

MOBILIDADE DO BORO EM PLANTAS DE ABACAXI¹

SUSANA CRISTINE SIEBENEICHLER², PEDRO HENRIQUE MONNERAT³, ALMY JUNIOR CORDEIRO DE CARVALHO⁴, JOSÉ ACCÁCIO DA SILVA⁵, AMANDA OLIVEIRA MARTINS⁶

RESUMO - Para confirmar a mobilidade do boro em abacaxizeiro, cultivaram-se doze mudas da cultivar 'Pérola' em solução nutritiva completa, contendo 1 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de B, em delineamento inteiramente casualizado. Após 45 dias, coletaram-se quatro plantas (T_0) e, nas oito plantas restantes, aplicou-se, por 3 dias consecutivos, uma solução de H_3BO_3 a 10 mmol L^{-1} , pincelando-se ambas as faces da folha basal número sete (7). A partir do início da aplicação foliar, foi suspenso o fornecimento de B na solução nutritiva. Um dia após a terceira aplicação foliar, coletaram-se quatro plantas (T_1) e, 60 dias após esta, coletaram-se as últimas quatro plantas (T_2). As plantas foram fracionadas em diferentes partes nas quais o teor de B total foi determinado pelo método da azometina-H. Em T_0 , o maior teor de B observado foi na raiz; no T_1 , na folha pincelada e na raiz e, no T_2 , na folha pincelada. O conteúdo de B acompanhou a variação da massa seca das porções da planta, sendo que, no T_2 , o maior conteúdo de B e massa seca foram observados nas folhas novas formadas entre o T_1 e o T_2 . O boro contido nessas folhas (29,8% do boro total da planta) proveio das folhas mais velhas (FMed, FTrat e FBas), cujo conteúdo diminuiu significativamente, confirmando a mobilidade do boro em plantas de abacaxi 'Pérola'.

Termos para indexação: *Ananas comosus*, remobilização de B, conteúdo de B.

BORON MOBILITY IN PINEAPPLE

ABSTRACT - To confirm the mobility of boron in pineapple, twelve 'Pérola' pineapple seedlings were cultivated in a complete nutrient solution containing 1 mmol L^{-1} B in a completely randomized design. After 45 days, B was removed from the nutrient solution, and four plants were harvested (T_0), and in the eight remaining plants 10 mmol L^{-1} H_3BO_3 solution were painted, for 3 consecutive days, on both faces of the basal leaf number seven (7). One day after the third foliar application, four plants were harvested (T_1) and, sixty days later, the last four plants were harvested (T_2). The plants were partitioned into different parts in which total B concentration was determined by azometina-H method. In T_0 the largest B concentration was in the root; in T_1 , in the painted leaf and the root and, in T_2 , in the painted leaf. The content of B followed the variation of the dry weight of the portions of the plant, and in T_2 the largest content of B and dry weight were observed in the new leaves formed between T_1 and T_2 . Boron contained in those leaves (29, 8% of the total boron of the plant) came from the oldest leaves which content decreased significantly, confirming the mobility of Boron in pineapple plants.

Index terms: *Ananas comosus*, B mobility, B content.

INTRODUÇÃO

O micronutriente B tem sido considerado imóvel nas plantas em geral, por muitos anos; entretanto, estudos realizados, principalmente a partir da década de 80, demonstraram que esta afirmativa não devia ser generalizada, pois verificou-se que este micronutriente é móvel em algumas espécies de plantas, tais como: macieira, ameixeira, cerejeira (Brown e Hu, 1998) e brócolis (Shelp, 1988).

Segundo estes estudos, a mobilidade do B é possível por este elemento se ligar a compostos que apresentam a configuração cis-diol. Estes compostos são itóis (álcoois de açúcar) como: sorbitol (macieira), manitol (brócolis) e dulcitol (Dordas et al., 2001). Os itóis são considerados compostos de estoque formados durante o processo fotossintético e transportados pelo floema em plantas superiores, sendo utilizados na nutrição heterotrófica e na osmorregulação (Loescher et al., 1995). O B se moveria, portanto, ligado a esses itóis.

A deficiência de B em plantas que não remobilizam este nutriente, apresenta-se nas suas porções novas. Em espécies muito exigentes em B, como o girassol, pode ocorrer a formação de folhas novas deformadas e a morte do meristema apical (Bergmann, 1986). Já plantas que transportam esses itóis no floema, apresentariam sintomas de deficiência de B nas partes mais velhas e, só em casos extremos, o sintoma seria observado em porções jovens.

O B, como os demais micronutrientes, é indispensável para as plantas, pois tem efeito direto na formação de novos tecidos e na sua produtividade, tornando-se igualmente importante conhecer se a sua redistribuição ocorre dentro da planta e se há variação entre as espécies (van Goor e van Lune, 1980).

