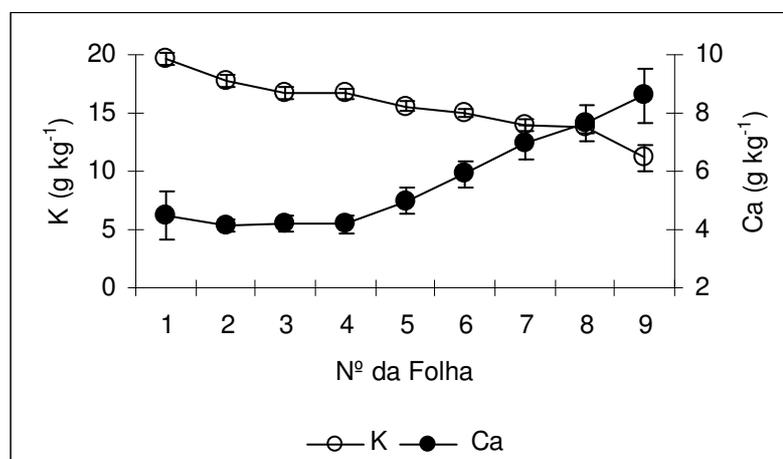


Figura 3. Teores de K e Ca na matéria seca dos folíolos centrais de folhas de coqueiro anão verde. Média entre os tratamentos +B e -B. Campos dos Goytacazes, 2007.

Comparando as plantas normais (+B) com as deficientes (-B), houve tendência de maior teor de Mg nas plantas deficientes. Seu teor não seguiu tendência direcional de distribuição (Figura 4). Santos (2002), e Sobral (1998) encontraram teores maiores de Mg nas folhas mais velhas, fato não observado neste experimento.

O teor de S não diferiu significativamente entre tratamentos. Observou-se incremento do teor de S da folha um para a folha nove ( $P < 0,001$ ) (Figura 5). Santos (2002), e Freitas (2006), em coqueiro anão verde e em maracujazeiro amarelo, respectivamente, não encontraram efeito da idade da folha no teor de S.

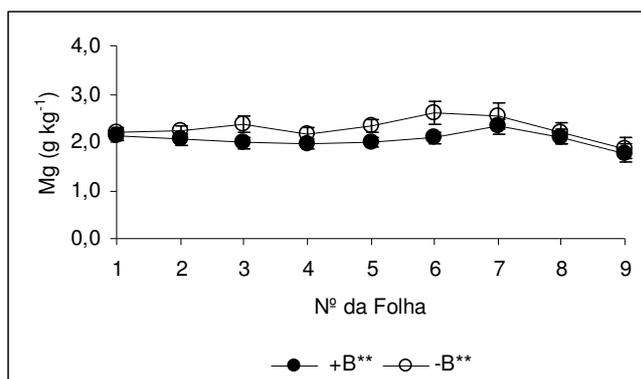


Figura 4. Teores de Mg na matéria seca dos folíolos centrais das folhas de coqueiro anão verde normal (+B) e deficiente de boro (-B). Campos dos Goytacazes, 2007.

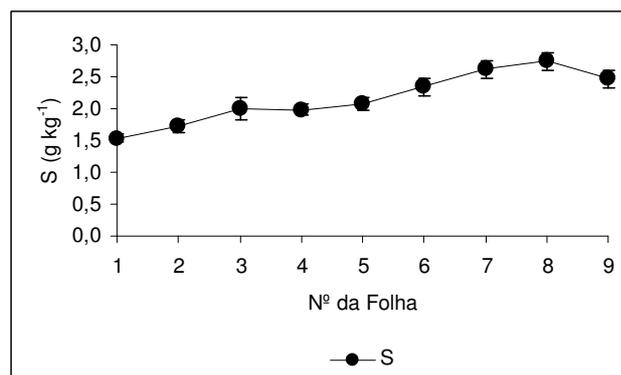


Figura 5. Teores de S na matéria seca dos folíolos centrais das folhas do coqueiro anão verde. Média dos tratamentos +B e -B. Campos dos Goytacazes, 2007.

### Distribuição de macronutrientes nas regiões apical, central e basal da folha quatro

A deficiência de boro não alterou significativamente os teores de N, Ca e S nos folíolos das três regiões da folha quatro (Quadro 3), entretanto, os teores de P, K e Mg ( $P < 0,001$ ) foram aumentados. Na coleta anterior, onde se amostrou a região central de todas as folhas, os teores de todos os nutrientes na folha quatro também não foram alterados pela deficiência de boro (Figuras 2B, 3 e 5).

Os teores de N, K, Ca, e Mg diferiram em relação à região da folha amostrada. O teor de N foi maior nas regiões apical e central, quando comparado com a região basal da folha (Quadro 4). Com relação ao K, seu teor foi menor na região apical da folha ( $P < 0,001$ ). Os teores de Ca e Mg foram maiores na região apical da folha ( $P < 0,001$ ). Já os teores de P e S não diferiram significativamente em relação à posição dos folíolos na folha (Quadro 4).

Quadro 3. Teores N, P, K, Ca, Mg e S em folíolos de plantas de coqueiro normais (+B) e deficientes de boro (-B) (média das regiões apical, central e basal da folha quatro). Campos dos Goytacazes, 2007

Treatamento	N*	P**	K**	Ca	Mg	S
-----g kg <sup>-1</sup> -----						
+B	15,2 A	1,26 B	16,6 B	3,34 A	1,66 B	1,51 A
-B	16,1 A	1,42 A	17,7 A	3,20 A	2,08 A	1,66 A

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente, entre si, pelo teste F a 5% de probabilidade.

Em coqueiro anão verde, Santos (2002) encontrou maior teor de N em folíolos das regiões central e basal da folha 14; o teor de K aumentou do ápice para a base da folha, mas os teores de P, Ca, Mg e S não diferiram em relação à região da folha amostrada.

De maneira geral, os dados aqui apresentados, confirmam a necessidade de se coletar folíolos de coqueiro sempre em uma mesma região da folha. Segundo Sobral (1998), a folha a ser amostrada deve situar-se no meio da copa, podendo ser a 4, 9 ou 14, dependendo do estágio de desenvolvimento da planta. A amostra consistirá dos 10 cm centrais de seis folíolos retirados da região central da folha, sendo três de cada lado.

Quadro 4. Teores de N, P, K, Ca, Mg e S na matéria seca de folíolos das regiões apical, central e basal da folha quatro (média dos tratamentos +B e - B). Campos dos Goytacazes, 2007

Região	N*	P	K	Ca	Mg	S
-----g kg <sup>-1</sup> -----						
Apical	16,4 A	1,36 A	14,5 B	3,89 A	2,32 A	1,72 A
Central	16,4 A	1,39 A	18,4 A	3,14 B	1,75 B	1,60 A
Basal	14,6 B	1,28 A	18,9 A	2,78 B	1,54 B	1,44 A
CV%	9,3	11,4	5,4	17,4	14,5	20,8

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente, entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

### Distribuição de macronutrientes nas regiões do folíolo

A deficiência de boro promoveu maiores teores de P e K nas sete regiões dos folíolos (Figuras 6 A e B), mas os teores dos demais macronutrientes não foram alterados significativamente. No experimento de campo, as doses de ácido bórico não afetaram significativamente os teores de nenhum dos macronutrientes. No experimento de indução de deficiência (casa de vegetação) e no experimento de campo os teores de P, Ca e Mg decresceram a partir do ápice para a base do folíolo (todos com  $P < 0,001$ ) (Figuras 6A e 8B; 7A e 6A; e 7B e 8C, respectivamente). Tanto no experimento em casa de vegetação ( $P < 0,001$ ), quanto no campo ( $P < 0,001$ ), o teor de N aumentou da região um para dois,

decrecendo desta em diante (Figuras 7A e 8A, respectivamente). O teor de S ( $P < 0,001$ ), nas plantas cultivadas em casa de vegetação, comportou-se de maneira semelhante aos teores de P, Ca e Mg, porém no campo o teor de S elevou-se da região um para a três ( $P < 0,001$ ), decrescendo a partir desta (Figuras 7B e 8C). O K, diferentemente dos outros nutrientes apresentou, nos dois experimentos, teores maiores nas regiões centrais dos folíolos (Figuras 6B e 8B).

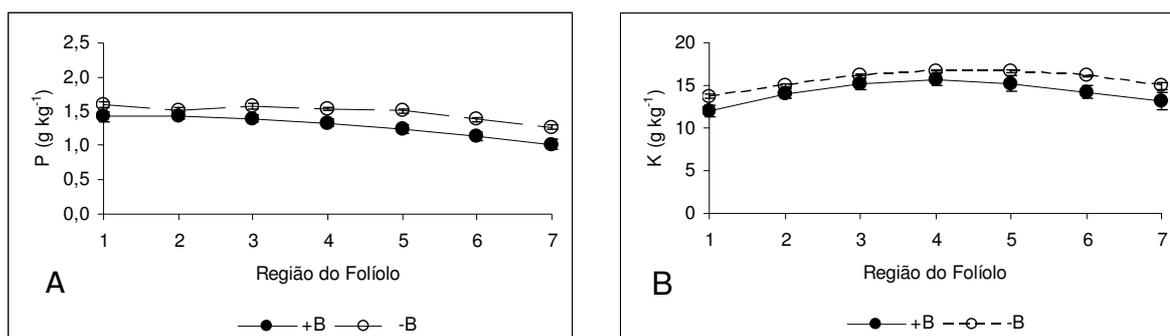


Figura 6. Teores de P (A) e K (B), na matéria seca das sete regiões dos folíolos centrais da folha quatro das plantas deficientes (-B) e normais (+B). 1 = Ápice, 7 = Base. Dados obtidos em condições de casa de vegetação. Campos dos Goytacazes, 2007.

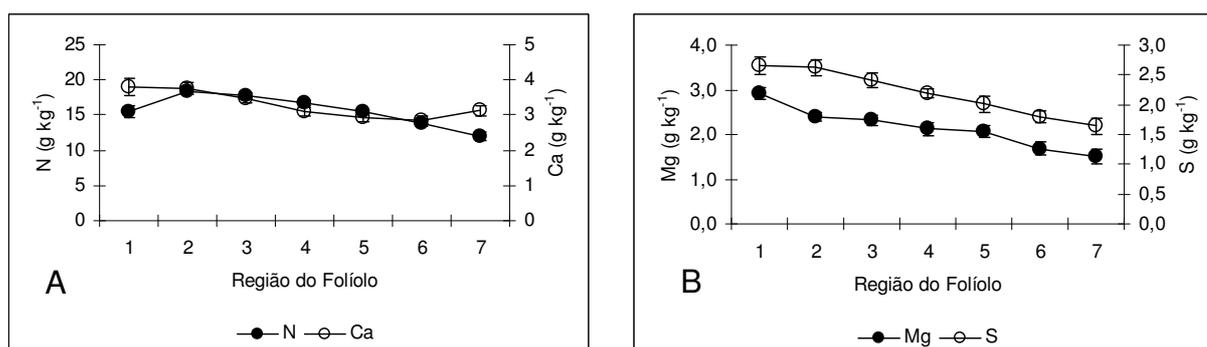


Figura 7. Teores de N, Ca, Mg e S, na matéria seca das sete regiões dos folíolos centrais da folha quatro. 1 = Ápice, 7 = Base. Média dos tratamentos +B e -B. Dados obtidos em condições de casa de vegetação. Campos dos Goytacazes, 2007.

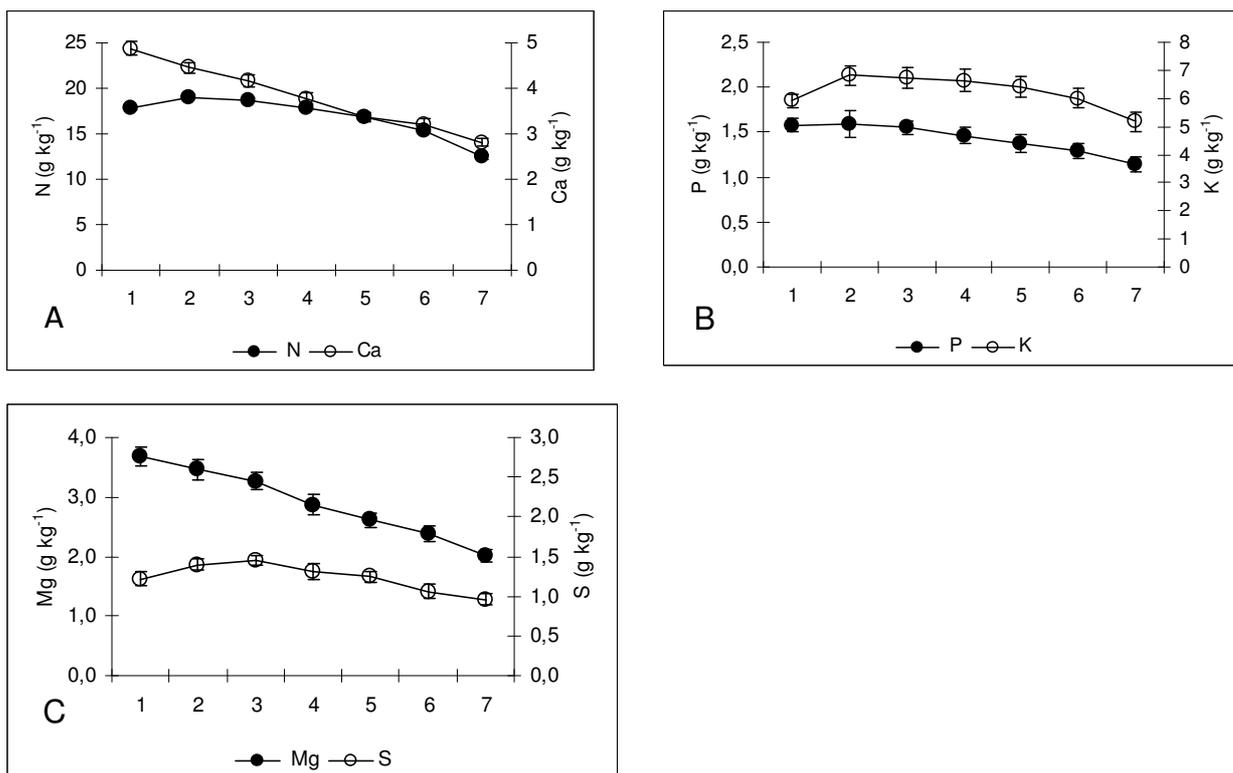


Figura 8. Teores de N, Ca, P, K, Mg e S na matéria seca das sete regiões dos folíolos centrais da folha quatro. Média das doses de  $H_3BO_3$  0, 15, 30 e  $45 \text{ g planta}^{-1}$ . 1 = Ápice, 7 = Base. Dados obtidos em condições de campo. Campos dos Goytacazes, 2007.

### Distribuição de micronutrientes nos folíolos centrais de diferentes folhas

A deficiência de boro reduziu o teor deste micronutriente em todas as folhas das plantas de coqueiro ( $P < 0,001$ ) os quais atingiram valores mínimos de  $5,0 \text{ mg kg}^{-1}$  na matéria seca da folha nº 1 e  $5,1 \text{ mg kg}^{-1}$  na folha nº 2 (Figura 9). Nas mesmas folhas das plantas que receberam boro, os teores foram  $20,9$  e  $26,7 \text{ mg kg}^{-1}$ , respectivamente.

Nas plantas deficientes em B, os teores elevaram-se da folha mais nova para a mais velha. As folhas mais velhas, 10, 11 e 12, foram emitidas próximo da época em que se impôs a deficiência de boro na solução nutritiva. Os teores de boro nas folhas seis a nove variaram de  $8,9$  a  $10,0 \text{ mg kg}^{-1}$  (Figura 6), teores esses maiores do que o nível crítico de  $8 \text{ mg kg}^{-1}$  de B mencionado por Chew

(1978). Tendo em vista que tais folhas apresentavam sintomas visíveis de deficiência de boro, infere-se que o nível crítico deste micronutriente deve ser maior do que  $10 \text{ mg kg}^{-1}$ .

Nas plantas normais (+B) os teores de B elevaram-se da folha um à quatro, decrescendo desta até a folha 10, onde tiveram novo incremento. Naturalmente, o B teria a tendência de se acumular em órgãos velhos, uma vez que houve disponibilidade contínua do nutriente. Entretanto, o maior teor de B nas folhas velhas das plantas crescidas sob deficiência sugere, de certa forma, que o B não seja prontamente translocado no floema de plantas de coqueiro. Em plantas deficientes de boro, o B se encontra predominantemente na parede celular, formando complexos com substâncias pécticas (Hu e Brown, 1994; Cakmak e Römheld, 1997). As plantas deficientes começaram a apresentar alguns dos sintomas de deficiência após três meses da omissão do boro da solução nutritiva. No entanto, a evolução dos sintomas de deficiência atingiu o ponto máximo após um ano e um mês da omissão do boro, tempo muito longo, sugerindo que parte do B não complexado e até mesmo complexado com a pectina possa ter se translocado na planta; a translocação, neste caso, seria em concentrações inferiores à necessária para pleno crescimento da folha, causando o aparecimento de sintomas de deficiência. Dannel et al. (2000) encontraram resultados mostrando que o B ligado à parede celular de plantas de girassol não é totalmente imóvel, pois aproximadamente 28% do B inicialmente presente na parede celular foi trocado ou liberado após três horas de omissão do B da solução nutritiva, e o restante ficou aderido.

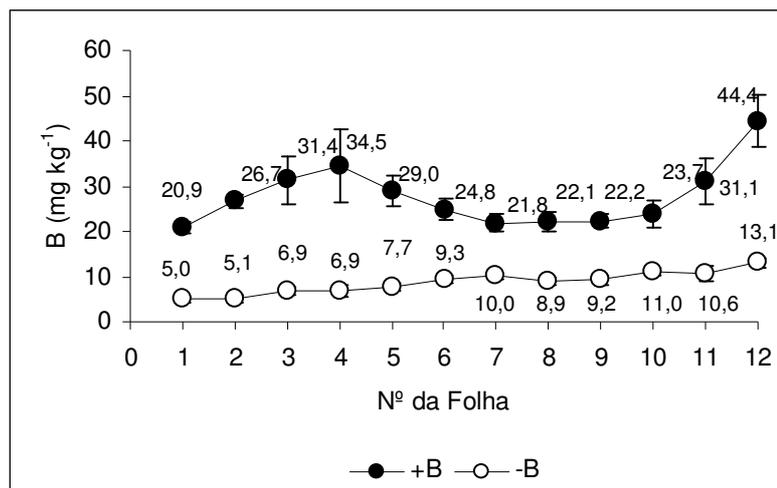


Figura 6. Teores de B na matéria seca dos folíolos centrais de diferentes folhas de coqueiro anão verde. Plantas normais (+B) e deficientes de boro (-B). Campos dos Goytacazes, 2007.

Santos et al. (2003) aplicaram bórax ( $\text{Na}_2\text{BO}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ) na axila das folhas dois, três e quatro, e verificaram que as plantas aumentaram o teor foliar de B, na folha indicadora, após três meses da segunda aplicação e quatro meses após a terceira aplicação. Porém, na amostragem realizada seis meses após a segunda aplicação não houve efeito da aplicação de B. Para explicar a falta de resposta, os autores sugeriram uma possível mobilidade do B no floema de coqueiro.

Santos (2002) amostrou ao acaso 10 plantas com uma inflorescência aberta, nestas amostraram-se as folhas 1 até a 18 onde determinaram-se os teores de vários nutrientes, dentre eles o de boro. Os dados demonstraram que o teor de boro decresceu da folha 1 até a 6 e aumentou da folha 7 até a 18. As diferenças ocorridas na distribuição de B entre este experimento e o de Santos (2002) podem ser atribuídas às diferenças das condições experimentais, uma vez que o referido autor trabalhou em condições de campo. Em maracujazeiro amarelo, Freitas (2006) observou elevação do teor de B da folha 1 para a folha 10, sendo o teor de B 29% menor na folha 1, quando comparado com a folha 10 do mesmo ramo. Resultados similares foram encontrados por Fernandez-Escobar et. al. (1999), em folhas de plantas de Oliveira (*Olea europaea* L.).

Não houve efeito significativo da omissão de B sob os teores foliares de Cu, Mn e Fe. O teor de Cu reduziu da folha um para a nove, verificando-se o menor teor médio na folha oito, sendo este de  $5,11 \text{ mg kg}^{-1}$ , o que significou

redução aproximada de 18% em relação a folha um (Figura 10A). Houve incremento do teor de Fe ( $P < 0,001$ ), Mn ( $P < 0,001$ ) e Zn das folhas novas para as mais velhas (Figuras 10 B e C). A folha nove possuía teores médios de 120 e 96 mg kg<sup>-1</sup> de Fe e Mn, respectivamente, o que correspondia a 48,0% mais Fe e 62,7% mais Mn que a folha um.

Nas plantas deficientes (-B), o teor de Zn nas folhas mais velhas (folhas sete, oito e nove) foi menor que nas plantas normais (+B) (Figura 7C), o que pode ter sido causado pela menor taxa de absorção do Zn, com o agravamento da deficiência de B. Segundo Lima Filho (1991), plantas de café respondem a adubação com zinco apenas quando estão sob um teor mínimo de boro no solo.

Como Cu, Fe, Mn e Zn são nutrientes pouco móveis no floema, possuem tendência de se acumularem em folhas mais velhas (Malavolta et al., 1997). Trabalhando com coqueiro anão verde, Santos (2002) observou maiores teores de Zn nas folhas novas. Em maracujazeiro amarelo, os teores de Zn foram maiores nas folhas novas do ramo (Freitas, 2006). De forma similar ao observado neste experimento, Santos (2002) observou que havia incremento dos teores de Fe e Mn das folhas mais novas para as mais velhas. Entretanto, em maracujazeiro amarelo, os teores de Fe não variaram em relação à folha amostrada do mesmo ramo, enquanto os teores de Mn foram maiores nas folhas mais velhas do ramo (Freitas, 2006).

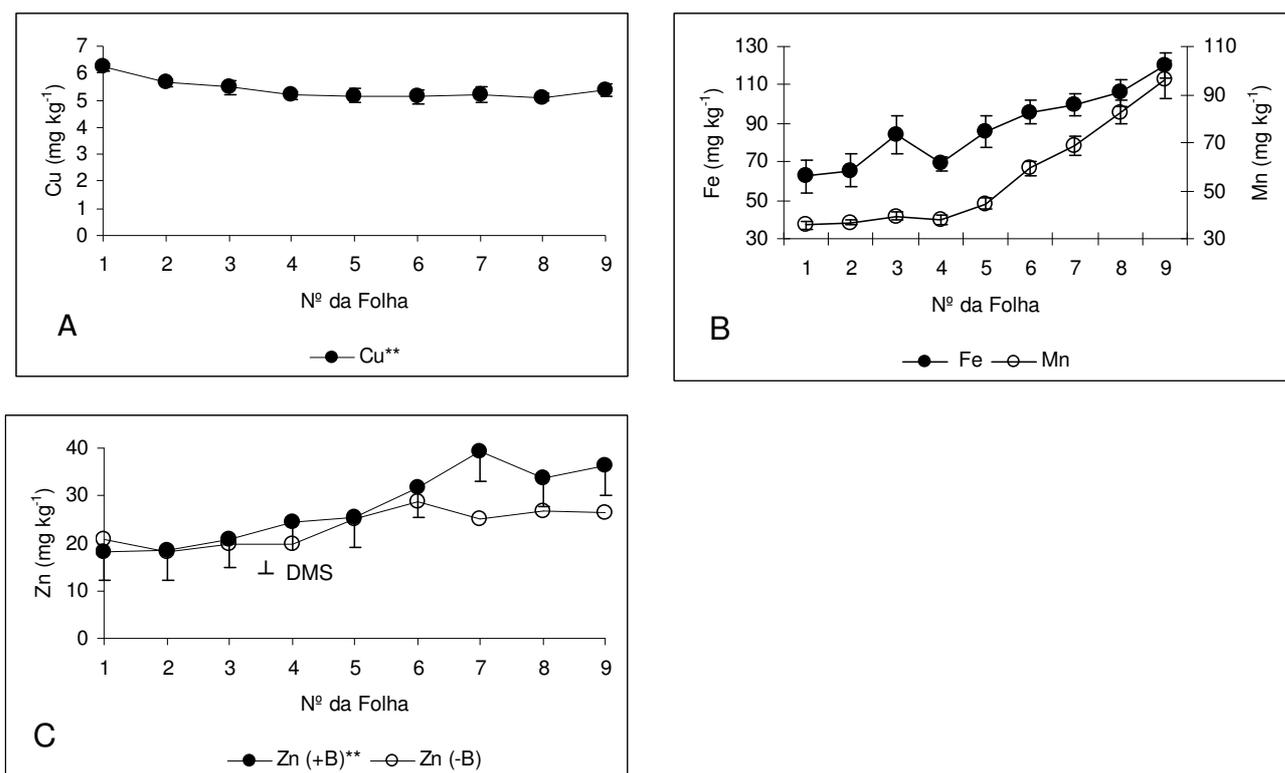


Figura 10. Teores de Cu, Fe, Mn e Zn na matéria seca dos folíolos centrais das folhas de coqueiro anão verde. Média entre os tratamentos +B e -B. Campos dos Goytacazes, 2007.

### Distribuição de micronutrientes nas regiões apical, central e basal da folha quatro

Como era de se esperar o teor de B foi menor nas plantas deficientes de B ( $P < 0,001$ ), quando comparadas com as plantas do tratamento +B, independente da região amostrada da folha (Quadro 5). O teor de B das regiões apical, central e basal das plantas deficientes foi 30,5, 25,0 e 52,7% do teor de B das respectivas regiões das plantas normais (+B). Nas plantas do tratamento +B, o teor de B foi menor nos folíolos da região basal da folha ( $P < 0,001$ ); em contrapartida, as plantas deficientes em B apresentaram teores estatisticamente iguais em todas as regiões amostradas (Quadro 5).

Quadro 5. Teores de B na matéria seca dos folíolos das regiões apical, central e basal em função dos tratamentos +B e -B. Campos dos Goytacazes, 2007

Tratamento	Região da Folha		
	Apical	Central	Basal
	-----mg kg <sup>-1</sup> -----		
+B	25,9 Aa	27,6 Aa	14,6 Ba
-B	7,9 Ab	6,9 Ab	7,7 Ab

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

A absorção do boro é afetada por fatores ambientais relacionados às propriedades do solo e ao clima. A taxa transpiratória, que é diretamente afetada pela temperatura, intensidade luminosa, déficit de saturação folha-ar, umidade relativa, dentre outros, é considerada como o mais importante fator, governando a absorção de boro pelas plantas (Hu e Brown, 1997).

As observações de Hu e Brown (1997) ajudam a explicar os teores mais elevados de B nos folíolos das regiões central e apical da folha de coqueiro do tratamento +B. A região basal das folhas do coqueiro fica parcialmente sombreada, diminuindo a incidência de luz, o que diminui a taxa de transpiração e, conseqüentemente, o movimento de nutrientes. As plantas normais (+B) encontravam-se com as pontas das folhas novas próximas ao teto da casa de vegetação, onde a temperatura é mais alta. A elevada altura destas plantas certamente contribuiu para aumentar a transpiração nos ápices foliares e conseqüentemente o teor de B nas regiões central e apical das folhas.

Santos (2002), trabalhando com coqueiro sob condições de campo, pesquisando a influência da posição dos folíolos na folha nos teores de nutrientes, verificou que não havia diferenças entre os teores de B obtidos nos folíolos das regiões apical, central e basal da folha 14. No campo o fluxo de ar constante contribui para a queda da temperatura em volta das folhas. Por outro lado, na casa de vegetação, a temperatura era bem maior. Durante a condução do experimento, a temperatura média máxima sempre foi superior a 30°C (Figura 2).

As plantas deficientes em B não apresentaram teores de B estatisticamente diferentes entre as regiões apical, central e basal da folha quatro (Quadro 5). Estas plantas não receberam aplicação de B durante um ano e quatro meses, o que justifica os teores baixos e próximos nas diferentes regiões da folha

quatro. A altura média, considerando a folha mais nova, das plantas deficientes era  $1,61 \pm 0,37$  m contra  $3,73 \pm 0,22$  m das plantas do tratamento +B (medições realizadas nas pontas do ponto de crescimento).

As plantas induzidas à deficiência de B apresentaram maiores teores de Mn (Quadro 6). Os teores de Cu, Fe e Zn, na folha quatro, não foram alterados significativamente pela deficiência de B (Quadro 6). O teor de Cu foi menor nos folíolos da região apical da folha, enquanto dos micronutrientes Fe, Mn e Zn não diferiram significativamente, quanto a posição dos folíolos na folha (Quadro 7). Santos (2002), não encontrou diferenças nos teores de Cu, Fe, Mn e Zn em relação as posições dos folíolos na folha.

Quadro 6. Teores de Cu, Fe, Mn e Zn para os tratamentos +B e -B obtidos através da média da matéria seca das regiões apical, central e basal da folha de coqueiro anão verde. Campos dos Goytacazes, 2007

Região	Cu	Fe	Mn*	Zn
	-----mg kg <sup>-1</sup> -----			
+B	4,34 A	70,7 A	33,8 B	20,8 A
-B	4,22 A	69,9 A	38,7 A	19,7 A

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente, entre si, pelo teste F a 5% de probabilidade.

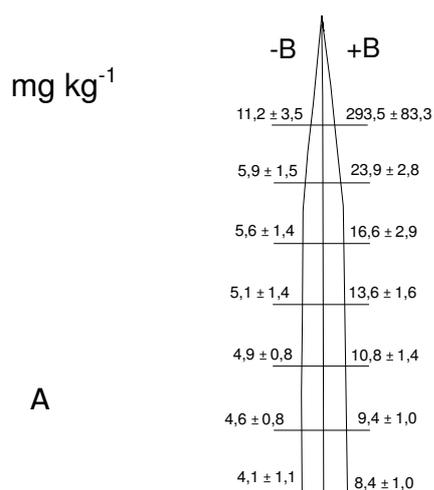
Quadro 7. Teores de Cu, Fe, Mn e Zn médios nos tratamentos +B e -B, obtidos na matéria seca de folíolos da região apical, central e basal da folha quatro. Campos dos Goytacazes, 2007

Região	Cu**	Fe	Mn	Zn
	-----mg kg <sup>-1</sup> -----			
Apical	3,86 B	72,3 A	40,3 A	20,5 A
Central	4,43 A	73,0 A	34,7 A	20,1 A
Basal	4,56 A	65,5 A	34,7 A	20,3 A

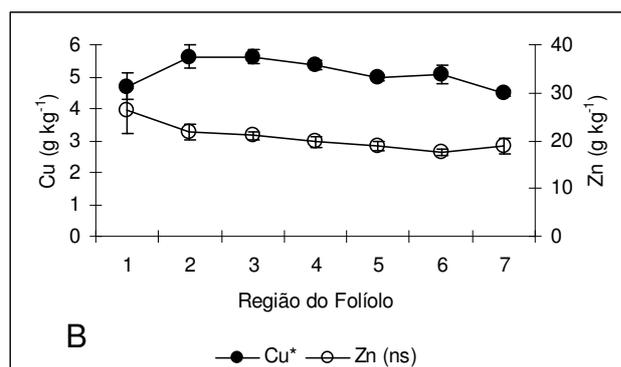
Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente, entre si, pelo teste F a 5% de probabilidade.

## Distribuição de micronutrientes em sete partes do folíolo

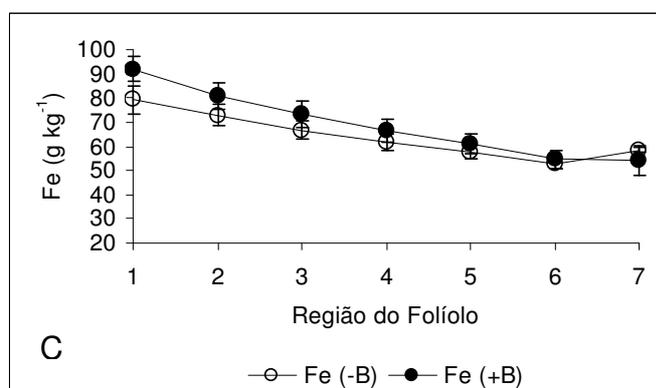
Previamente, havia a informação comprovando que no ápice do folíolo o teor de B era maior que o teor encontrado no centro e na base do folíolo (Santos, 2002). Em condições de casa de vegetação, o teor de boro na região apical do folíolo das plantas normais (+B) foi de  $293,5 \text{ mg kg}^{-1}$ , decrescendo para  $23,9 \text{ mg kg}^{-1}$  na região logo abaixo da apical, com leve diminuição a partir dessa região, atingindo o valor mínimo de  $8,4 \text{ mg kg}^{-1}$  na base do folíolo ( $P < 0,001$ ) (Figura 11A). Não obstante, nos folíolos das plantas deficientes de B (-B), o teor de boro no ápice do folíolo foi de  $11,2 \text{ mg kg}^{-1}$ , decrescendo gradativamente até a base, com teor de  $4,1 \text{ mg kg}^{-1}$  ( $P < 0,001$ ) (Figura 11A). Desta forma, mesmo em caso de deficiência de B, o teor de B tem a tendência de ser maior no ápice dos folíolos.



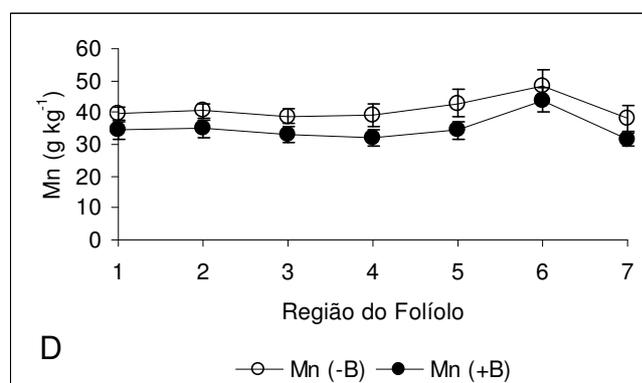
A



B



C



D

Figura 11. Teores de B, Cu, Zn, Fe e Mn na matéria seca das sete regiões dos folíolos centrais da folha quatro. 1=Ápice e 7=Base. Dados obtidos em casa de vegetação. Campos dos Goytacazes, 2007.

O teor de B foi 26 vezes menor no ápice dos folíolos das plantas deficientes de B (-B), quando comparado com o ápice dos folíolos das plantas normais (+B) ( $P < 0,001$ ), essas relações diminuem na medida em que são feitas do ápice para a base, chegando ao mínimo de dois na base do folíolo (Figura 11 A).

Nos folíolos amostrados em plantas cultivadas no campo submetidas a doses de B, verificou-se distribuição do teor de B de forma similar ao encontrado em casa de vegetação (Figura 12). O teor de B diminuiu, nestas plantas, do ápice para a base dos folíolos independentemente da dose de B aplicada ( $P < 0,001$ ) (Figura 12A). Entretanto, nota-se que o teor de B na ponta dos folíolos, em todas as doses de B, foi menor que o teor de B encontrado no ápice dos folíolos do tratamento +B (plantas cultivadas em casa de vegetação) (Figuras 11A e 12, respectivamente). As plantas que não receberam B por adubação (tratamento testemunha) apresentaram teor de B médio de  $23,7 \text{ mg kg}^{-1}$  no ápice do folíolo, decrescendo nas regiões subseqüentes ( $P < 0,001$ ), com teor mínimo de  $8,7 \text{ mg kg}^{-1}$  na base do folíolo (Figura 12). Esses resultados, em conjunto, revelaram que a capacidade de resposta à adubação com B é maior na região apical do folíolo. As regiões abaixo da apical possuem naturalmente menor teor de B, em conseqüência, pode ocorrer falta de êxito à adubação com B caso a região do folíolo seja amostrada sem um controle rigoroso.

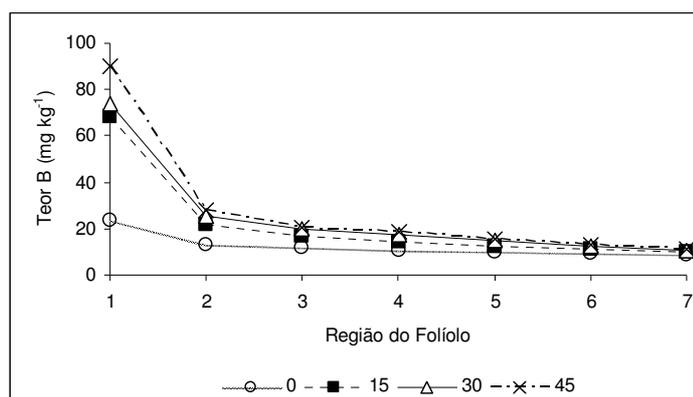


Figura 9. Teores de B na matéria seca das sete regiões dos folíolos centrais da folha nove. Teores referentes às diferentes doses de  $\text{H}_3\text{BO}_3$  ( $\text{g planta}^{-1}$  aplicação<sup>-1</sup>) 1=Ápice e 7=Base. Dados obtidos em condições de campo. Campos dos Goytacazes, 2007.

As relações entre os teores de B obtido na região apical e as localizadas abaixo dessa foram estreitas nas plantas deficientes (-B) (casa de vegetação) e no tratamento testemunha (0) do experimento de campo (Quadro 8). Nos folíolos das plantas normais (+B) as razões foram altas, porém essas mesmas razões quando feitas para os folíolos amostrados no campo e submetidos às doses 15, 30, e 45 g de  $H_3BO_3$  planta<sup>-1</sup> foram, aproximadamente, o dobro das razões encontradas entre regiões nos tratamentos -B e zero (experimento de campo) (Quadro 8). As plantas do tratamento testemunha, no campo, estavam sem sintomas visuais de deficiência de B. Por outro lado, as plantas que receberam as doses 15, 30 e 45 g  $H_3BO_3$  planta<sup>-1</sup> aplicação<sup>-1</sup> emitiram aproximadamente uma folha e inflorescência a mais que as plantas do tratamento testemunha (Figura 13). Portanto, as plantas do tratamento testemunha estavam provavelmente deficientes, porém, não o suficiente para desenvolverem sintomas visuais de deficiência; este fenômeno é conhecido como “fome oculta” (Fontes, 2004). Nesse caso, as razões apresentadas entre as diferentes regiões dos folíolos das plantas deficientes (-B) e testemunha no experimento de campo, podem ser utilizadas para diagnóstico de deficiência de B.

Quadro 8. Relações obtidas entre a região apical e as demais regiões do folíolo das plantas induzidas a deficiência de B (-B) e normais (+B) em casa de vegetação e as mesmas razões entre regiões de plantas adubadas com de  $H_3BO_3$  em condições de campo. Campos dos Goytacazes, 2007

	-B	+B	0	15	30	45
	Casa de vegetação		-----g $H_3BO_3$ planta <sup>-1</sup> no campo-----			
1/2	1,9	12,3	1,9	3,2	2,9	3,2
1/3	2,0	17,7	2,1	4,0	3,7	4,3
1/4	2,2	21,5	2,2	4,8	4,2	4,8
1/5	2,3	27,3	2,4	5,4	4,9	5,7
1/6	2,5	31,2	2,6	6,1	5,8	6,9
1/7	2,7	34,9	2,8	7,1	7,2	8,0

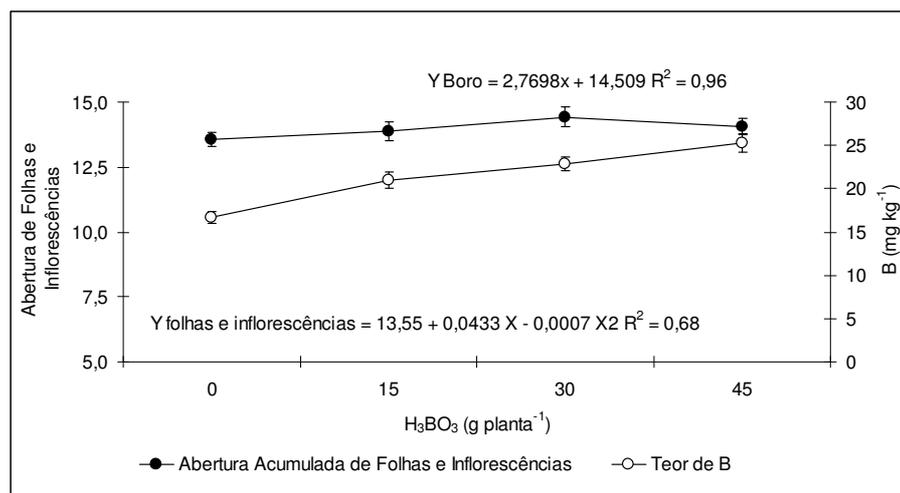


Figura 13. Abertura acumulada de folhas e inflorescências e teor de boro de plantas de coqueiro anão verde em função da aplicação de doses de  $H_3BO_3\ planta^{-1}\ aplicação^{-1}$  no solo.