O conhecimento da mobilidade dos nutrientes na planta favorece a escolha do tipo de manejo que será adotado na correção ou

prevenção da deficiência. Quando o nutriente é imóvel na planta, torna-se necessário o fornecimento direto nos novos órgãos em formação; entretanto, para elementos móveis, este tipo de manejo é desnecessário ou, então, a forma de aplicação pode ser facilitada.

A remobilização do B ocorre, principalmente, em plantas que são cultivadas em ambientes com baixa disponibilidade de B para a planta. Em solos com alto teor de B, o transporte deste nutriente ocorre, mormente, pelo fluxo transpiratório, e sua acumulação ocorre nos órgãos que apresentam a maior taxa transpiratória (Brown e Shelp, 1997).

A demora na manifestação do sintoma de deficiência de B em plantas de abacaxi cultivadas sem a adição de B, em solução nutritiva, sugeriu a possibilidade de esta espécie remobilizar o B (Siebeneichler, 2002), como ocorre em outras espécies. O presente ensaio foi conduzido com o objetivo de comprovar a mobilidade do B no abacaxizeiro 'Pérola'.

MATERIALE MÉTODOS

Este experimento foi conduzido em casa de vegetação do Setor de Nutrição Mineral de Plantas, do Laboratório de Fitotecnia, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes-RJ.

Doze mudas de abacaxi (*Ananas comosus* L.) da cultivar Pérola, tipo filhote, com aproximadamente 250g, foram cultivadas em solução nutritiva contendo os seguintes sais, em mmol L^{-1} : 0,7 K_2SO_4 ; 0,1 KCl; 2,0 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$; 0,5 Mg SO_4 ; 0,1 KH_2PO_4 ; 10^{-3} H_3BO_3 ; $0,5 \cdot 10^{-3}$ MnSO_4 ; $0,5 \cdot 10^{-3}$ ZnSO_4 ; $0,2 \cdot 10^{-3}$ CuSO_4 ; $0,01 \cdot 10^{-3}$ $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$; 0,04 Na Fe (III)-EDTA; pH 5,5. O ajuste do pH foi feito a cada dois dias com KOH 1M ou $\text{HNO}_3 + \text{H}_3\text{PO}_4$ a 5%. A troca da solução foi realizada a cada 21 dias.

As mudas foram distribuídas em três caixas de madeira medindo 100 x 50 x 10 cm, revestidas com plástico, contendo 40 L de solução

¹ (Trabalho 157/2003). Recebido: 17/10/2003. Aceito para publicação: 23/06/2005.

² Eng^a. Agr^a, Prof^a. Adjunta, Curso de Agronomia, Campus Universitário de Gurupi / Fundação Universidade Federal do Tocantins. Cx. P.: 66-CEP: 77.402-970/ Gurupi-TO. E-mail: susana@uft.edu.br;

^{3,4} Eng^o Agr^o, DSc. Professores, UENF/CCTA/LFIT, Av. Alberto Lamego, 2000, Horto, 28015-620, Campos dos Goytacazes – RJ. E-mail: monnerat@uenf.br;

⁵ Eng^o Químico, Téc. de Nível Sup., UENF/CCTA/LFIT, Av. Alberto Lamego, 2000, Horto, 28015-620, Campos dos Goytacazes – RJ;

⁶ Estudante do Curso de Agronomia e bolsista do LFIT, UENF.

nutritiva cada uma. As mudas foram fixadas em uma chapa de isopor com 2 cm de espessura, espaçadas de 30 cm e arejadas continuamente com uma bomba para arejamento de aquário. Essas caixas foram mantidas sobre uma mesma bancada, em casa de vegetação, com temperatura média das máximas e das mínimas de 45 e 24°C, respectivamente.

O transplante das mudas para a solução nutritiva foi realizado no dia 11-02-02 e, nessa solução, com baixa concentração de boro, as plantas permaneceram por 45 dias, para que o teor de boro em seus tecidos ficasse baixo. A solução nutritiva foi, então, trocada por outra, sem boro, nas três caixas, quando, então, quatro plantas foram colhidas, ao acaso, para a caracterização do crescimento e do teor e conteúdo inicial de boro em diversas partes da planta. Essas plantas constituíram o tempo zero (T₀). Nas oito plantas que restaram, aplicou-se uma solução de H₃BO₃ a 10mmol L⁻¹ na folha número 7, a contar da base. A aplicação de B foi realizada por 3 dias consecutivos, uma vez por dia, com um pequeno pincel, pincelando-se as porções abaxial e adaxial da folha, evitando-se o escorrimento da solução para a axila das folhas. Um dia após a última aplicação foliar, quatro plantas foram colhidas e constituíram o tempo um (T₁); sessenta dias após essa coleta, as últimas quatro plantas foram colhidas, constituindo o tempo 2 (T₂). Os três tratamentos tiveram, portanto, quatro repetições em delineamento inteiramente casualizado.