Com os dados aqui apresentados, a alternativa mais interessante para a diagnose em casos de suspeita de deficiência de B, é a amostragem na folha mais nova da planta, independente da presença dos sintomas visuais de deficiência de boro. As melhores regiões da folha a se amostrar podem ser a central ou a apical, coletando-se o ápice e a base do folíolo. Caso a relação obtida entre os teores do ápice e da base do folíolo seja próxima à apresentada neste trabalho (Quadro 8), a possibilidade de deficiência de boro é alta, mesmo se a planta não estiver com sintomas visuais de deficiência (caso esteja, fica ainda mais comprovada a eficiência do método proposto). No primeiro caso (planta sem sintoma), possivelmente a produtividade aumentará (Pinho, 2004), e no segundo caso (plantas com sintoma), possivelmente a planta emitirá folhas normais, como observado por Santos et al. (2003). Entretanto, como o boro ainda é um nutriente em que se conhece pouco sobre sua disponibilidade às plantas e suas funções nas plantas, reconhece-se que o procedimento proposto deverá ser testado para comprovar sua eficiência.

No experimento de indução de deficiência de boro, o teor de Cu não diferiu significativamente entre tratamentos. O teor deste micronutriente subiu da região um para a dois decrescendo muito pouco a partir desta (Figura 11B). No experimento de campo, não se determinou o teor de Cu devido as plantas terem sido pulverizadas com calda bordaleza ( $Ca(OH)_2 + CuSO_4$ ). Santos (2002), em

experimento de campo, não encontrou diferenças entre os teores de Cu nas regiões apical, central e basal do folíolo amostrado na folha 14.

O teor de Zn obtido nas plantas cultivadas em casa de vegetação (Figura 11B) e no campo (Figura 13B) não variou significativamente em função da região do folíolo analisada, nem entre tratamentos (-B, +B e doses de B no campo). O teor de Zn encontrado na amostragem da região central de todas as folhas também não diferiu entre tratamentos (Figura 10C). Santos (2002) obteve menor teor de Zn na base dos folíolos amostrados na folha 14, na região apical desta folha e na região por ele denominada meio<sup>+3</sup>, sendo esta identificada a partir do quarto folíolo do centro da folha para o ápice.

O teor de Fe foi menor apenas no ápice dos folíolos das plantas induzidas a deficiência de B (Figura 11C). Assim como ocorreu com o B, o teor de Fe decresceu do ápice para a base do folíolo ( $P < 0,001$ ) (Figura 11C). O teor médio de Fe entre os dois tratamentos no ápice (região 1) do folíolo foi de  $85,7 \text{ mg kg}^{-1}$  com redução média de 37% na base do folíolo (região 7). Nas amostras de campo houve queda do teor de Fe de três vezes do ápice para a base ( $P < 0,001$ ), sendo o teor no ápice de  $150 \text{ mg kg}^{-1}$  (Figura 14A). Neste experimento, os teores de Fe não foram influenciados pelas doses de B. Também em experimento de campo com coqueiro, Santos (2002) não encontrou diferenças entre os teores de Fe nas regiões apical, central e basal dos folíolos.

Os teores de Mn foram maiores nas regiões do folíolo das plantas deficientes em B ( $P < 0,001$ ) (Figura 11D). No experimento de campo, a redução do teor de Mn do ápice para a base foi de 51,6% ( $P < 0,001$ ) (Figura 14A). Este resultado, possivelmente é mais representativo uma vez que as amostras foram retiradas em condições de campo. Porém, Santos (2002) não encontrou diferenças entre os teores de Mn obtidos no ápice, no centro e na base dos folíolos.

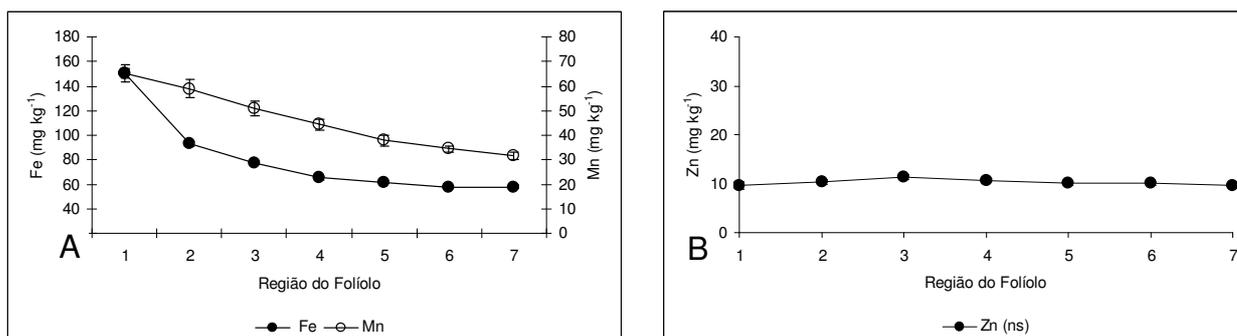


Figura 14. Teores de Fe, Mn e Zn na matéria seca das sete regiões dos folíolos centrais da folha quatro (média entre as doses de  $H_3BO_3$ ). 1=Ápice e 7=Base. Dados obtidos em condições de campo. Campos dos Goytacazes, 2007.

#### 4. CONCLUSÕES

1. A relação entre o teor de B do ápice do folíolo com sua região basal apresentou-se como uma alternativa promissora no diagnóstico nutricional de plantas com suspeita de deficiência de boro, uma vez que, as plantas bem supridas apresentaram uma relação superior a 7,0, por outro lado as plantas deficientes apresentaram uma relação em torno de 2,7;
2. A deficiência de boro promoveu menor teor deste nutriente em todas as folhas, nas três regiões das folhas e nas sete regiões dos folíolos, e alterou pouco o teor dos demais nutrientes, havendo tendência de maior teor de N, P e Mg na planta deficiente;
3. Os maiores teores de N, Ca e Mg foram encontrados nos folíolos do ápice das folhas, os quais apresentaram, no entanto, menor teor de K e Cu;
4. Os maiores teores de B nas plantas normais foram encontrados nos folíolos do ápice e do centro da folha;
5. A região do folíolo que melhor respondeu a aplicação de B foi a apical;
6. Os nutrientes Ca, Mg, S, B, Zn e Fe acumularam-se nos ápices dos folíolos;

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cakmak, I., Römheld, V. (1997) Boron deficiency-induced impairments of cellular functions in plants. *Plant Soil*, 193-71-83.
- Child, R. (1974) *Coconuts*. London: Longman. 335p.
- Corrado, F., Queincez, P. Tailiez, B. (1992) La déficence em bore chez lê palmier à huile. Symptômes et corrections. *Oléagineux*, Paris, v. 47, n.12, p. 719-725.
- Dannel F, Pfeffer H, Römheld V (2000) Characterization of root boron pools, boron uptake and boron translocation in sunflower using the stable isotopes <sup>10</sup>B and <sup>11</sup>B. *Aust J Plant Physiol*. 27: 397–405.
- Embrapa. (2006) *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Centro Nacional de Pesquisa de Solos.
- Fernandez-Escobar, R., Moreno, R., Garca-Creus, M. (1999) Seasonal changes of mineral nutrients in olive leaves during the alternate-bearing cycle. *Scientia Horticulturae*, v.82, n.1, p.25- 45.
- Fontes, P. C. R. (2001) *Diagnóstico do estado nutricional das plantas*. Viçosa: UFV.
- Freitas, M. S. M. (2006) *Flavonóides e nutrientes minerais em folhas de maracujazeiro amarelo e deficiência de macronutrientes e boro em maracujazeiro doce*. Tese de Doutorado, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 106f.
- Hu, H. Penn S, G. Lebrilla C, B, Brown, P, H (1997) Isolation and characterization of soluble boron complexes in higher plants. The mechanism of phloem mobility of boron. *Plant Physiol* 113:649–655.
- Hu, H., Brown, P. H. (1994) Localization of boron in the cell walls of squash and tobacco and its association with pectin. *Plant Physiol* .105: 681–689.
- Hu, H., Brown, P. H. (1997) Absorption of boron by plant roots. *Plant and Soil*. 193: 49-50.
- Jackson, M.L. (1965) *Soil chemical analysis*. New Jersey: Prentice Hall, 498p.
- Lima Filho, O, F. (1991) Calibração de boro e zinco para o cafeeiro (*Coffea arabica* L. cv. Catuaí amarelo). Piracicaba. 100p. Tese (Mestrado) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura/USP.
- Malavolta, E.; Vitti, G. C.; Oliveira, S. A. (1997) *Avaliação do estado nutricional das plantas*. 2. ed. rev. atual. Piracicaba: POTAFOS. 319p.

- Marschner, H. (1995) *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Second ed., Academic Press, London, pp. 379–396.
- Mirisola Filho, L. A. (1997) *Avaliação do estado nutricional do coqueiroanão (Cocos nucifera L.) na região Norte Fluminense*. 57f. Dissertação (Mestrado)-Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes.
- Pinho, L. G. da R. (2004) *Controle da mancha anelar dos frutos de coqueiro anão verde no noroeste do Estado do Rio de Janeiro: Efeitos da aplicação de ácido bórico*. (Tese de Mestrado) - Campos dos Goytacazes - RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF. 44f.
- Reis Jr. R. A.; Monnerat, P. H. (2002) Diagnose nutricional da cana-de-açúcar em Campos dos Goytacazes. *Revista Brasileira de Ciência Solo*, Viçosa, v. 26, p. 367-372, 2002.
- Reis Júnior, R. A., and P. H. Monnerat. (2003) DRIS norms validation for sugarcane crop. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 38: 379–385.
- Santos, A. L. (2002) *Estabelecimento de normas de amostragem foliar para avaliação do estado nutricional e adubação mineral do coqueiro anão verde na Região Norte Fluminense*. Tese de Doutorado-UENF. 82p.
- Santos, A. L. dos, Monnerat, P. H., Alves, E. A. B. (2003) Teor foliar de boro em função da aplicação de bórax na axila foliar de coqueiro anão verde no Norte Fluminense. *Pesquisa Agropecuária e Desenvolvimento Sustentável*. Niterói, v.1, n. 2, p. 165-171.
- Santos, A. L. dos, Monnerat, P. H., Carvalho, A. J. C. de. (2004) Estabelecimento de normas DRIS para o diagnóstico nutricional do coqueiro-anão verde na região norte fluminense. *Rev. Bras. Frutic.*, Jaboticabal - SP, v. 26, n. 2, p. 330-334.
- Sobral, F. L. (1998) Nutrição e adubação do coqueiro. In: Ferreira, J. M. S.; Warwick, D. R. N.; Siqueira, L. A., (Eds.) *A cultura do coqueiro no Brasil*. Aracaju: EMBRAPA-SPI, 1998. p. 129-157.

## **DEFICIÊNCIA DE BORO EM COQUEIRO ANÃO VERDE: III. SINTOMAS VISUAIS E DISTRIBUIÇÃO DE NUTRIENTES NAS RAÍZES**

### **RESUMO**

As raízes, geralmente, são os primeiros órgãos das plantas a apresentarem sintomas de deficiência de boro. Neste experimento objetivou-se elucidar o efeito da deficiência de boro na formação de raízes de diferentes diâmetros e na sua acumulação de nutrientes bem como caracterizar sintomas visuais da deficiência de B em raízes de coqueiro anão verde. O experimento constou de dois tratamentos em solução nutritiva: completo (+B) e sem boro (-B), distribuídos em delineamento inteiramente casualizado, com seis repetições. A unidade experimental constou de uma planta em um vaso plástico contendo 90 litros de areia de praia purificada. Todas as plantas receberam solução nutritiva completa durante os 60 primeiros dias. Os tratamentos começaram no 61<sup>o</sup> dia após o transplante. Aos 464 dias após a indução da deficiência coletaram-se as raízes. Após o processo de lavagem, as raízes foram então separadas em três diâmetros: finas (<1 mm), médias (1 a 5 mm) e grossas (>5 mm). Em seguida, imergiram-se as raízes em água várias vezes para retirada da areia e, finalmente, elas foram lavadas em água desionizada. Após secagem em estufa, determinou-se a massa seca de cada tipo de raiz e, posteriormente, determinaram-se os teores de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn. Os resultados indicaram que os maiores teores de N, P, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn foram encontrados nas

raízes finas do coqueiro em ambos os tratamentos, mas os de K foram maiores nas raízes grossas. A deficiência de boro aumentou os teores de N, P e K em todas as raízes, os teores de Mg, S, Cu e Zn nas raízes finas, mas não afetou os teores de Ca, Fe e Mn. A deficiência de boro reduziu a produção de raízes totais e finas em 29,7 e 48,3%, respectivamente e promoveu o engrossamento e escurecimento das raízes. As pontas das raízes necrosaram causando superbrotamento radicular, com ramificações curtas.

Termos de indexação: necrose, superbrotamento, nutrição mineral, ácido bórico.

### **DEFICIENCY OF BORON IN GREEN DWARFISH COCONUT TREE: 3. DISTRIBUTION OF NUTRIENTS AND VISUAL SYMPTOMS OF DEFICIENCY IN THE ROOTS**

#### **ABSTRAT**

The roots, usually, are the first organs of the plants to show the symptoms of boron deficiency. In this experiment it was aimed to evaluate the effect of boron deficiency on the formation of roots of different diameters, on the accumulation of nutrients and to characterize visual symptoms of the deficiency of B in roots of green dwarf coconut tree. In this experiment the treatments were applied a complete nutrient solution (+B) and a nutrient solution without boron (-B), in a randomized design, with six replicates. The experimental unit consisted of one plant in a plastic pot containing 90 liters of purified sand beach. Until the 60th day, all plants received a complete nutrient solution. At the 61st day after the transplant the treatments were applied. To the 464 days after the induction of the deficiency the roots were collected; after the wash process, the roots were then separated into three diameters: fine (<1mm), mean (1 to 5mm) and thick (>5mm). After the separation, the roots were immersed in water several times for remove the sand and, finally they were washed in deionized water. After drying in an oven, the dry

matter of each root type was determined and, later, they were determined the concentrations of N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn and Zn. The results indicated that the largest concentrations of N, P, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn and Zn were found in the fine roots of the coconut tree in both treatments, but those of K were larger in the thick roots. The boron deficiency increased the concentrations of N, P and K in all of the roots, the concentrations of Mg, S, Cu and Zn in the fine roots, but it didn't affect the concentrations of Ca, Fe and Mn. The boron deficiency reduced the production of total and fine roots by 29,7 and 48,3%, respectively; it promoted the thickening and darkening of the roots, with short ramifications; the tips of the roots died causing root overbudding.

**Key words:** necrosis, overbudding, mineral nutrition, boric acid.

## 1. INTRODUÇÃO

A deficiência de boro foi diagnosticada no Estado do Rio de Janeiro em plantios de coqueiro anão verde (Mirizola Filho, 1997; Santos et al., 2003). A correção da deficiência foi possível com a aplicação de 15g de bórax por planta, na axila das folhas 2, 3 e 4 (Santos et al., 2003), permitindo que as plantas rapidamente desenvolvessem folhas normais, sem nenhum sintoma visual de deficiência de boro.

A aplicação de boro em plantas de coqueiro pode ser realizada tanto na axila foliar (Sobral, 1998; Santos et al., 2003, Pinho, 2004) como no solo (Sobral, 1998; Pinho, 2004) e, em ambas as formas de aplicação, ocorre absorção do nutriente pela planta (Pinho, 2004). O incremento na absorção de boro pelo coqueiro, com teor inicial de boro de, aproximadamente,  $8 \text{ mg kg}^{-1}$  na folha 14, foi acompanhado de elevação de 75% no número de frutos por cacho, quando se aplicou  $80 \text{ g de H}_3\text{BO}_3 \text{ planta}^{-1}$  no solo, e 30% quando se aplicou 40g do fertilizante na axila da folha 10 (Pinho, 2004). Como as plantas elevaram a produtividade em resposta à aplicação de boro, constatou-se deficiência de boro, embora as folhas não apresentassem sintomas visuais de deficiência.

Nos últimos 17 anos, grandes avanços foram alcançados no entendimento dos papéis do boro no metabolismo vegetal, entretanto sua função primária ainda não está clara. Das funções atualmente atribuídas ao boro, duas são aceitas pela comunidade científica. Uma é como constituinte da parede celular, onde o boro, possivelmente, atuaria estabilizando-a (Hu e Brown, 1994; Ishii e Matsunaga, 1996; Fleischer et al., 1998; Pfeffer et al., 2001; Matoh et al., 1993; e Kobayashi et al. 1996). A outra função seria na manutenção da integridade da membrana plasmática (Cakmak et al., 1995).

Em uma série de culturas, a deficiência de B, dentre outros efeitos, resultou em menor crescimento radicular (Lima Filho e Malavolta, 1997; Lovatt et al., 1981; Viégas et al., 2004). De fato, fatores abióticos influenciam na fisiologia das raízes, sendo estes classificados, quanto à sua natureza, em químicos, como o pH, a concentração de nutrientes e de elementos tóxicos; físicos e físico-hídricos, como a oxigenação, temperatura, umidade, textura, densidade e porosidade do solo (Zonta et al., 2006). As raízes são os órgãos responsáveis pela fixação das plantas no solo e pela absorção de água e nutrientes (Fitter, 1991). A absorção de água e nutrientes parece ser realizada, preferencialmente, por raízes finas (Russel, 1981). Em uma série de espécies, os pêlos radiculares e a região um pouco anterior à extremidade radicular (5 cm em média), apresentaram maior capacidade de absorção de água por uma série de culturas (em revisão de Kozinka, 1991).

Em coqueiro, a absorção de nutrientes por raízes de primeira ordem (grossas) é baixa, ficando restrita a pequena porção na ponta da raiz, localizada atrás da coifa (Frémond et al., 1975). Normalmente, das raízes de primeira ordem surgem raízes de segunda e destas as de terceira ordem (Passos, 1998). De acordo com Passos (1998), as raízes de terceira ordem (finas) são as maiores responsáveis pela absorção de água e nutrientes, uma vez que o coqueiro não possui pêlos radiculares.

De maneira geral, os primeiros centímetros de solo apresentaram a maior densidade de radículas em plantas de *Eucalyptus urophylla* (eucalipto), *Cocus nucifera* L. (coqueiro gigante) e *Brachiaria humidicola* (Fabião et al., 1987; Witschoreck et al., 2003; Fremond et al., 1975; Cintra et al., 1996; Brasil, 2001). A camada superficial dos solos (generalizando, os primeiros 30 cm) apresenta maior

reserva de nutrientes, quando comparada com camadas mais profundas do mesmo solo, o que justifica a maior densidade de raízes finas nesta camada.

As raízes, na grande maioria das plantas, são órgãos heterotróficos (Zonta et al., 2006) que, para sua formação, necessitam de fornecimento contínuo de fotoassimilados. Segundo Moreira e Siqueira (2002), até 60% do carbono fotoassimilado pode ser utilizado no sistema radicular. Uma baixa produção de matéria seca total de raízes indica que o fornecimento de fotoassimilados da parte aérea para as raízes não está ocorrendo eficientemente.

Os primeiros sintomas de deficiência de boro são, de maneira geral, observados nas raízes (Lima Filho e Malavolta, 1997; Lovatt, 1981), não obstante, em coqueiro, a parte aérea também pode ficar comprometida, nas quais as folhas novas ficam menos expandidas, apresentam crestamento, necroses e pontos com cortiça, chegando a paralisar o crescimento da planta (Sobral, 1998; Santos, 2002, Macêdo et al., 1999; Broschat, 2005). Neste caso, se na deficiência de boro a planta de coqueiro apresentar perda na capacidade de formação de raízes, a planta fica exposta a um ambiente que poderá comprometer a absorção não só de boro, mas de vários outros nutrientes, tanto os que se movem por fluxo de massa no solo, como por difusão. Entretanto, não se conhece o efeito da deficiência de boro no desenvolvimento e crescimento radicular do coqueiro.

Neste experimento objetivou-se esclarecer o efeito do boro na formação de raízes de diferentes diâmetros e na sua acumulação de nutrientes bem como caracterizar sintomas visuais da deficiência de B em raízes de coqueiro.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Conduziu-se um experimento com plantas de coqueiro anão verde, entre 05/01/2006 e 29/05/2007, em casa de vegetação localizada no *campus* da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, em Campos dos Goytacazes, Estado do Rio de Janeiro. As coordenadas geográficas da casa de vegetação são: 21°45'39.99" S; 41°17'20.93" W; altitude aproximada de 7 metros.

Os tratamentos consistiram de solução nutritiva completa (+B) e solução nutritiva sem adição de boro (-B), em delineamento experimental inteiramente

casualizado, com seis repetições. A unidade experimental constou de uma planta em um vaso plástico contendo 90 litros de areia de praia purificada. O vaso consistiu de um tambor cortado ao meio e cuja drenagem foi promovida por 57 perfurações de 5 mm de diâmetro. A purificação da areia consistiu de sua embebição em ácido clorídrico diluído em água na proporção de 1:4 durante cerca de quatro horas e posterior lavagem com água comum até que o pH se aproximasse de cinco, quando, então, fez-se a última lavagem com água desionizada.

Em 05/01/2006 selecionaram-se as mudas com 11 meses de idade em um viveiro situado na Fazenda Taí Agropecuária, em Campos dos Goytacazes, retirando-se, por meio de uma cavadeira, plantas com sete folhas e sem sintomas de doenças. O sistema radicular das plantas foi umedecido e protegido com sacolas plásticas para evitar ressecamento. As plantas foram imediatamente transportadas para a casa de vegetação onde se efetuou uma toaleta, eliminando-se a amêndoa e podando-se as raízes a 25 cm da base, sendo cada planta transplantada para o vaso com areia. Após o transplante, as mudas foram irrigadas com água desionizada até a saturação da areia. As irrigações passaram, então, a ser feitas automaticamente, por meio de uma bomba controlada por um temporizador, oito vezes ao dia, aplicando-se três litros de água desionizada por irrigação. O turno de rega foi de duas horas, iniciando-se diariamente às seis horas e finalizando às 20 horas, aplicando-se água durante 15 minutos, através de dois gotejadores com capacidade máxima de oito litros por hora.

Em dois vasos de cada tratamento, dois tensiômetros foram instalados, um de 10-15 cm de profundidade e outro de 20-25 cm, permitindo acompanhar a tensão de água na areia. As leituras da altura da coluna de mercúrio eram realizadas diariamente por meio de régua graduada, com precisão de um milímetro. Calculou-se o potencial mátrico através da fórmula:  $\Psi_M = -12,6H + Z + hc$ , onde  $\Psi_M$  representa o potencial mátrico; H a leitura da altura da coluna de mercúrio no tensiômetro;  $hc$  a distância do nível de mercúrio na cuba à superfície da areia no momento da leitura; e Z a profundidade de instalação da cápsula (Libardi, 1995). Procurou-se manter a areia constantemente úmida, não permitindo grandes oscilações na tensão entre duas irrigações subseqüentes. Das tensões calculadas, os valores da tensão máxima, mínima, média, tensão mais repetida, e desvio padrão encontram-se no Quadro 1.

Durante a condução do experimento, registram-se diariamente as temperaturas máximas e mínimas, através de termômetro digital, com sensor de temperatura colocado junto à folha de uma das plantas (Figura 2). Durante todo o período experimental pulverizaram-se todas as plantas, a cada 20 dias, com inseticidas-acaricidas, sempre alternando o princípio ativo.

Quadro 1. Valores de tensão máxima, mínima, média, tensão mais repetida e desvio padrão, observados durante a condução do experimento, em duas profundidades, nos tratamentos +B e -B. Campos dos Goytacazes, 2007.

Tratamento	Prof.	TM	TMIM	Média	TR	DP
	-cm-	-----m.c.a.-----				
-B	10-15	-0,54	-0,30	-0,39	-0,41	0,033
	20-25	-0,49	-0,21	-0,36	-0,34	0,043
+B	10-15	-0,57	-0,28	-0,41	-0,38	0,048
	20-25	-0,55	-0,21	-0,39	-0,39	0,042

Prof. = profundidade; TM = tensão máxima; TMIM = tensão mínima; TR = tensão mais repetida; DP = desvio padrão; m.c.a= metros de coluna de água.

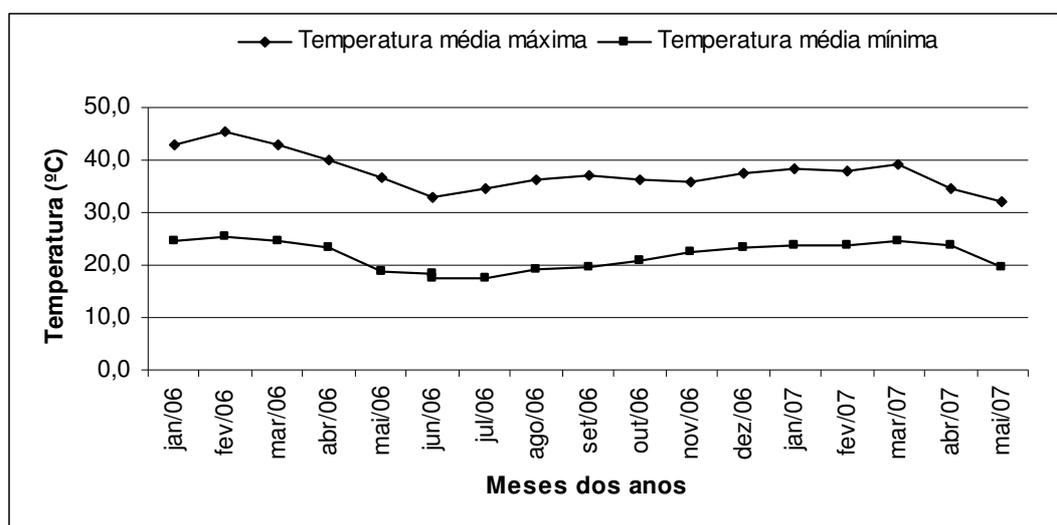


Figura 1. Temperaturas máximas e mínimas (médias mensal) obtidas no interior da casa de vegetação. Campos dos Goytacazes, 2007.

Durante os primeiros 10 dias, as plantas de ambos os tratamentos receberam, uma vez ao dia, 2,5 litros de solução nutritiva completa a ¼ de força

iônica; do décimo primeiro ao décimo quinto dia, a solução foi de 1/2 força e do 16º ao 60º aplicou-se solução nutritiva a uma força iônica. O pH das soluções foi ajustado a  $5,5 \pm 0,2$  (Quadro 2). No 61º dia após o transplante procedeu-se a lavagem de todos os vasos com água corrente e, posteriormente, com água desionizada, para remoção do boro existente nos vasos e, logo em seguida, aplicaram-se as soluções completa (+B) e sem boro (-B) nos vasos dos respectivos tratamentos.

Quadro 2. Composição da solução nutritiva completa utilizada no experimento. Campos dos Goytacazes, 2007.

<b>Macronutrientes</b>	mmol L <sup>-1</sup>
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> . 2H <sub>2</sub> O	3
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	1
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	0,25
KNO <sub>3</sub>	4
MgSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	1
<b>Micronutrientes</b>	μmol L <sup>-1</sup>
Fe-EDTA	40 até 23/08/06 e 80 após.
MnSO <sub>4</sub>	5
ZnSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	2
CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O	0,5
(NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> MoO <sub>7</sub> O <sub>24</sub>	0,086
KCl	50
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	25 até 29/06/06 e 50 após.

Para verificar a pureza dos sais utilizados em termos de contaminação com boro, semearam-se, em épocas diferentes, girassol, rabanete, milho e tomate. Todas as plantas cultivadas no tratamento -B apresentaram sintomas de deficiência de boro descritos na literatura enquanto que no tratamento +B elas cresceram normalmente. A exemplo das demais, aproximadamente, uma semana após a germinação, observou-se nas plantas de girassol submetidas às condições do tratamento -B os sintomas típicos de deficiência de boro: diminuição do tamanho do ponto de crescimento com posterior necrose e morte da gema apical.

Depois de colhida a parte aérea, procedeu-se a retirada do sistema radicular. Para a retirada do sistema radicular intacto foi necessário fazer um corte na parede lateral do vaso, sendo a maior parte da areia retirada por meio de jatos de água. A total remoção da areia só foi possível após a remoção das raízes da

sua inserção ao estipe. As raízes foram então separadas em três diâmetros: finas (<1mm), médias (1 a 5mm) e grossas (>5mm).

Após a separação, imergiram-se as raízes em água desionizada e, após escoamento do excesso de água, mediu-se a massa úmida de cada tipo de raiz. Determinou-se também a massa úmida de uma amostra de cada diâmetro do sistema radicular e, posteriormente, a massa seca, após acondicionamento em sacos de papel tipo *Kraft* e secagem por cinco dias consecutivos a 75 °C em estufa de circulação forçada de ar. Os dados das amostras permitiram calcular a matéria seca de raízes finas, médias e grossas de cada planta.

Após a obtenção da massa seca das amostras, moeram-se as raízes em moinho tipo *Wiley*, com peneira de 30 *mesh*. O material foi acondicionado em tubos hermeticamente fechados. Posteriormente, determinaram-se os teores de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Zn, e Mn. As análises foram realizadas de acordo com metodologias descritas por Malavolta et al. (1997) exceto o N, que foi obtido pelo método de Nessler (Jackson, 1965), todos os métodos foram adaptados por P. H. Monnerat<sup>5</sup>, e calibrados com os métodos padrões. O N foi determinado após submeter o tecido vegetal à oxidação pela digestão úmida (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>). Os teores de Ca, Mg, Fe, Zn, Cu e Mn foram quantificados, após oxidação do tecido vegetal pela digestão nitro-perclórica (HNO<sub>3</sub> e HClO<sub>4</sub>), por espectrofotometria de absorção atômica. Determinou-se o P colorimetricamente, pelo método do molibdato, e o K por espectrofotometria de emissão; para ambos utilizaram-se alíquotas do extrato da digestão nitro-perclórica. Determinou-se o S, utilizando-se também o extrato da digestão nitro-perclórica, por turbidimetria do sulfato. Determinou-se o teor de boro após submeter 250 mg do tecido vegetal à digestão seca; à cinza adicionou-se 10 ml de HNO<sub>3</sub> (1:60) e, após homogeneização e centrifugação, determinou-se o teor de B no sobrenadante pelo método da Azometina-H.

Os dados foram submetidos à análise de variância em esquema fatorial 2 x 3 e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

---

<sup>5</sup> Notas das aulas da disciplina: Nutrição Mineral de Plantas-LFIT-CCTA-UENF

### 3. RESULTADOS

#### Matéria Seca das Raízes

A deficiência de B reduziu em 29,7% a matéria seca total das raízes (Quadro 3). A maior parte da redução ocorreu devido à menor produção de raízes finas nas plantas sob deficiência de B (Quadro 3), cuja matéria seca foi 48,3% menor do que a do tratamento completo (+B).

Nas plantas deficientes em B houve, em comparação com a matéria seca de raízes grossas, menor produção de raízes médias e finas. Por outro lado, as plantas normais (+B) produziram quantidade de matéria seca de raízes finas que não diferiu estatisticamente da matéria seca de raízes grossas, ambos sendo maiores que a produção de raízes médias destas plantas (Quadro 3). Nas plantas deficientes, do total de raízes produzidas (2993,3 g), as grossas, médias e finas foram 52,0; 19,6 e 28,4%, respectivamente, enquanto nas plantas normais estes valores foram 39,6; 17,3 e 43,1%, respectivamente.

Quadro 3. Matéria seca e percentual de raízes de diferentes diâmetros de plantas normais de coqueiro anão verde (+B) e deficientes de B (-B). Campos dos Goytacazes-RJ. 2007

Tratamento	Matéria Seca das Raízes				Percentual		
	Finas	Médias	Grossas	Total	Finas	Médias	Grossas
	-----g planta <sup>-1</sup> -----				-----%-----		
+B	1681,1Aa	740,6Ba	1836,8Aa	4258,5a	39,6Aa	17,3 Ba	43,1 Ab
-B	869,5Bb	573,9Ba	1549,9Aa	2993,3b	28,4Ab	19,6 Ba	52,0 Aa
CV%	21,7				14,6		

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

#### Teores de Nutrientes nas Raízes

A deficiência de boro aumentou os teores de N e P nas raízes do coqueiro. As raízes finas de ambos os tratamentos apresentaram os maiores teores desses nutrientes, sendo que as raízes médias não diferiram das grossas (Quadro 4). O teor de K nas raízes foi também aumentado pela deficiência de

boro, entretanto, foram as raízes grossas as que apresentaram os maiores teores, enquanto as médias e finas não diferiram entre si.

Os teores de Ca, Fe e Mn não foram alterados significativamente pela deficiência de boro, sendo, entretanto, maiores nas raízes finas. As raízes grossas e médias não diferiram entre si (Quadro 4).

A deficiência de boro aumentou o teor de Mg apenas na matéria seca das raízes finas. Tanto nas plantas deficientes de B como nas normais, o teor de Mg decresceu das raízes finas para as grossas (Quadro 4).

Os teores de S, Cu e Zn foram maiores nas plantas deficientes de B apenas nas raízes finas. Para ambos os tratamentos, as raízes médias e grossas não diferiram entre si, mas apresentaram teores desses nutrientes menores do que os das raízes finas (Quadro 4).

Em qualquer diâmetro avaliado, como era de se esperar, o menor teor de B foi obtido nas raízes das plantas deficientes (Quadro 4). Nas plantas deficientes, o teor de B foi maior nas raízes finas, enquanto nas das plantas normais não houve diferença entre os teores de B obtidos nas raízes grossas e finas, sendo o teor em ambos maior que nas médias (Quadro 4).

Quadro 4. Teores de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn nas raízes de diferentes diâmetros de plantas de coqueiro anão verde normais (+B) e deficientes em boro (-B). Campos dos Goytacazes, 2007

Nutriente	Tratamento	Diâmetro Radicular			Média
		Finas	Médias	Grossas	
N	+B	7,12	4,60	4,48	5,40 b
	-B	8,09	5,76	6,01	6,62 a
	Média	7,60 A	5,18 B	5,24 B	CV% 15,2
P	+B	0,65	0,50	0,50	0,55 b
	-B	0,76	0,53	0,53	0,61 a
	Média	0,71 A	0,52 B	0,51 B	CV% 12,9
K	+B	5,8	7,4	10,1	7,8 b
	-B	7,8	8,6	11,6	9,3 a
	Média	6,8 B	8,0 B	10,8 A	CV% 17,8
Ca	+B	2,56	1,10	0,74	1,46 a
	-B	3,17	1,33	0,87	1,79 a
	Média	2,86 A	1,21 B	0,80 B	CV% 38,5
Mg	+B	1,15 Ab	1,04 Ba	0,80 Ca	1,00
	-B	1,40 Aa	1,09 Ba	0,81 Ca	1,10
	Média	1,28	1,06	0,81	CV% 7,6
S	+B	1,65 Ab	0,79 Ba	0,75 Ba	1,06
	-B	2,03 Aa	0,91 Ba	0,80 Ba	1,25
	Média	1,84	0,85	0,77	CV% 11,3
B	+B	5,59 Aa	3,93 Ba	4,79 Aa	4,77
	-B	4,27 Ab	2,88 Bb	3,37 Bb	3,50
	Média	4,93	3,40	4,08	CV% 13,8
Cu	+B	41,9 Ab	3,1 Ba	1,9 Ba	15,6
	-B	74,7 Aa	4,8 Ba	2,2 Ba	27,2
	Média	58,3	4,0	2,0	CV% 36,8
Fe	+B	325	105	64	165 a
	-B	280	83	63	142 a
	Média	303 A	94 B	64 B	CV% 38,8
Mn	+B	12,9	4,5	3,5	7,0 a
	-B	19,7	5,4	3,5	9,5 a
	Média	16,3 A	5,0 B	3,5 B	CV% 58,5
Zn	+B	25,0 Ab	9,4 Ba	5,6 Ba	13,3
	-B	52,2 Aa	10,2 Ba	5,8 Ba	22,7
	Média	38,6	9,8	5,7	CV% 28,0

Para cada nutriente, médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

### Sintomas Visuais

Comparando-se as raízes das plantas deficientes com as normais, percebeu-se de forma nítida, um menor número de raízes finas nas plantas deficientes de B (Figura 2 A, B e C). Nas plantas deficientes, as pontas de

algumas raízes encontravam-se com superbrotção e necrosadas (Figuras 2 D e E). Comparando-se as raízes médias e finas das plantas normais (Figura 2 F) com as raízes destes diâmetros das plantas deficientes (Figura 2 G), percebia-se que muitas das raízes deficientes eram mais curtas, grossas e com escurecimento. Nas plantas deficientes em B, a menor produção de matéria seca das raízes finas (Quadro 3), comprovou a observação visual de menor número destas raízes.

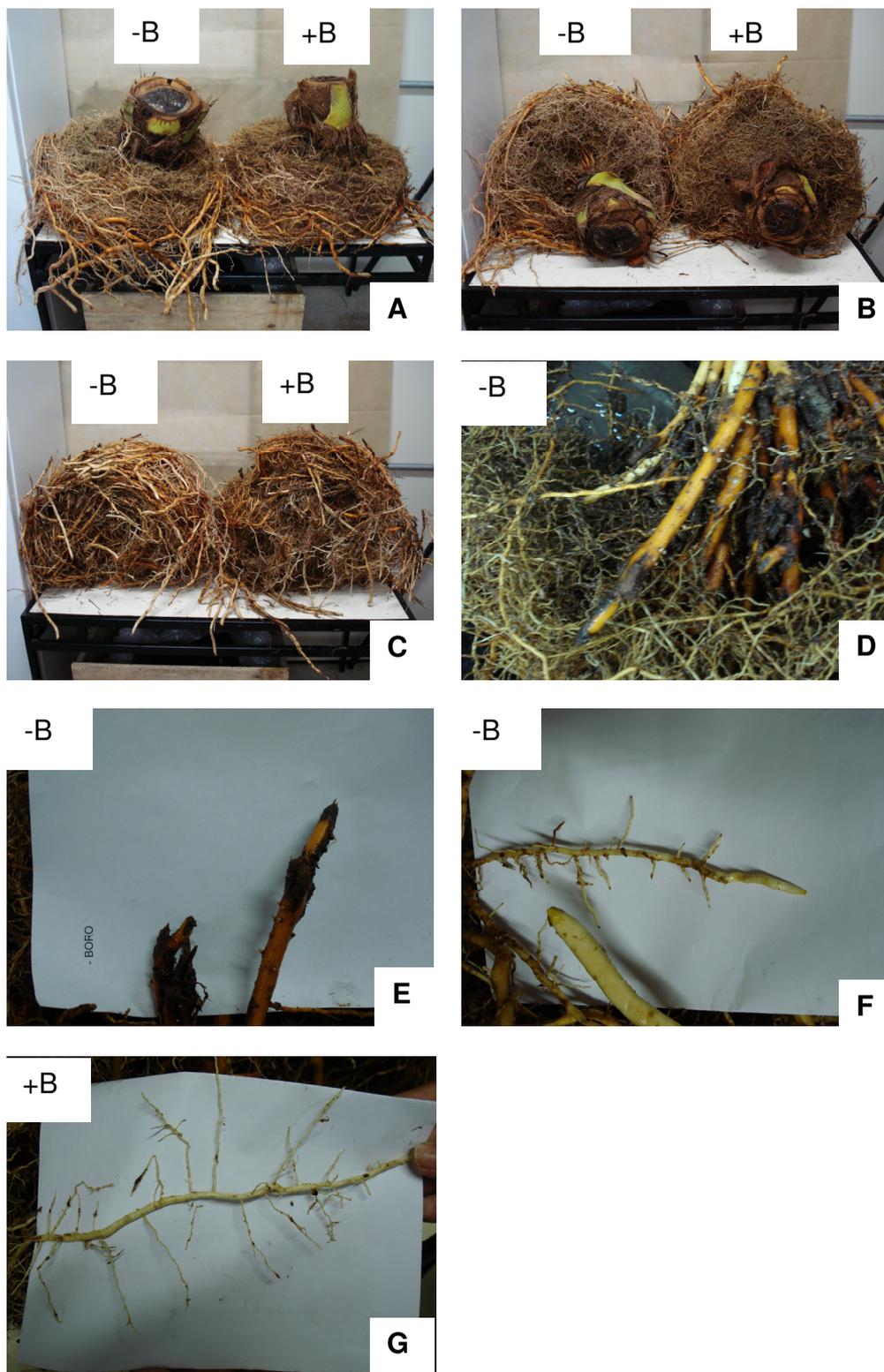


Figura 2. Sintomas visuais de deficiência de B em raízes de coqueiro anão verde. A, B e C: imagens das raízes deficientes (-B) e normais (+B). D e E: raízes com necroses e superbrotção. F e G: raízes médias e finas nas plantas deficientes (-B) e normais (+B), respectivamente.

## 4. DISCUSSÃO

### Matéria Seca das Raízes

As plantas estavam no mesmo ambiente, a areia utilizada era a mesma para todos os vasos e foram igualmente irrigadas (Quadro 1). Neste caso, a única diferença imposta foi à omissão de B, onde as plantas deficientes produziram menos matéria seca radicular. Outro agravante foi a menor produção de raízes finas em um sistema radicular pouco denso (Quadro 3), o que diminui a capacidade de absorção de água e nutrientes. A maior parte das raízes, nas plantas deficientes de B eram grossas (Quadro 3), correspondendo a 52% da massa total de raízes. Nos dois tratamentos encontrou-se menor produção percentual de raízes médias (Quadro 3), possivelmente, por ser esta uma característica da arquitetura do sistema radicular do coqueiro.

Freitas (2006) induziu deficiência de B em plantas de *Passiflora edulis* (maracujá doce), mas não encontrou redução significativa na matéria seca da raiz. A autora readicionou B nas plantas sob indução de deficiência. Segundo a autora, as readições durante o período de condução do experimento, podem não ter permitido redução na matéria seca de raízes. As readições foram necessárias uma vez que se objetivou a obtenção de sintomas visuais de deficiência nos frutos (Freitas, 2006). Viégas et al. (2004) encontraram, em plantas de camuazeiro (*Myrciaria dubia*) deficientes de B, redução na produção de matéria seca de raízes.

O B é um nutriente essencial para a formação de tecidos meristemáticos radiculares e caulinares (Hu et al., 1997; Belvins e Lukaszewski, 1998), ou seja, na falta de B o crescimento e desenvolvimento radicular e caulinar paralisam-se. O B possui papéis importantes no transporte de açúcares e no metabolismo do carboidrato (Dechen e Nachtigall, 2006), porém ainda não estão claras quais as funções exercidas pelo micronutriente nestes processos. A deficiência de B promove redução no crescimento da planta (Hu e Brown, 1997) e, de maneira indireta, a menor área foliar promove redução na produção de fotoassimilados. Neste caso, em deficiência, a alocação de carbono para o sistema radicular também será prejudicada. Neste experimento, nos folíolos das plantas deficientes em B, apresentando translucidez ou branqueamento do tecido, houve redução

em, aproximadamente, 36% na taxa fotossintética (dados não apresentados). Todos os fatores em conjunto formaram um “efeito em cascata”, promovendo a menor produção de matéria seca de raízes, principalmente finas (Quadro 3).

### **Teores de Nutrientes nas Raízes**

Todas as seções de raízes das plantas deficientes apresentaram teores menores de B, com considerável perda na massa seca total de raízes. Nas plantas deficientes, a distribuição do teor de B entre as raízes de diferentes diâmetros sugere uma possível mobilidade do B entre raízes. Nas raízes grossas e médias o teor de B foi baixo, enquanto nas raízes finas observou-se o maior teor. A maioria das raízes finas pode ter sido formada após a indução da deficiência (61 dias após transplântio). Como nas plantas normais os maiores teores de B foram encontrados nas raízes grossas ou finas, constata-se que as plantas deficientes apresentaram um possível efeito adaptativo ao meio, havendo, possivelmente, translocação do B das raízes grossas para as finas. Outros fatos que corroboram com a hipótese são: a pequena diferença entre os teores de B das seções de raízes das plantas deficientes e normais, e o longo período entre a indução (61 dias após o transplântio) e a coleta final do experimento (464 dias após indução), além da menor diferença percentual entre o teor de B das raízes finas normais e deficientes (-23,6%) quando comparado com as percentagens obtidas nas raízes médias normais e deficientes (-26,7%), assim como nas raízes grossas (-29,6%).

As raízes finas, por serem as principais responsáveis pela absorção de nutrientes pelo coqueiro (Passos, 1998), possivelmente, possuem maior atividade metabólica, o que exigiria mais B, dentre outros nutrientes. Nas raízes grossas, mais lignificadas, parte do nutriente pode ter se acumulado nas paredes celulares, se ligando com a pectina (Kobayashi et al., 1996; Ishii e Matsunaga, 1996; Fleischer et al., 1998) e uma certa quantidade de B estaria livre para ser translocado. Dannel et al. (2000) encontraram resultados mostrando que o B ligado à parede celular de plantas de girassol não é totalmente imóvel, uma vez que aproximadamente 28% do B inicialmente presente na parede celular foi trocado ou liberado após três horas de omissão do B da solução nutritiva, o restante ficando aderido. Outro fato que corrobora com a hipótese de translocação de B é a existência em raízes de um *pool* de reserva de B. Em

girassol submetido ao baixo fornecimento de B ( $0,01 \text{ umol L}^{-1}$ ), do total de B nas raízes ( $64,1 \text{ nmol g}_{\text{mf}}^{-1}$ ), 67, 4,4, e 27,9% do B estavam alocados na parede celular, no vacúolo e no citossol, respectivamente, ocorrendo troca de B entre estes compartimentos, porém 29 e 283 vezes mais lenta na parede celular do que no vacúolo e no citossol, respectivamente (Pfeffer et al., 2001).

Os teores de N, P, K, Cu e Zn foram maiores nas raízes das plantas deficientes de B (Quadro 4). Encontraram-se os maiores teores de Mg, S e Cu nas raízes finas das plantas deficientes de B (Quadro 4). Possivelmente, a restrição do crescimento radicular imposto pela deficiência de boro tenha favorecido o aumento dos teores dos nutrientes acima mencionados (Quadro 3). Os teores de Ca, Mn e Zn não diferiram entre tratamentos (Quadro 4).

O período de imposição à deficiência de B parece ser importante para reduzir, de fato, a absorção de outros nutrientes. Camacho-Cristóbal et al. (2005) verificaram que plantas de *Nicotiana tabacum* L. (tabaco), cultivadas em solução nutritiva sem B durante sete dias consecutivos, diminuíram o teor radicular de B e não houve significativa alteração nos teores radiculares de P, K, Ca, Mg. Os demais nutrientes não foram avaliados.

Plantas de *Pinus banksiana* impostas ao nível adequado de B na solução nutritiva e a níveis tóxicos não apresentaram alteração dos teores dos nutrientes Ca, P, K, Mg e S nas raízes, caules e acículas. Dos demais nutrientes, apenas o B foi avaliado, este apresentou, como esperado, teores elevados sob toxidez, principalmente nas acículas, onde promoveu injúrias (Apostol e Zwiazek, 2004). Os autores não descreveram se houve sintomas de toxidez nas raízes.

As raízes, quando comparadas com as folhas, de maneira geral, apresentam menores teores de B (Dechen e Nachtigall, 2006; Apostol e Zwiazek, 2004). Possivelmente, a demanda metabólica, nos processos que envolvem o B, nas raízes seja menor, quando comparado com as folhas. De qualquer forma, tem sido demonstrado que a deficiência de B inibiu o crescimento radicular de uma série de culturas (Hu et al., 1997; Belvins e Lukaszewski, 1998; Yeh et al., 2000; Viégas et al., 2004).

Os nutrientes N, P, Ca, Mg, S, Cu, Fe e Zn apresentaram maior teor nas raízes finas que nas grossas. Possivelmente, essas raízes são metabolicamente mais ativas, promovendo maior demanda pelos nutrientes anteriormente mencionados. Como já discutido, a absorção de nutrientes pelo coqueiro, em sua

grande parte, ocorre nas raízes finas (Passos, 1998), a absorção de nutrientes por raízes de primeira ordem é baixa, ficando restrita à região localizada atrás da coifa (Frémond et al., 1975).

Dos nutrientes avaliados, o K apresentou teor mais elevado nas raízes grossas que são bastante lenhosas em comparação com as raízes médias e finas. Como o K não faz parte de compostos na planta (Malavolta et al., 1997), mas existe apenas na forma iônica, é facilmente lixiviável do tecido. Como o processo de lavagem das raízes foi intenso, as raízes médias e finas, por apresentarem maior superfície específica, podem ter perdido K para a água em maior quantidade que as raízes grossas.

### **Sintomas Visuais nas Raízes**

As plantas deficientes em B apresentaram os sintomas visuais de deficiência de B nas raízes similares aos descritos na literatura. Segundo Lima Filho e Malavolta (1997), plantas de *Stevia rebaudiana* com deficiência severa de B, apresentando teor de B ao redor de 20 mg kg<sup>-1</sup> nas folhas, mostraram os primeiros sintomas nas raízes, com diminuição do crescimento, engrossamento, ramificação curta, escurecimento geral e necrosamento. Em mamoneira (*Racinus communis* L.), a deficiência de B reduziu, visualmente, a produção de raízes na fase vegetativa (60 dias após a indução), porém ao final do experimento, após a emissão do racemo primário, não houve diferenças entre a matéria seca de raízes das plantas deficientes, bem supridas ou intoxicadas. O autor explica que o volume do recipiente pode ter limitado o desenvolvimento radicular das plantas bem supridas com B (Silva, 2007). Plantas de abóbora (*Curcubita pepo* L.), previamente cultivadas em solução completa foram transferidas para solução sem B e percebeu-se, após 6 horas, clara redução no alongamento radicular e, após 16 horas, paralisação do crescimento. A redução do crescimento radicular foi acompanhada de outros sintomas: elevação do diâmetro e do peso por unidade de comprimento dos ápices radiculares laterais; iniciação de primórdios radiculares laterais sempre no ápice radicular, com desenvolvimento de raízes laterais encurvadas e escurecimento do tecido terminal da raiz (Lovatt et al., 1981).

## 5. CONCLUSÕES

1. A deficiência de boro promoveu menor teor de boro nas raízes de todos os diâmetros, onde os menores teores de B ocorreram nas raízes médias;
2. Encontraram-se os maiores teores de N, P, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe e Mn e Zn nas raízes finas do coqueiro em ambos os tratamentos, mas os teores de K foram maiores nas raízes grossas;
3. A deficiência de boro aumentou os teores de N, P e K em todas as raízes, os teores de Mg, S, Cu e Zn nas raízes finas, mas não afetou os teores de Ca, Fe e Mn;
4. Nas plantas deficientes de boro, a produção de raízes totais e finas foi reduzida em 29,7 e 48,3%, respectivamente;
5. As raízes das plantas deficientes apresentaram engrossamento, ramificação curta e escurecimento geral, pontas necrosadas e superbrotamento.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Apostol, K. G., Zwiazek, J. J. (2004) Boron and water uptake in jack pine (*Pinus banksiana*) seedlings. *Environmental and Experimental Botany* V. 51, 145–153.
- Blevins, D. G., Lukaszewski, K. M. (1998) Boron in plant structure and function. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 49:481–500.
- Brasil, F. C. (2001) Estudos de características radiculares de pastagens de *Brachiaria humidicola* com auxílio de análise de imagens. (Dissertação de Mestrado) Seropédica, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 137p.
- Broschat, T. K. (2005) Boron Deficiency in Palms. University of Florida, Ifas Extension. Disponível em: <http://edis.ifas.ufl.edu>.
- Cakmak, I., Kurz, H., Marschner, H. (1995) Short-term effects of boron, germanium and high light intensity on membrane permeability in boron deficient leaves of sunflower. *Physiol. Plantarum*, v.95, p.11-18.
- Camacho-Cristóbal, J. J., Maldonado, J. M., Gonzalez-Fontes, A. (2005) Boron deficiency increases putrescine levels in tobacco plants. *Journal of Plant Physiology*, V. 162, 921-928.

- Cintra, F. L. D., Fontes, H. R., Leal, M. de L da S. (1996) Distribuição do sistema radicular do coqueiro gigante do brasil submetido a diferentes sistemas de manejo do solo. *R. bras. Ci. Solo*, Campinas, 20:327-332.
- Dannel, F., Pfeffer, H., Romheld, V. (2000) Characterization of root boron pools, boron uptake and boron translocation in sunflower using the stable isotopes <sup>10</sup>B and <sup>11</sup>B. *Aust J Plant Physiol* 27: 397–405.
- Dechen, R. A., Nachtigall, G. R. (2006) Micronutrientes. *In: Fernandes, M. S. Nutrição Mineral de Plantas*. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.
- Fabião, A. M. D.; Madeira, M.; Steen, E. (1987) Root mass in plantations of *Eucalyptus globulus* in Portugal in relation to soil characteristics. *Arid Soil Research and Rehabilitation*, v. 1, p. 185-194.
- Fitter, A. H. (1991) Characteristics and functions of root systems. *In: Waisel, Y., Eshel, A., Kafkafi, U. Plant root: the hidden half*. p. 3-22.
- Fleischer A, Titel C, Ehwald R (1998) The boron requirement and cell wall properties of growing and stationary suspension-cultured *Chenopodium album* L. cells. *Plant Physiol* 117:1401–1410
- Freitas, M. S. M. (2006) *Flavonóides e nutrientes minerais em folhas de maracujazeiro amarelo e deficiência de macronutrientes e boro em maracujazeiro doce*. Tese de Doutorado, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 106f.
- Fremond, Y.; Ziller, R.; Lamothe, M. N. (1975) *El Cocotero*. Barcelona: Blume. 236p. Coleccion Agricultura Tropical
- Hu, H. Penn S, G. Lebrilla C, B, Brown, P, H (1997) Isolation and characterization of soluble boron complexes in higher plants. The mechanism of phloem mobility of boron. *Plant Physiol* 113:649–655.
- Hu, H., Brown, P. H. (1994) Localization of boron in the cell walls of squash and tobacco and its association with pectin. *Plant Physiol* .105: 681–689.
- Ishii, T. Matsunaga, T. (1996) Isolation and characterization of a boron rhamnogalacturonan II complex from cell walls of sugar beet pulp. *Carbohydr Res.*, 284: 1–9.
- Jackson, M.L. (1965) *Soil chemical analysis*. New Jersey: Prentice Hall, 498p.
- Kobayashi, M., Matoh, T., Azuma, J. (1996) Two chains of rhamnogalacturonan II are cross-linked by borate-diol ester bonds in higher plant cell walls. *Plant Physiol* 110: 1017–1020
- Kozinka, V. (1991) Uptake and transport of water. *In: Kolek, J. Konzinka, V. Physiology of the Plant Root System*. 1991. Institute of Botany, Slovak Academy of Sciences, Bratislava, Czechoslovakia. p130-202.

- Libardi, P.L. (1995) *Dinâmica da água no solo*. Piracicaba : Libardi. 497p.
- Lima Filho, O. F. ; Malavolta, E. (1997) Sintomas de desordens nutricionais em estêvia [*Stevia rebaudiana* (Bert.) Berton]. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 54, n. 1/2, p. 53-61.
- Lovatt, C. J., Albert, L. S. e Tremblay, G. C . (1981). Synthesis salvage, and catabolism of uridine nucleotides in boron-deficient squash roots. *Plant Physiology*, 68, 1389-1394.
- Macêdo, J. L. V. de, Gasparoto, L., Cunha, R. N. V. da, . Deficiência de Boro em Coqueiro – Sintomas e Correção Instruções Técnicas. N°4, p 1-3.
- Malavolta, E., Vitti, G.C., Oliveira, S.A. de. (1997) *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. 2.ed. Piracicaba: POTAFOS, 319p.
- Match T, Ishigaki K, Ohno K, Azuma J (1993) Isolation and characterization of a boron-polysaccharide complex from radish roots. *Plant Cell Physiol* 34: 639–642
- Mirisola Filho, L. A. (1997) *Avaliação do estado nutricional do coqueiroanão (Cocos nucifera L.) na região Norte Fluminense*. 1997. 57f. Dissertação (Mestrado)-Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes.
- Moreira, F. M. S., Siqueira, J. O. (2002) *Microbiologia e bioquímica do solo*. Lavras, Universidade Federal de Lavras. 652p.
- Neves, O. S. C.; Sá, J. R. de, Carvalho, J. G. de. (2004) Crescimento e sintomas visuais de deficiências de micronutrientes em umbuzeiros. *Rev. Bras. Frutic.*, Jaboticabal - SP, v. 26, n. 2, p. 306-309.
- Passos, E. E. M. (1998) Morfologia do coqueiro. In: Ferreira, J.M.S.; Warwick. D.R.N.; Siqueira, L.A.. (Org.). *A cultura do coqueiro no Brasil*. 2 ed. Brasília: Embrapa-SPI, v. , p. 57-64.
- Pfeffer, H., Dannel, F., Römheld, V. ( 2001) Boron compartmentation in roots of sunflower plants of different boron status: A study using the stable isotopes B10 and B11 adopting two independent approaches. *Physiologia Plantarum*. V 113: 346–351
- Pinho, L. G. da R. (2004) *Controle da mancha anelar dos frutos de coqueiro anão verde no noroeste do Estado do Rio de Janeiro: Efeitos da aplicação de ácido bórico*. (Tese de Mestrado) - Campos dos Goytacazes - RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF. 44f.
- Russel, R. S. (1981) Plant Root Systems - their function and interaction with the soil. In: Symposium on the Soil / Root System, 1981, Londrina. Proceedings... Londrina: Instituto Agrônômico do Paraná - IAPAR.

- Santos, A. L. dos, Monnerat, P. H., Alves, E. A. B. (2003) Teor foliar de boro em função da aplicação de bórax na axila foliar de coqueiro anão verde no Norte Fluminense. *Pesquisa Agropecuária e Desenvolvimento Sustentável*. Niterói, v.1, n. 2, p. 165-171.
- Silva, D. H. da. (2007) *Boro em mamoneira: Aspectos morfológicos e fisiológicos relacionados à deficiência e toxicidade*. (Dissertação de Mestrado) Piracicaba, SP. Universidade de São Paulo - Centro de Energia Nuclear na Agricultura.
- Sobral, F. L. (1998) Nutrição e adubação do coqueiro. In: Ferreira, J. M. S.; Warwick, D. R. N.; Siqueira, L. A., (Eds.) *A cultura do coqueiro no Brasil*. Aracaju: EMBRAPA-SPI, p. 129-157.
- Viégas, I. de J. M.; Thomaz, M. A. A., Silva; J. F. da, Conceição, H. E. O. da; Naiff, A. P. M. (2004) Efeito da omissão de macronutrientes e boro no crescimento, nos sintomas de deficiências nutricionais e na composição mineral de plantas de camucamuzeiro. *Rev. Bras. Frutic.*, Jaboticabal - SP, v. 26, n. 2, p. 315-319.
- Witschoreck, R., Schumacher, M. V., Caldeira, M. V. W. (2003) Estimativa da biomassa e do comprimento de raízes finas em *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake no município de Santa Maria-RS. *Rev. Árvore*. v.27 n.2.
- Yeh, D.M., Lin, L., Wright, C.J. (2000) Effects of mineral nutrient deficiencies on leaf development, visual symptoms and shoot-root ratio of *Spathiphyllum*. *Scientia Horticulturae*, v.86, p.223-233.
- Zonta, E., Brasil, F. da C., Goi, S. R., Rosa, M. T. da. (2006) O sistema radicular e suas interações com o ambiente edáfico. In: Fernandes, M. S. *Nutrição Mineral de Plantas*. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.

## EFICIÊNCIA DE DUAS FORMAS DE APLICAÇÃO DE ÁCIDO BÓRICO EM COQUEIRO ANÃO VERDE

### RESUMO

Não se tem informações sobre a distribuição foliar do boro em plantas de coqueiro que receberam ácido bórico via solo ou na axila foliar. Neste contexto, neste experimento objetivou-se verificar se ocorre distribuição de boro entre as folhas de coqueiro quando a aplicação de ácido bórico é realizada na axila foliar e no solo. O experimento teve três tratamentos: 30g de ácido bórico aplicados na axila da folha número 10, 60g de ácido bórico aplicados no solo, e um controle, sem aplicação de ácido bórico. Fizeram-se duas aplicações com um intervalo de cinco meses. A unidade experimental constou de duas plantas com seis repetições, em delineamento inteiramente casualizado. Determinou-se o teor de boro nas folhas 2, 6, 10, 14 e 18. Realizaram-se as amostragens dois e quatro meses após a primeira aplicação de ácido bórico e dois e cinco meses após a segunda aplicação. Com os resultados foi possível concluir que ocorre absorção de boro e sua redistribuição na planta quando este é fornecido no solo ou na axila e que a elevação do teor de boro nas folhas persistiu por mais tempo quando a aplicação foi feita no solo.

**Termos de indexação:** filotaxia do coqueiro, nutrição mineral, teor foliar de boro.

## EFFICIENCY OF TWO METHODS OF APPLICATION OF BORIC ACID TO GREEN DWARF COCONUT TREE

### ABSTRACT

There is not report about the distribution of boron in leaves of coconut plants that have received boric acid on the soil or in the axil of the leaf. In this context, an experiment was aimed at to verify if it happens boron distribution among the coconut tree leaves when the application of boric acid is accomplished in the axil of a leaf or in the soil. The experiment had three treatments, 30g of boric acid applied to the axil of leaf number 10, 60g of boric acid applied to the soil, and a control, with no boric acid application. Two applications were done with a five month interval. The experimental unity had two plants with six replicates, in a randomized design. Boron concentration was determined in leaves number 2, 6, 10, 14 and 18. Leaf samplings were taken two and four months after the first application of  $H_3BO_3$  and two and five months after the second application of  $H_3BO_3$ . Boron absorption and redistribution in the plant occurred when boric acid was supplied to the soil or to the leaf axil, and the increase in boron concentration in the leaves persisted for more time when boric acid was applied to the soil.

**Key words:** Phylotaxy of the coconut tree, mineral nutrition, boron leaf concentration.

### 1. INTRODUÇÃO

O cultivo de coqueiro anão verde tem se expandido no Brasil, alcançando regiões mais centrais no país (Jucá et al., 2002; Ramos et al., 2004). Porém, as áreas plantadas predominantes são formadas por solos arenosos e, conseqüentemente, com baixa fertilidade natural (Fontes et al., 1998).

Segundo Malavolta (2006), dentre os micronutrientes, os que mais tem limitado as produções no Brasil são boro e zinco. A deficiência de boro em coqueiro na Região Norte do Estado do Rio de Janeiro foi constatada por Mirisola Filho (1997) e Santos et al. (2003). Para a correção da deficiência de boro em coqueiro recomenda-se a aplicação de 30 g de bórax na axila (espaço entre a bainha e o estipe) da folha 4 em plantas jovens; em plantas adultas, o bórax pode ser misturado com outros fertilizantes e aplicado no solo (Sobral, 1998). Santos et al. (2003) verificaram que o fornecimento de 30 g de bórax, dividido em duas aplicações de 15 g, nas axilas das folhas 2, 3 e 4, promoveu a emissão de folhas normais em plantas de coqueiro anão verde que apresentavam epinastia e deformações nas folhas novas, sintomas atribuídos à deficiência de boro (Sobral, 1998; Macêdo et al., 1999; Broschat, 2005). Santos et al. (2003) verificaram que o teor de boro foliar, em coqueiro anão verde, aumentou linearmente em resposta às aplicações de doses de bórax nas axilas das folhas 2, 3 e 4, nas análises feitas 3 e 4 meses após a segunda e terceira aplicações, respectivamente. Após seis meses da segunda aplicação de bórax na axila foliar, não foi observado efeito das doses sobre o teor de boro nas folhas; segundo os autores, o boro pode ser móvel em coqueiro.

A aplicação de boro em coqueiro jovem promoveu a emissão de folhas normais, porém não corrigiu o sintoma em folhas já afetadas pela deficiência de boro (Santos et al., 2003). Assim, para se reduzir possíveis quedas na produtividade, o manejo da adubação com boro deve ser realizado de forma a prevenir a deficiência, evitando a formação de folhas anormais.

A aplicação de fertilizantes na axila foliar de coqueiro em fase de produção é difícil e demorada, uma vez que as plantas são altas. Aplicando-se o fertilizante na axila de folhas novas, como realizado por Santos et al. (2003), espera-se que o boro se distribua para as folhas mais velhas no coqueiro, uma vez que com as precipitações o micronutriente pode ser dissolvido e carregado para folhas mais velhas. Como a filototaxia do coqueiro é em espiral (Frémond et al., 1966), e a bainha de uma folha recobre parte da bainha da folha imediatamente mais nova que a primeira, o boro pode ser absorvido em várias axilas. O coqueiro anão emite, aproximadamente, uma folha por mês (Ramos et al. 2004). As folhas são dispostas alternadamente formando um ângulo de, aproximadamente, 144 graus entre uma folha e a folha subsequente (Figura 1).

Conseqüentemente, se um observador enumerar a folha mais nova como 1, ele dará 2 voltas na espiral e contará 5 folhas até encontrar a folha 6. Neste caso, a folha 4, por exemplo, encontra-se acima e um pouco para a direita ou esquerda (dependendo da posição do espiral, sentido horário ou anti-horário) da folha 9 e esta encontra-se também acima e lateralmente à folha 14 (texto adaptado de Mirisola Filho, 2002).

A deficiência de boro foi diagnosticada em coqueiro adulto (Macêdo et al., 1999), bem como em outras plantas da família *Arecaceae* (Broschat, 2005). Mesmo que se consiga aplicar boro no ponto de crescimento, a aplicação em uma axila de folha mais velha pode ser interessante, se o boro for absorvido e se distribuir atingindo pontos em crescimento.

Pinho (2004) aumentou os teores de boro na folha 14 e elevou a produtividade de plantas de coqueiro anão verde adultas através do fornecimento de ácido bórico no solo e na axila da folha 10. Apesar de a adubação com boro ter permitido a emissão de folhas normais (Santos et al., 2003) e incrementado a produtividade (Pinho, 2004), não se tem informações sobre a eficiência dos métodos de aplicação na distribuição de boro entre as folhas do coqueiro.

Em solos arenosos, a deficiência de boro pode ocorrer devido ao micronutriente ter relativa facilidade de lixiviação (Malavolta, 2006). Em solos de textura média a argila, a adsorção de boro deve ser a principal causa da deficiência. Vários fatores influenciam na adsorção de boro no solo, sendo estes o incremento no teor de matéria orgânica, do pH, do teor de óxidos de ferro e de alumínio (Alleoni e Camargo, 2000; Valadares et al., 1998). Entretanto, até mesmo em pH menor que neutro ocorre adsorção.

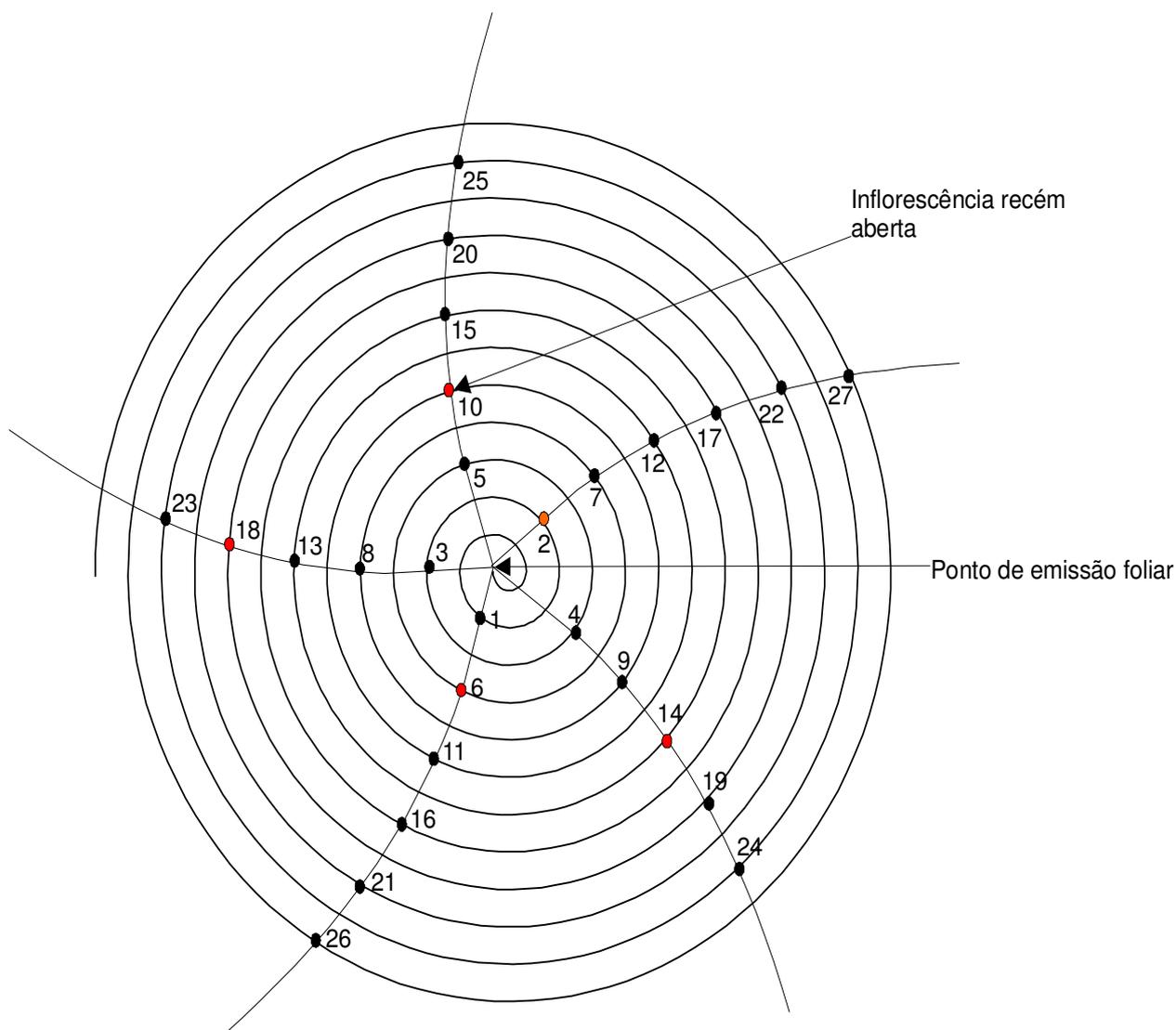


Figura 1. Posição esquemática das folhas do coqueiro no plano. Os pontos em vermelho representam as folhas amostradas. Adaptado de Frémond et al. (1966).

Segundo Hu e Brown (1997), a transpiração parece ser o fator mais importante que governa a absorção de boro. Segundo esses autores, a absorção ocorre principalmente quando o boro encontra-se na solução do solo, na forma não dissociada de ácido bórico,  $H_3BO_3$ ,  $pK_a = 9,25$ ;  $25^\circ C$ . De acordo com Dorbas et al. (2000), a absorção de boro é realizada em parte por difusão passiva pela dupla camada lipídica e, possivelmente, por canais.

Neste trabalho, objetivou-se verificar se ocorre distribuição de boro entre as folhas de coqueiro quando a aplicação de ácido bórico é realizada na axila foliar e no solo.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado na fazenda Taí Agropecuária, localizada no município de Campos dos Goytacazes, Estado do Rio de Janeiro. As plantas, na data da instalação, 06 de maio de 2003, tinham, aproximadamente, cinco anos de idade. O solo da área experimental é classificado como Neossolo Quartzarênico (EMBRAPA, 2006). A área experimental representa bem as condições edafoclimáticas das áreas de cultivo do coqueiro anão no Norte Fluminense. Esta região é uma das mais importantes produtoras de coqueiro anão verde no Estado do Rio de Janeiro.

Antes da instalação do experimento, amostrou-se o solo, na linha de plantio, nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 cm (Quadros 1 e 2). Os métodos de análises utilizados foram propostos por EMBRAPA (1997) e EMBRAPA (1999), para análise física e química, respectivamente.

Quadro 1. Teores de P, K, Ca, Mg, Al, H+Al, Na, C e matéria orgânica e os valores de pH, SB, T, t, m e V, do solo nas três profundidades amostradas.

Profundidade cm	pH	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	Na	C	MO	SB	T	t	m	V
		mg dm <sup>-3</sup>	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	g dm <sup>-3</sup>	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>										
0-20	4,8	15,0	0,43	11	2,0	8,0	72	0,50	18,9	32,6	14,0	86,0	22,0	36	16
20-40	5,0	15,0	0,18	14	1,0	5,0	64	0,90	17,1	29,5	16,0	80,0	21,0	24	20
40-60	5,1	11,0	0,13	8	1,0	3,0	34	0,40	7,3	12,6	10,0	44,0	13,0	24	22

SB: soma de bases; T: CTC a pH 7,0; t: CTC efetiva; m: Saturação por alumínio; V: saturação por bases; MO: matéria orgânica.

Quadro 2. Teores de B, Cu, Fe, Mn, Zn e S, condutividade elétrica na pasta saturada e composição granulométrica do solo nas três profundidades amostradas.

Profundidade cm	B	Cu	Fe	Mn	Zn	S	C.E.	areias				silte	argila
								grossa	média	fina	total		
								mg dm <sup>-3</sup>					
0-20	0,35	1,4	35	1,0	0,4	37,7	198	90	300	320	710	90	200
20-40	0,20	0,8	35	1,0	0,1	30,0	148	110	270	330	710	80	210
40-60	0,24	0,4	22	0,2	0,2	21,8	160	110	430	380	920	0	80

C.E.: condutividade elétrica.

Empregou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado com seis repetições e duas plantas por unidade experimental. Os tratamentos constaram de duas formas de aplicação de ácido bórico (17% de boro em pó): 30 g planta<sup>-1</sup> de H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> na axila da folha 10; 60 g planta<sup>-1</sup> de H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>, aplicados no solo; e um tratamento testemunha, sem adição de boro. Realizaram-se as aplicações de ácido bórico em 06 de maio e em 03 de outubro de 2003.

Amostraram-se as folhas 2, 6, 10, 14 e 18, dois e quatro meses após a primeira aplicação, e dois e cinco meses após a segunda aplicação (Quadro 3), retirando-se do centro das folhas anteriormente citadas, 10 cm da parte mediana de seis folíolos, três de cada lado da folha. Em todas as amostragens, os folíolos foram acondicionados em sacos de papel tipo *Kraft*; no laboratório passaram por limpeza com algodão embebido em água desionizada e, após retirada da nervura central, foram secos em estufa de circulação forçada de ar a 75°, durante 48 horas, posteriormente moídos em moinho tipo *Wiley*, com peneira de 30 *mesh*, e acondicionados em recipientes hermeticamente fechados. Em todas as amostragens determinou-se o teor de boro após submeter 250 mg do tecido vegetal à digestão seca; à cinza adicionou-se 10 ml de HNO<sub>3</sub> (1:60) e, após homogeneização e centrifugação, determinou-se o teor de B no sobrenadante, pelo método da Azometina-H (Malavolta et al., 1997, modificado por Monnerat et al.<sup>6</sup>).

A área foi irrigada por microaspersão e fertirrigada diariamente com uréia e cloreto de potássio, aplicando 70% da recomendação da EMBRAPA (Sobral, 1998). O controle de ácaros foi realizado com a aplicação do acaricida Carbosulfan, e o de plantas daninhas, com glifosato na projeção da copa e com roçadeira tratorizada nas entrelinhas.

Os dados foram submetidos à análise de variância e teste de Tukey a 5% de probabilidade. As médias foram plotadas em gráfico acompanhadas do erro padrão da média.

---

<sup>6</sup> Notas das aulas da disciplina: Nutrição Mineral de Plantas-LFIT-CCTA-UENF

Quadro 3. Alteração na posição relativa das folhas do coqueiro anão em função das épocas de aplicação de ácido bórico e das amostragens foliares. Campos dos Goytacazes, RJ. 2007.

	Meses	Folhas																												
1ª Ap	0	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1ª Col	2	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
2ª Col	4	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
2ª Ap	5	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
3ª Col	7	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
4ª Col	10	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28

Legenda: As folhas em vermelho foram as que receberam boro na axila. As folhas em negrito foram amostradas. O sinal negativo indica folhas que estão para serem emitidas; a folha zero é a folha flecha (folha exposta e totalmente fechada) e as demais são folhas já emitidas. Os números nas colunas indicam a mesma folha em diferentes estádios de desenvolvimento. Ap.: aplicação de  $H_3BO_3$ ; Col: coleta.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aplicação de ácido bórico no solo aumentou o teor de B em todas as folhas amostradas (Figura 2A), indicando que o boro absorvido pelas raízes seguiu pelo xilema até as folhas por meio do fluxo transpiratório e da pressão radicular. Quando o ácido bórico foi aplicado na axila da folha, inicialmente apenas a folha 10 teve o teor de B aumentado significativamente (Figura 2A). Como o coqueiro emite aproximadamente uma folha mensalmente (Frémond et al., 1975; Ramos et al., 2004), a folha 10 amostrada era a folha 8 na ocasião da aplicação (Quadro 3) e se situava ao lado e acima da folha que recebeu ácido bórico (Figura 1). A maior acumulação de boro nas folhas do coqueiro quando a aplicação foi via solo pode ser atribuída à maior eficiência de absorção de B via radicular, como também, à maior dose de ácido bórico aplicada. Nesta primeira coleta, os teores de boro nas folhas do tratamento testemunha foram relativamente altos (Figura 2A), possivelmente, devido à amostragem ter sido realizada durante um período de temperatura média mais baixa e dias mais curtos, contribuindo para uma menor taxa de crescimento das plantas, o que pode ter provocado o acúmulo de B nas folhas. Segundo Child (1964), períodos curtos

de temperaturas baixas, que não provocam pontos de congelamento, podem não fazer danos consideráveis, mas causam uma parada repentina no desenvolvimento do coqueiro.

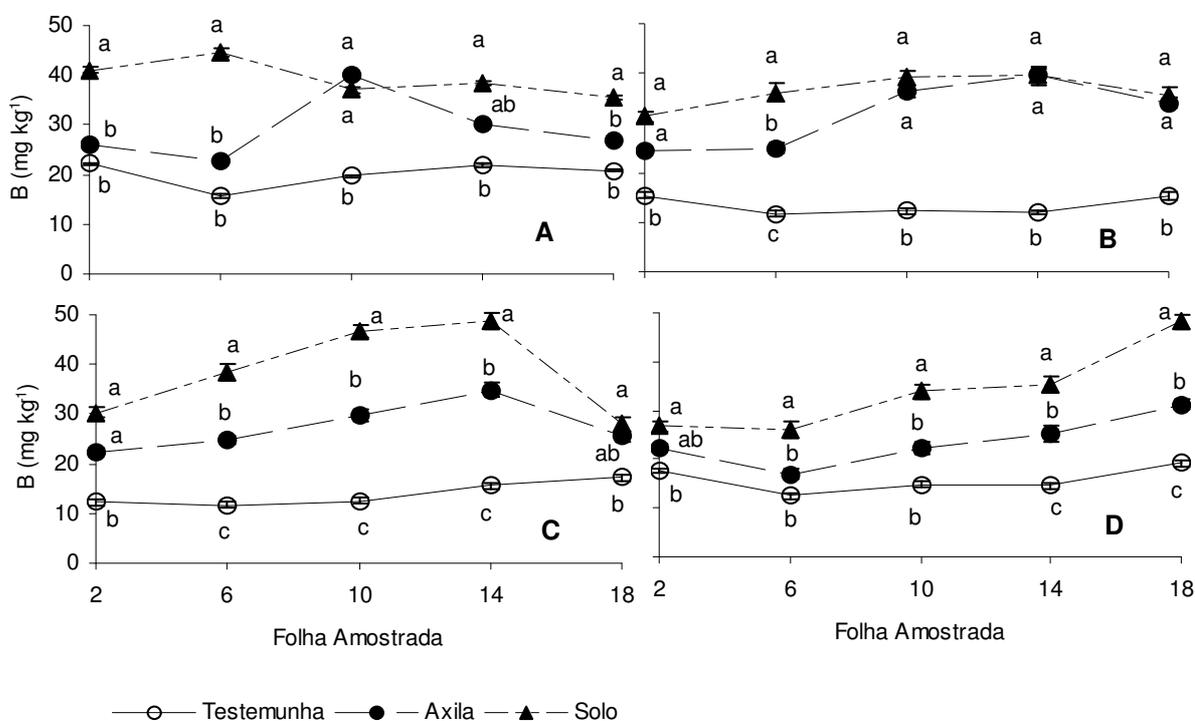


Figura 2. Teor de boro na matéria seca das folhas 2, 6, 10, 14 e 18 de coqueiro anão verde, em resposta às aplicações de ácido bórico na axila da folha 10 ( $30 \text{ g planta}^{-1}$ ) e no solo ( $60 \text{ g planta}^{-1}$ ), A e B (amostragens aos 2 e 4 meses após a 1ª aplicação) e C e D (amostragens aos 2 e 5 meses após a 2ª aplicação, realizada 5 meses após a 1ª aplicação). Campos dos Goytacazes, 2007.

Na segunda coleta, decorridos quatro meses da primeira aplicação de ácido bórico, todas as folhas amostradas das plantas fertilizadas com boro apresentaram teores mais elevados do micronutriente (Figura 2B). No tratamento aplicado na axila foliar, todas as folhas apresentaram teores de boro superiores aos das plantas do tratamento testemunha, quais sejam as localizadas acima (folhas 2, 6 e 10), abaixo (folha 18) e no ponto de aplicação (folha 14, folha 10 quatro meses atrás) do ácido bórico na axila (Quadro 3), (Figura 2B). O teor de boro na folha 10, no tratamento B via axila, não diferiu, estatisticamente, do teor encontrado na folha 10 das plantas que receberam a aplicação de ácido bórico no

solo. A folha 10, na segunda coleta, era a folha 6 na data da primeira aplicação de boro (Quadro 3). Esta folha se localizava acima e do lado oposto à folha que recebeu boro na sua axila (Figura 1). O teor de boro na folha 14, que era a folha que recebeu boro quatro meses atrás (Quadro 3), encontrava-se próximo do teor das folhas 10 e 18, situadas na face oposta da estipe (Figura 1). É necessário considerar que as bainhas das folhas mais novas encontram-se envolvidas parcialmente pelas bainhas das folhas mais velhas, de tal sorte que quando se aplica ácido bórico na bainha da folha 10, as bainhas das folhas 9 e 8 são também atingidas.

Na terceira coleta, efetuada dois meses após a segunda aplicação de ácido bórico, as folhas 6, 10 e 14 das plantas que receberam boro via solo apresentaram teores de boro maiores que as mesmas folhas do tratamento B via axila e testemunha. A tendência de aumento do teor de boro nas folhas acima do ponto de aplicação continuou (Figura 2C e Quadro 3). Os teores de boro nas folhas das plantas fertilizadas com ácido bórico não se elevaram suficientemente para causar toxidez, revelando que o coqueiro pode ser adubado com boro utilizando-se intervalos relativamente curtos. Pinho (2004) aplicou as doses de 80 g por planta e 40 g por planta de ácido bórico, respectivamente no solo e na axila do coqueiro anão verde, com intervalo de quatro meses, e as plantas não apresentaram sinais de toxidez.

Na quarta amostragem foliar, realizada cinco meses após a segunda aplicação de ácido bórico (Figura 2D), os teores de boro nas plantas que receberam a aplicação no solo foram, em geral, maiores que os obtidos nas plantas dos tratamentos testemunha e B via axila, revelando efeito persistente do boro aplicado no solo ao longo do período experimental. Nas plantas que receberam ácido bórico na axila, somente as folhas 14 e 18 apresentaram teores de boro significativamente superiores aos encontrados no tratamento testemunha.

Quando as aplicações de ácido bórico são realizadas no solo, espera-se uma distribuição de boro preferencial às folhas que mais transpiram na planta as quais apresentariam, então, maior teor (Figuras 2 B, C e D). Entretanto, no tratamento testemunha, o teor de B manteve-se relativamente uniforme nas folhas amostradas. Vale ressaltar que a folha 2, das coletas 1 e 3, era a folha flecha na época das aplicações foliares e a folha 2 das coletas 2 e 4 não era visível na época das aplicações foliares (Quadro 3).

Para que o boro aplicado na axila da folha número 10 chegue às folhas localizadas acima, as seguintes possibilidades surgem: a) absorção direta pela bainha das folhas envoltas pela bainha da folha 10; b) entrada nos vasos do xilema do estipe e sua translocação para as folhas superiores seguindo a corrente transpiratória ou a pressão radicular e c) translocação pelo floema. Para que o boro chegue às folhas inferiores, duas possibilidades podem ser aventadas: a) carreamento do ácido bórico da bainha da folha 10 para a bainha de folhas inferiores e b) translocação pelo floema.

O boro é um micronutriente considerado de baixa mobilidade no floema (Marschner, 1995; Malavolta, 2006; Dannel et al., 2000) na maioria das espécies. Entretanto, em espécies que apresentam produção apreciável de açúcares "itóis" (manitol, sorbitol, dulcitol e outros) o boro é considerado um micronutriente de mobilidade intermediária (Marschner, 1995). O boro existente na planta está ligado à parede celular, contido no vacúolo, no citosol e no espaço livre aparente, havendo intercâmbio de boro entre esses compartimentos (Pfeffer et al., 2001). O boro ligado à parede celular é considerado muito pouco móvel (Pfeffer et al. 2001), embora Dannel et al. (2000) tenham demonstrado que em girassol, aproximadamente, 28% do boro ligado à parede celular foi trocado ou liberado após três horas de omissão do B da solução nutritiva. Vale ressaltar que o girassol é uma planta em que o boro é de muito baixa mobilidade, sendo utilizado como indicadora de deficiência desse micronutriente (Marschner, 1995; Malavolta, 2006).

O boro contido no espaço livre aparente é muito dependente da disponibilidade de B no meio e é a forma passível de ser translocada (Pfeffer et al. 2001). Em coqueiro, não foram encontrados dados sobre a produção de "itóis", entretanto, Santos et al. (2003) sugeriram que o boro seja móvel em coqueiro anão.

A aplicação de ácido bórico no solo, para prevenir ou corrigir deficiência de boro em coqueiro, mostrou ser um método eficiente, embora esse micronutriente seja considerado facilmente lixiviável no solo (Malavolta, 2006). Quaggio et al. (2003), também, obtiveram incrementos de 5,5 vezes no teor foliar e elevação da produtividade da laranjeira quando se aplicou boro em um Latossolo Vermelho-Escuro de textura média, ácido e de baixa fertilidade natural, na dose de 34,3 kg de ácido bórico por hectare (6 kg de B), aproximadamente 84

g de  $\text{H}_3\text{BO}_3$  planta<sup>-1</sup>. Latossolos são altamente intemperizados e naturalmente ácidos, possuindo altos teores de óxidos, que são comumente citados como adsorventes de B. Trabalhos realizados por Hu e Brown (1997), Goldberg e Glaubig (1985) e Yermiyahu et al. (1995) mostram que, em pH variando de 7,0 a 9,0 há um aumento da concentração de borato ( $\text{H}_4\text{BO}_4^-$ ), que possui maior afinidade com os óxidos de ferro, de alumínio e matéria orgânica. Porém, nesses mesmos artigos, notou-se adsorção mesmo em pH baixo. Em trabalhos com isotermas de adsorção, têm-se demonstrado que a adsorção de boro aumenta com as quantidades adicionadas ao solo, ao passo que, a percentagem adsorvida em relação à quantidade adicionada diminui com o aumento da concentração de B na solução de equilíbrio (Azevedo et al., 2001; Alleoni e Camargo, 2000). As plantas respondem diretamente à atividade de boro na solução do solo e indiretamente ao boro adsorvido aos constituintes do solo (Goldberg, 1997). Assim, parece ser recomendável à aplicação de boro no solo, de forma a garantir a presença do micronutriente na solução do solo.

Neste experimento, a classe textural das camadas de solo de 0-20 e 20-40 cm é franco arenosa e de 40-60 cm é areia. Neste solo, apesar da predominância de areia, a aplicação de boro no solo mostrou-se mais eficiente que a aplicação na axila foliar, indicando que a lixiviação não deve ter ocorrido em grau apreciável.

Segundo Yamada (2000), dois consagrados dogmas impedem a aplicação de doses de boro maiores que as atualmente praticadas: a estreita faixa entre a deficiência e a toxicidade de boro na planta e a facilidade de lixiviação do boro. Este trabalho vem a somar para o questionamento destes dogmas.

#### 4. CONCLUSÕES

1. A aplicação de boro no solo mostrou-se eficiente no fornecimento de boro às plantas e seu efeito no aumento do teor foliar de B foi persistente;
2. A aplicação de ácido bórico na axila da folha 10 promoveu incrementos no teor de boro em folhas localizadas acima e abaixo do ponto de aplicação;

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alleoni, L. R. F., Camargo, O. A. (2000) Boron adsorption in soils from the state of São Paulo, Brazil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. V.35, n.2, p.413-421.
- Azevedo, W. R., Faquin, V. Fernandes, L. A. (2001) Adsorção de boro em solos de várzea do Sul de Minas Gerais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 36, n. 7, p. 957-964, jul.
- Broschat, T. K. (2005) Boron Deficiency in Palms. University of Florida, Ifas Extension. Disponível em: <http://edis.ifas.ufl.edu>.
- Dannel, F., Pfeffer, H., Römheld, V. (2000) Characterization of root boron pools, boron uptake and boron translocation in sunflower using the stable isotopes <sup>10</sup>B and <sup>11</sup>B. *Aust J Plant Physiol* 27: 397–405.
- Dordas, C., Chrispeels, M. J., Brown, P. H. (2000) Permeability and channel-mediated transport of boric acid across membrane vesicles isolated from squash roots. *Plant Physiology*. Vol. 124, pp. 1349–1361.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (1999). *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes* / Embrapa Solos, Embrapa Informática Agropecuária; organizador Fábio Cesar da Silva. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia.
- Frémond, Y., Ziller, R., Nuce de Lamothe, M. de. (1996) The coconut palm. Berna: Instituto Internacional do Potássio, 222p.
- Goldberg, S. (1997) Reactions of boron with soils. *Plant and Soil*. 193: 35–48.
- Goldberg, S. and Glaubig, R. A. (1985) Boron adsorption on aluminum and iron oxide minerals. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49, 1374–1379.
- Hu, H., Brown, P. H. (1997) Absorption of boron by plant roots. *Plant and Soil*, 193: 49-50.

- Jucá, M. P.; Gaíva, H. N.; Pereira, W. E.; Mileski, A. (2002) Comportamento Vegetativo de Seis Cultivares de Coqueiroanão (*Cocos nucifera* L.). em Santo Antônio de Leverger – MT. *Rev. Bras. Frutic.*, Jaboticabal - SP, v. 24, n. 2, p. 463-467.
- Macêdo, J. L. V. de, Gasparoto, L., Cunha, R. N. V. da. (1999) Deficiência de Boro em Coqueiro – Sintomas e Correção Instruções Técnicas. N° 4, p 1-3.
- Malavolta, E. (2006) Manual de Nutrição Mineral de Plantas. 1. ed. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, v. 1. 638 p.
- Malavolta, E., Vitti, G. C., Oliveira, S. A. (1997) *Avaliação do estado nutricional das plantas*. Piracicaba: Associação brasileira para pesquisa da potassa e do fosfato. 316p.
- Marschner, H. (1995) *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Second ed. Academic Press, London, 889p.
- Mirisola Filho, L. A. (1997) *Avaliação do estado nutricional do coqueiro anão (Cocos nucifera L.) na região Norte Fluminense*. 1997. 57f. Dissertação (Mestrado)-Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes.
- Mirisola Filho, L. A. (2002) *Cultivo do coqueiro anão*. Viçosa, MG, Aprenda Fácil. 322p.
- Pfeffer, H., Dannel, F., Römheld, V. (2001) Boron compartmentation in roots of sunflower plants of different boron status: A study using the stable isotopes B10 and B11 adopting two independent approaches. *Physiologia Plantarum*. V 113: 346–351
- Pimentel, C. (1998) *Mecanismo do carbono na agricultura tropical*. Seropédica: Edur, 159p.
- Pinho, L. G. da R. (2004) Controle da mancha anelar dos frutos de coqueiro anão verde no noroeste do Estado do Rio de Janeiro: Efeitos da aplicação de ácido bórico. (Tese de Mestrado) - Campos dos Goytacazes - RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF. 44f.
- Quaggio, J. A.; Mattos Junior, D. ; Cantarella, H.; Tank Junior, A. (2003) Fertilização com boro e zinco no solo em complementação à aplicação via foliar em laranja Pêra. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v. 38, n. 5, p. 627-634, maio.
- Ramos, V. H. V.; Pinto, A. C. Q.; Aragão, W. M.; Gomes, A. C.; Junqueira, N. T. V.; Lobato, E.; Oliveira, M. A. S. (2004) Comportamento de Cultivares de Coqueiros Anão e Híbridos no Distrito Federal. *Rev. Bras. Frutic.*, Jaboticabal - SP, v. 26, n. 2, p. 363-365.
- Ruiz, J. M. (2001) Aquaporin and its function in boron uptake. *Trends in Plant Science*. Vol.6 N° 3. pg 95.

- Santos, A. L. (2002) *Estabelecimento de normas de amostragem foliar para avaliação do estado nutricional e adubação mineral do coqueiro anão verde na Região Norte Fluminense*. (Tese de Doutorado) - Campos dos Goytacazes - RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF. 82p.
- Santos, A. L. dos, Monnerat, P. H., Alves, E. A. B. (2003) Teor foliar de boro em função da aplicação de bórax na axila foliar de coqueiro anão verde no Norte Fluminense. *Pesquisa Agropecuária e Desenvolvimento Sustentável*. Niterói, v.1, n. 2, p. 165-171.
- Soares, A. M. (2003) *Influência de nitrogênio, zinco e boro e de suas respectivas interações no desempenho da cultura do milho (Zea mays L.)*. (Dissertação de Mestrado). Piracicaba - SP, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - Universidade de São Paulo.
- Sobral, F. L. (1998) Nutrição e adubação do coqueiro. In: Ferreira, J. M. S.; Warwick, D. R. N.; Siqueira, L. A., (Eds.) *A cultura do coqueiro no Brasil*. Aracaju: EMBRAPA-SPI, p. 129-157.
- Valladares, G. S., Pereira, M. G., Alves, G. C. (1998) Aplicação de duas isotermas de adsorção de boro em solo de baixada do Estado do Rio de Janeiro. *R. Bras. Ci. Solo*, 22:361-365.
- Yamada, T. (2000) Boro: será que estamos aplicando a dose suficiente para o adequado desenvolvimento das plantas? *Informações Agronômicas, POTAFOS*, Nº 90.
- Yermiyahu, U. Keren, R. and Chen, Y. (1995) Boron sorption by soil in the presence of composted organic matter. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59, 405–409.

## 5. RESUMO E CONCLUSÕES

A deficiência de B, se não corrigida a tempo, leva a morte de plantas jovens e adultas de coqueiro. A morte de plantas adultas causadas por deficiência de B pode ser explicada pelo parcial esgotamento do B da rizoregião. A falta de comprovação científica para os sintomas visuais pode ter levado em muitos casos, a não aplicação do micronutriente, ou simplesmente, como o produtor não sabia o que estava ocorrendo com as plantas não procurou assistência. A correção da deficiência de boro pode ser realizada através da aplicação de boro no solo ou na axila foliar. Em pesquisas desenvolvidas na UENF provou-se a eficiência dos métodos na correção dos sintomas de deficiência de boro e, em alguns casos, elevou-se a produtividade. Entretanto não havia informações revelando a eficiência da aplicação de boro na axila ou no solo em relação ao incremento do teor de boro nas distintas folhas da planta. Na tentativa de solucionar parte dos problemas acima mencionados, conduziram-se dois experimentos em Campos dos Goytacazes-RJ, para avaliar os efeitos do boro em coqueiro anão verde. O primeiro experimento foi conduzido em casa de vegetação, com o objetivo de caracterizar os sintomas visuais de deficiência de boro em folhas e raízes, durante as primeiras fases de crescimento da planta, bem como a distribuição de nutrientes nessas partes da planta. Dois tratamentos, +B e - B, foram aplicados como soluções nutritivas a vasos plásticos contendo 90 litros de areia purificada e uma planta de coqueiro, utilizando-se o delineamento experimental inteiramente casualizado, com seis repetições. Foram fotografados os sintomas de deficiência de boro à medida que apareceram. Depois de 406 dias

da imposição dos tratamentos, foram coletadas as seguintes amostras foliares: A) folíolos da parte central de todas as folhas; B) folíolos da parte apical, central e basal da folha número 4; C) folíolos centrais da folha número 4 subdivididos em sete seções. As raízes foram coletadas 464 dias depois da indução da deficiência de boro. Os sintomas visuais de deficiência de boro em folhas de coqueiro foram: folíolos com pontuações translúcidas brancas que se fundem, formando linhas paralelas à nervura central; enrugamento parcial dos folíolos com formato semelhante ao das pontuações e linhas brancas; fendilhamento em forma de V nos folíolos da base da raquis da folha; tamanho reduzido das folhas novas; ausência da folha flecha; necrose no ápice dos folíolos, tendo os folíolos mais afetados dobraduras em forma de sanfona. Ocorreu escurecimento do palmito, apresentando manchas castanhas e necroses profundas nos dois lados do ráquis. A porção do folíolo que melhor respondeu a aplicação de B foi a apical. A relação entre as concentrações de boro no ápice e no centro do folíolo tornou-se uma alternativa promissora na diagnose nutricional de plantas com suspeita de deficiência de boro. Plantas deficientes de B tiveram uma relação em torno de 2, enquanto que plantas bem supridas de B tiveram valores bem maiores. A deficiência de boro aumentou as concentrações de N, P e K, em todas as raízes, as de Mg, S, Cu e Zn, nas raízes mais finas, mas não afetou as concentrações de Ca, Fe e Mn. A deficiência de boro reduziu a massa de raízes totais e finas em 29,7% e 48,3%, respectivamente, e promoveu o engrossamento e escurecimento das raízes; as pontas das raízes necrosaram, causando superbrotamento das raízes e emissão de ramificações curtas. No segundo experimento, realizado de 06/05/2003 a 05/03/2004, objetivou-se verificar a distribuição de boro entre as folhas do coqueiro em resposta às aplicações de ácido bórico na axila da folha 10 e no solo. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com três tratamentos: 30 g de  $H_3BO_3$  aplicados na axila da folha número 10, 60 g de  $H_3BO_3$  aplicados no solo, e um controle, sem aplicação de B, com seis repetições e duas plantas por unidade experimental. O boro distribuiu-se nas diversas folhas do coqueiro em ambas as formas de aplicação do ácido bórico.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alleoni, L. R. F., Camargo, O. A. (2000) Boron adsorption in soils from the state of São Paulo, Brazil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. V.35, n.2, p.413-421.
- Alves, V. M. C.; Pitta, G. V. E.; Coelho, A. M.; França, G. E. de Oliveira, C, A.de (2003) Diagnose Foliar. Comunicado Técnico N°90. Embrapa Milho e Sorgo.
- Apostol, K. G., Zwiazek, J. J. (2004) Boron and water uptake in jack pine (*Pinus banksiana*) seedlings. *Environmental and Experimental Botany* V. 51, 145–153.
- Aroca, R., Tognoni, F., Irigoyen, J. J., Sánchez-Díaz, M., Pardossi, A. (2001) Different root low temperature response of two maize genotypes differing in chilling sensitivity. *A. Plant Physiol. Biochem.* 39 1067-1073.
- Azevedo, W. R., Faquin, V. Fernandes, L. A. (2001) Adsorção de boro em solos de várzea do Sul de Minas Gerais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 36, n. 7, p. 957-964, jul.
- Bassil, E., Hu, H., Brown, P. H. (2004) Use of phenylboronic acids to investigate boron function in plants. Possible role of boron in transvacuolar cytoplasmic strands and cell-to-wall adhesion. *Plant physiology*, October, Vol. 136, pp. 3383–3395, [www.plantphysiol.org](http://www.plantphysiol.org)
- Blevins, D. G., Lukaszewski, K. M. (1998) Boron in plant structure and function. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 49:481–500.
- Brasil, F. C. (2001) *Estudos de características radiculares de pastagens de Brachiaria humidicola com auxílio de análise de imagens*. (Dissertação de Mestrado) Seropédica, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 137p.
- Broschat, T. K. (2005) Boron Deficiency in Palms. University of Florida, Ifas Extension. Disponível em: <http://edis.ifas.ufl.edu>.

- Buzetti, S., Muraoka, T., Sá, M. E. (1990) Doses de boro na soja, em diferentes condições de acidez do solo: I. Produção de matéria seca e de grãos e nível crítico no solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 14:157-161.
- Caetano, L. C. S. e Carvalho, A. J. C. de. (2006) Efeito da adubação com boro e esterco bovino sobre a produtividade da figueira e as propriedades químicas do solo. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.36, n.4, p.1150-1155, jul-ago.
- Cakmak, I., Kurz, H. and Marschner, H. (1995) Short-term effects of boron, germanium and high light intensity on membrane permeability in boron deficient leaves of sunflower. *Physiol. Plant.* 95, 11–18.
- Cakmak, I., Römheld, V. (1997) Boron deficiency-induced impairments of cellular functions in plants. *Plant Soil*, 193-71-83.
- Camacho-Cristóbal, J. J., Maldonado, J. M., Gonzalez-Fontes, A. (2005) Boron deficiency increases putrescine levels in tobacco plants. *Journal of Plant Physiology*, V. 162, 921-928.
- Child, R. (1974) *Coconuts*. London: Longman. 335p.
- Cintra, F. L. D., Fontes, H. R., Leal, M. de L da S. (1996) Distribuição do sistema radicular do coqueiro gigante do brasil submetido a diferentes sistemas de manejo do solo. *R. bras. Ci. Solo*, Campinas, 20:327-332.
- Coelho, A. M. França, G. E. de; Pitta G. V. E.; Alves, V. M. C. (2002) Cultivo do Milho: Diagnose Foliar do Estado Nutricional da Planta. Comunicado Técnico Nº45. Embrapa Milho e Sorgo.
- Corrado, F., Queincez, P. Tailiez, B. (1992) La déficence em bore chez lê palmier à huile. Symptômes et corrections. *Oléagineux*, Paris, v. 47, n.12, p. 719-725.
- Dannel, F., Pfeffer, H., Römheld, V. (2000) Characterization of root boron pools, boron uptake and boron translocation in sunflower using the stable isotopes <sup>10</sup>B and <sup>11</sup>B. *Aust J Plant Physiol* 27: 397–405.
- Dechen, R. A., Nachtigall, G. R. (2006) Micronutrientes. *In: Fernandes, M. S. Nutrição Mineral de Plantas*. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.
- Dell, B. and Huang, L. (1997) Physiological response of plants to low boron. *Plant and Soil*. 193: 103–120.
- Dordas, C., Chrispeels, M. J., Brown, P. H. (2000) Permeability and channel-mediated transport of boric acid across membrane vesicles isolated from squash roots. *Plant Physiology*. Vol. 124, pp. 1349–1361.
- Dugger, W. M., Jr., Humphreys T. E. and Calhoun, B. (1957) The influence of boron on starch phosphorylase and its significance in translocation of sugars in plants. *Plant Physiology*. Journal Series No. 527, Florida Agricultural Experiment Station, Department of Botany.

- Embrapa (2006) *Sistema Brasileiro de classificação de solos*. 2ª ed. Rio de Janeiro: Embrapa solos. 306p.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (1999). *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes* / Embrapa Solos, Embrapa Informática Agropecuária; organizador Fábio Cesar da Silva. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia.
- Erdei, L., Szabó-Nagy, A., Laszlavik, M. (1994) Effect of tannin and phenolics on the H<sup>+</sup>-ATPase activity in plant plasma membrane. *J Plant Physiol.*, 144:49-52.
- Fabião, A. M. D.; Madeira, M.; Steen, E. (1987) Root mass in plantations of *Eucalyptus globulus* in Portugal in relation to soil characteristics. *Arid Soil Research and Rehabilitation*, v. 1, p. 185-194.
- Fao Faostat. Data 2007. Disponível em: (<http://faostat.fao.org/site/408/DesktopDefault.aspx?PageID=408> 18:04 3/10/2007).
- Fernandez-Escobar, R., Moreno, R., Garca-Creus, M. (1999) Seasonal changes of mineral nutrients in olive leaves during the alternate-bearing cycle. *Scientia Horticulturae*, v.82, n.1, p.25- 45.
- Ferreira, J. M. S., Lima, M. F., Santana, D. L. de Q., Moura, J. I. L., Souza, L. A. (1998) Pragas do coqueiro. In: Ferreira, J. M. S.; Warwick, D. R. N.; Siqueira, L. A., (Eds.) *A cultura do coqueiro no Brasil*. Aracaju: EMBRAPA-SPI, p. 189-268.
- Fitter, A. H. (1991) Characteristics and functions of root systems. In: Waisel, Y., Eshel, A., Kafkafi, U. *Plant root: the hidden half*. p. 3-22.
- Fleischer A, Titel C, Ehwald R (1998) The boron requirement and cell wall properties of growing and stationary suspension-cultured *Chenopodium album* L. cells. *Plant Physiol* 117:1401–1410
- Fontes, P. C. R. (2001) *Diagnóstico do estado nutricional das plantas*. Viçosa: UFV.
- Forno, D. A., Asher, C.J., Edwards, D.G. (1979) Boron nutrition of cassava, and the boron-temperature interaction. *Field Crop Research*. 2: 265–279.
- Freitas, M. S. M. (2006) *Flavonóides e nutrientes minerais em folhas de maracujazeiro amarelo e deficiência de macronutrientes e boro em maracujazeiro doce*. Tese de Doutorado, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 106f.
- Frémond, Y., Ziller, R., Nuce de Lamothe, M. de. (1966) *The coconut palm*. Berna: Instituto Internacional do Potássio, 222p.
- Fremond. Y.; Ziller, R.; Lamothe, M. N. (1975) *El Cocotero*. Barcelona: Blume. 236p. Colección Agricultura Tropical

- García-González, M., Mateo, P., Bonilla, I. (1990) Effect of boron deficiency on photosynthesis and reductant sources and their relationship with nitrogenase activity in *Anabaena* PCC 7119. *Plant Physiol.* 93, 560–565.
- Ghanati, F., Morita, A., Yokota, H. (2004) Deposition of suberin in roots of soybean induced by excess boron, [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com), *Plant Science*.
- Goldberg S, Forster H S and Heick E L (1993) Temperature effects on boron adsorption by reference minerals and soils. *Soil Sci.* 156, 316–321.
- Goldberg, S. (1997) Reactions of boron with soils. *Plant and Soil.* 193: 35–48.
- Goldberg, S. and Glaubig, R. A. (1985) Boron adsorption on aluminum and iron oxide minerals. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49, 1374–1379.
- Goldberg, S. and Glaubig, R. A. (1988) Boron and silicon adsorption on an aluminum oxide. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52, 87–91.
- Hoffmann, A., Nachtigal, J. C., Kluge, R. A., Fachinello, J. C. (1996) Adubação em pomares: Métodos de quantificação das doses de fertilizantes. *Revista Brasileira de Fruticultura.* Cruz das Almas. v. 18, n. 2, p. 161-169.
- Hu, H. Penn S, G. Lebrilla C, B, Brown, P, H (1997) Isolation and characterization of soluble boron complexes in higher plants. The mechanism of phloem mobility of boron. *Plant Physiol* 113:649–655.
- Hu, H., Brown, P. H. (1997) Absorption of boron by plant roots. *Plant and Soil*, 193: 49-50.
- Hu, H., Brown, P. H. (1994) Localization of boron in the cell walls of squash and tobacco and its association with pectin. *Plant Physiol.* 105: 681–689.
- Huang, L., Ye, Z., Bell, R. W., Dell, B. (2005) Boron nutrition and chilling tolerance of warm climate crop species. *Annals of Botany* 96: 755–767.
- Ishii, T. Matsunaga, T. (1996) Isolation and characterization of a boron rhamnogalacturonan II complex from cell walls of sugar beet pulp. *Carbohydr Res.*, 284: 1–9.
- Jackson, M.L. (1965) Soil chemical analysis. New Jersey: Prentice Hall, 498p.
- Jones Jr., J.B., Wolf, B., Mills, H.A. (1991) *Plant Analysis Handbook: a practical sampling, preparation, analysis, and interpretation guide.* Athens (USA): Micro-Macro Publishing, 213p.
- Jucá, M. P.; Gaíva, H. N.; Pereira, W. E.; Mileski, A. (2002) Comportamento Vegetativo de Seis Cultivares de Coqueiroanão (*Cocos nucifera* L.). em Santo Antônio de Leverger – MT. *Rev. Bras. Frutic., Jaboticabal* - SP, v. 24, n. 2, p. 463-467.

- Keren, R. and Mezuman, U. (1981) Boron adsorption by clay minerals using a phenomenological equation. *Clays Clay Miner.* 29, 198–203.
- Kobayashi M, Match T, Azuma J (1996) Two chains of rhamnogalacturonan II are cross-linked by borate-diol ester bonds in higher plant cell walls. *Plant Physiol* 110: 1017–1020
- Kobayashi, M., Match, T., Azuma, J. (1996) Two chains of rhamnogalacturonan II are cross-linked by borate-diol ester bonds in higher plant cell walls. *Plant Physiol.* 110: 1017–1020.
- Kozinka, V. (1991) Uptake and transport of water. In: Kolek, J. Kozinka, V. Physiology of the Plant Root System. 1991. Institute of Botany, Slovak Academy of Sciences, Bratislava, Czechoslovakia. p130-202.
- La Torraca, S.M.; Haag, H.P.; Dechen, A.R. (1984). Nutrição mineral de frutíferas tropicais I. Sintomas de carências nutricionais em pupunha. *O Solo*, 76(1): 53-56.
- Lawrence, K., Bhalla, P. and Misra, P. C. (1995) Changes in NAD(P) H dependent redox activities in plasmalemma-enriched vesicles isolated from boron-and zinc-deficient chick pea roots. *J. Plant. Physiol.*, 146, 652–657.
- Libardi, P.L. *Dinâmica da água no solo*. Piracicaba : Libardi, 1995. 497p.
- Lima Filho, O, F. (1991) *Calibração de boro e zinco para o cafeeiro (Coffea arabica L. cv. Catuaí amarelo)*. Piracicaba. 100p. Tese (Mestrado) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura/USP.
- Lima Filho, O. F. ; Malavolta, E. (1997) Sintomas de desordens nutricionais em estêvia [*Stevia rebaudiana* (Bert.) Berton]. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 54, n. 1/2, p. 53-61.
- Loomis, W.D., Durst, R.W. (1992) Chemistry and biology of boron. *Biofactors*. 3: 229–239.
- Lovatt, C. J., Albert, L. S. e Tremblay, G. C . (1981). Synthesis salvage, and catabolism of uridine nucleotides in boron-deficient squash roots. *Plant Physiology*, 68, 1389-1394.
- Macêdo, J. L. V. de, Gasparoto, L., Cunha, R. N. V. da, (1999). Deficiência de Boro em Coqueiro – Sintomas e Correção Instruções Técnicas. N° 4, p 1-3.
- Malavolta, E. (2006) *Manual de Nutrição Mineral de Plantas*. 1. ed. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, v. 1. 638 p.
- Malavolta, E., Vitti, G.C., Oliveira, S.A. de. (1997) *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. 2.ed. Piracicaba: POTAFOS, 319p.
- Mariano, R. L. R., Lira, R. V. F. Silveira, E. B., Menezes, M. (1998) Levantamento de fungos endofíticos e epifíticos em folhas de coqueiro no

- Nordeste do Brasil. II. Efeito da localidade sobre a população fúngica. *Agrotrópica*, Ilhéus. v. 10, n. 1, p. 1-8.
- Marschner, H. (1995) *Mineral Nutrition of Higher Plants*, second ed., Academic Press, London, 1995, pp. 379–396.
- Matoh T, Ishigaki K, Ohno K, Azuma J (1993) Isolation and characterization of a boron-polysaccharide complex from radish roots. *Plant Cell Physiol* 34: 639–642
- Matoh, T. (1997) Boron in plant cell walls. *Plant and Soil*. 193: 59–70.
- Matoh, T., Ishigaki K., Mizutani, M., Matsunaga W and Takabe, K. (1992) Boron nutrition of cultured tobacco BY-2 cells. I. Requirement for and intracellular localization of boron and selection of cells that tolerate low levels of boron. *Plant and Cell Physiol* 33, 1135–1141.
- Mirisola Filho, L. A. (1997) *Avaliação do estado nutricional do coqueiroanão (Cocos nucifera L.) na região Norte Fluminense*. 1997. 57f. Dissertação (Mestrado)-Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes.
- Mirisola Filho, L. A. (2002) *Cultivo do coqueiro anão*. Viçosa, MG, Aprenda Fácil. 322p.
- Moraes, L. A., Moraes, V. H. F., Moreira, A. (2002) Relação entre a flexibilidade do caule de seringueira e a carência de boro. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v. 37, n. 10, p. 1431-1436.
- Moraes-Dallaqua, M. A., Beltrati, C. M., Rodrigues, J. D. (2000) 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, jul./set.
- Moreira, F. M. S., Siqueira, J. O. (2002) *Microbiologia e bioquímica do solo*. Lavras, Universidade Federal de Lavras. 652p.
- Nable, R. O. (1988) Effects of B toxicity among several barley wheat cultivars: a preliminary examination of the resistance mechanism. *Plant Soil*. 112: 45–52
- Naiff, A. P. M. ; Viégas, I. de J. M.; LIMA, S. S. de. (2003) Caracterização de sintomas de deficiências de micronutrientes em plantas de açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.). In: I seminário de iniciação científica da UFRA e VII seminário de iniciação científica da embrapa amazônia oriental.
- Neves, O. S. C.; Sá, J. R. de, Carvalho, J. G. de. (2004) Crescimento e sintomas visuais de deficiências de micronutrientes em umbuzeiros. *Rev. Bras. Frutic.*, Jaboticabal - SP, v. 26, n. 2, p. 306-309.
- Nielsen, F. (2000) The emergence of boron as nutritionally important throughout the life cycle. *Nutrition* 16: 512–514.

- Passos, E. E. M. (1998) Morfologia do coqueiro. *In*: Ferreira, J.M.S.; Warwick. D.R.N.; Siqueira, L.A.. (Org.). *A cultura do coqueiro no Brasil*. 2 ed. Brasília: Embrapa-SPI, v. , p. 57-64.
- Pfeffer, H., Dannel, F., Römheld, V. (2001) Boron compartmentation in roots of sunflower plants of different boron status: A study using the stable isotopes B10 and B11 adopting two independent approaches. *Physiologia Plantarum*. V 113: 346–351
- Pimentel, C. (1998) *Mecanismo do carbono na agricultura tropical*. Seropédica: Edur, 159p.
- Pinho, L. G. da R. (2004) *Controle da mancha anelar dos frutos de coqueiro anão verde no noroeste do Estado do Rio de Janeiro: Efeitos da aplicação de ácido bórico*. (Tese de Mestrado) - Campos dos Goytacazes - RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF. 44f.
- Pollard, A. S., Parr, A. J. and Loughman, B. C. (1977) Boron in relation to membrane function in higher plants. *J. Exp. Bot.* 28, 831–841.
- Quaggio, J. A.; Mattos Junior, D. ; Cantarella, H.; Tank Junior, A. (2003) Fertilização com boro e zinco no solo em complementação à aplicação via foliar em laranja Pêra. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v. 38, n. 5, p. 627-634.
- Ramos, M. J. M. (2006) *Caracterização de sintomas de deficiência de macronutrientes e de boro em abacaxizeiro cultivar imperial*. (Doutorado em Produção Vegetal) - UENF - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. 95 p.
- Ramos, V. H. V.; Pinto, A. C. Q.; Aragão, W. M.; Gomes, A. C.; Junqueira, N. T. V.; Lobato, E.; Oliveira, M. A. S. (2004) Comportamento de Cultivares de Coqueiros Anão e Híbridos no Distrito Federal. *Rev. Bras. Frutic.*, Jaboticabal - SP, v. 26, n. 2, p. 363-365.
- Rao, M.; Anderson, L. E. (1983) Light and stomatal metabolism : i. Possible involvement of light modulation of enzymes in stomatal movement. *Plant Physiol.* 71: 451-455.
- Reis Jr. R. A.; Monnerat, P. H. (2002) Diagnose nutricional da cana-de-açúcar em Campos dos Goytacazes. *Revista Brasileira de Ciência Solo*, Viçosa, v. 26, p. 367-372, 2002.
- Reis Júnior, R. A., Monnerat, P. H. (2003) DRIS norms validation for sugarcane crop. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 38: 379–385.
- Ribeiro, A. C., Guimarães, P. T. G., Alvarez, V. H. (1999) Comissão de fertilidade do solo do Estado de Minas Gerais. *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª Aproximação*. Viçosa-MG. 359p.
- Ruiz, J. M. (2001) Aquaporin and its function in boron uptake. *Trends in Plant Science*. Vol.6 N<sup>o</sup>.3.pg 95.

- Ruiz, J. M., Bretones, G., Baghour, M., Ragala, L., Belakbir, A., Romero, L. (1998) Relationship between boron and phenolic metabolism in tobacco leaves. *Phytochemistry*, Vol. 48, N<sup>o</sup>. 2, p. 269-272.
- Russel, R. S. (1981) Plant Root Systems - their function and interaction with the soil. In: Symposium on the Soil / Root System, Londrina. Proceedings... Londrina: Instituto Agronômico do Paraná - IAPAR.
- Santos, A. L. (2002) *Estabelecimento de normas de amostragem foliar para avaliação do estado nutricional e adubação mineral do coqueiro anão verde na Região Norte Fluminense*. (Tese de Doutorado) - Campos dos Goytacazes - RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF. 82p.
- Santos, A. L. dos, Monnerat, P. H., Alves, E. A. B. (2003) Teor foliar de boro em função da aplicação de bórax na axila foliar de coqueiro anão verde no Norte Fluminense. *Pesquisa Agropecuária e Desenvolvimento Sustentável*. Niterói, v.1, n. 2, p. 165-171.
- Santos, A. L. dos, Monnerat, P. H., Carvalho, A. J. C. de. (2004) Estabelecimento de normas DRIS para o diagnóstico nutricional do coqueiro-anão verde na região norte fluminense. *Rev. Bras. Frutic.*, Jaboticabal - SP, v. 26, n. 2, p. 330-334.
- Schon, M. K., Novacky. A. and Blevins, D. G. (1990) Boron induces hyperpolarisation of sunflower root cell membranes and increases membrane permeability to K<sup>+</sup>. *Plant Physiol.* 93, 566–577.
- Shorrocks, V. M. (1997) The occurrence and correction of boron deficiency. *Plant and Soil*.193: 121–148.
- Siebeneichler, S. C. (2002) *O boro na cultura do abacaxizeiro cv pérola no Norte do Estado do Rio de Janeiro*. Doutorado em Produção Vegetal) - UENF - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. 75p.
- Silva, D. H. da. (2007) *Boro em mamoneira: Aspectos morfológicos e fisiológicos relacionados à deficiência e toxicidade*. (Dissertação de Mestrado) Piracicaba, SP. Universidade de São Paulo - Centro de Energia Nuclear na Agricultura.
- Silva, J. R. A. da, Falcão, N. P. de S. (2002) Caracterização de sintomas de carências nutricionais em mudas de pupunheira cultivadas em solução nutritiva. *Acta Amazônica* 32(4):529-539
- Soares, A. M. (2003) *Influência de nitrogênio, zinco e boro e de suas respectivas interações no desempenho da cultura do milho (Zea mays L.)*. (Dissertação de Mestrado). Piracicaba - SP, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - Universidade de São Paulo.
- Soares, M. R. e Alleoni, L. R. F. (2005) Parâmetros termodinâmicos da reação de adsorção de boro em solos tropicais altamente intemperizados. *Quim. Nova*, Vol. 28, No. 6, 1014-1022.

- Sobral, F. L. (1998) Nutrição e adubação do coqueiro. In: Ferreira, J. M. S.; Warwick, D. R. N.; Siqueira, L. A., (Eds.) *A cultura do coqueiro no Brasil*. Aracaju: EMBRAPA-SPI, p. 129-157.
- Stavrianakou, S., Liakopoulos, G., Karabourniotis, G. (2006) Boron deficiency effects on growth, photosynthesis and relative concentrations of phenolics of *Dittrichia viscosa* (Asteraceae). *Environmental and Experimental Botany*. 56 293–300.
- Taiz, L., Zeiger, E. (2002) *Plant Physiology*. Third edition.
- Tindall, J.A., Mills, H.A., Radcliffe, D.E. (1990) The effect of root zone temperature on nutrient uptake of tomato. *Journal of Plant Nutrition*. 13: 939–956.
- Valladares, G. S., Pereira, M. G., Alves, G. C. (1998) Aplicação de duas isotermas de adsorção de boro em solo de baixada do Estado do Rio de Janeiro. *R. Bras. Ci. Solo*, 22:361-365.
- Valladares, G. S., Pereira, M. G., Souza, J. M. P. F., Perez, D. V. P., ANJOS, L. H. C. (1999) Disponibilidade de boro e correlação com propriedades dos solos do estado do rio de janeiro. *Pesq. agropec. bras., Brasília*, v.34, n.3, p.493-498.
- Viégas, I. de J. M.; Thomaz, M. A. A., Silva; J. F. da, Conceição, H. E. O. da; Naiff, A. P. M. (2004) Efeito da omissão de macronutrientes e boro no crescimento, nos sintomas de deficiências nutricionais e na composição mineral de plantas de camucamuzeiro. *Rev. Bras. Frutic., Jaboticabal - SP*, v. 26, n. 2, p. 315-319.
- Witschoreck, R., Schumacher, M. V., Caldeira, M. V. W. (2003) Estimativa da biomassa e do comprimento de raízes finas em *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake no município de Santa Maria-RS. *Rev. Árvore*, v.27 n.2 Viçosa.
- Yamada, T. (2000) Boro: será que estamos aplicando a dose suficiente para o adequado desenvolvimento das plantas? *Informações Agrônomicas, POTAFOS*, Nº 90.
- Yeh, D.M., Lin, L., Wright, C.J. (2000) Effects of mineral nutrient deficiencies on leaf development, visual symptoms and shoot-root ratio of *Spathiphyllum*. *Scientia Horticulturae*, v.86, p.223-233.
- Yermiyahu, U. Keren, R. and Chen, Y. (1995) Boron sorption by soil in the presence of composted organic matter. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59, 405–409.
- Yermiyahu, U.; Keren, R. and Chen, Y. (2001) Effect of Composted Organic Matter on Boron Uptake by Plants. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65:1436–1441.
- Yih, R. Y. and Clark, H. E. (1964) Carbohydrate and protein content of boron deficient tomato root tips in relation-to anatomy and growth. *Plant Physiology*. 312-315.
- Zhao, D. and Oosterhuis, D. M. (2000) Effects of boron deficiency on leaf photosynthesis and nonstructural carbohydrate concentrations of cotton during

early growth. Proceedings of the 2000 Cotton Research Meeting. *AAES Special Report 198*. p77-80.

Zonta, E., Brasil, F. da C., Goi, S. R., Rosa, M. T. da. (2006) O sistema radicular e suas interações com o ambiente edáfico. *In: Fernandes, M. S. Nutrição Mineral de Plantas*. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.