Antes de colocar as plantas na solução sem B, o sistema radicular foi lavado em água deionizada corrente por 10 minutos.

As plantas de todos os tratamentos, após a colheita, foram seccionadas em folhas basais (FBas: folhas 1 a 6), folha tratada (FTrat: folha 7), folhas medianas (FMed: 8 a 11), folhas superiores ou (FSup: 12 a 16) folhas novas, com menos de 10cm de comprimento (FNov), caule (Caule) e raiz (Raiz). No T₂, as folhas que se formaram durante os sessenta dias foram denominadas FNov1 (17 a 20), FNov2 (21 a 23), FNov3 (24 a 26) e FNov4 (folhas com menos de 10 cm de comprimento). As folhas basais, a tratada e as medianas foram consideradas folhas velhas no final do experimento, e as formadas durante os dois meses de cultivo sem boro foram consideradas folhas novas. As folhas foram limpas com algodão umedecido em água desionizada e as que receberam a aplicação de B foram lavadas em água desionizada corrente por 30 segundos.

A seguir, as partes das plantas foram secas em estufa de circulação de ar forçada, a 70°C, por 72 horas. Após secas, as amostras foram pesadas e moídas em moinho tipo Wiley, passadas em peneira de

20 mesh e armazenadas em frascos hermeticamente vedados.

A metodologia utilizada na determinação do B consistia em pesar 250mg de massa seca (MS) que foram incineradas em mufla a 550°C, por 4 horas. No dia seguinte, as cinzas foram retiradas da estufa, adicionados 3 a 4 gotas de peróxido de hidrogênio (H₂O₂) 3%, ressecadas em chapa quente e requeimadas por 3 horas a 550°C. Após a segunda queima, as cinzas foram suspensas com 10 ml de HNO₃ 1:60. O restante da metodologia foi a preconizada por Malavolta et al. (1997), com a quantificação colorimétrica do B com o uso de Azometina H.

Os dados foram submetidos à análise de variância, e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se do programa SAEG.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As mudas, ao serem transferidas para a solução nutritiva, estavam com o teor de B relativamente baixo (menor que 10 mg kg⁻¹ de B na matéria seca foliar), mas as plantas não apresentavam sintoma visual de deficiência tanto na parte aérea como nas raízes.

Em espécies que não remobilizam o B, como o girassol, o teor de 10 mg kg⁻¹ promove sintomas nítidos de deficiência deste elemento nas porções novas da planta - folhas novas e meristemas (Bergmann, 1986).

Durante a condução do experimento, as plantas do tratamento T₂ formaram, em média, nove folhas novas (folhas 18 a 26), causando aumento da massa seca na porção FNov (Tabela 1). Observou-se, também, aumento significativo da massa seca nas porções FSup (folhas 12 a 16) e na Raiz, e não se observaram sintomas visuais da deficiência de B em nenhuma das plantas.

Quanto ao teor (Tabela 1), observou-se que, no T₀, o maior teor de B foi observado na raiz. Após a aplicação foliar de B (T₁), as porções FTrat e a Raiz apresentaram os maiores teores, não diferindo entre si.

Ao comparar os teores de B, nas diferentes partes da planta, no T₀ e no T₁, observa-se que este teor aumentou significativamente, nas porções FSup, FTrat e na FBas (Tabela 1). Este incremento pode ser atribuído ao B (10 mM) aplicado na folha 7, que se acumulou na própria (FTrat) e também se translocou para as folhas abaixo (FBas) e acima dela (FSup).

TABELA 1 - Massa seca e teor, conteúdo e distribuição de Boro em diferentes partes das mudas de abacaxi 'Pérola' colhidas em 3 épocas.

Tratamento ^{1/}	Partes da planta ^{2/}							
	FNov (17 a 26)	FSup (12 a 16)	FMed (8 a 11)	FTrat ^{3/} (folha 7)	FBas (1 a 6)	Caule	Raiz	Total
	Massa Seca (g)							
T ₀	0,30 bB	2,38 bB	6,20 aA	1,59 bA	6,63 aA	1,14 bA	0,65 bB	18,9 B
T ₁	0,40 bB	2,75 bB	7,83 aA	1,64 bA	6,53 aA	1,54 bA	0,74 bB	21,4 B
T ₂	11,01 aA	4,87 bcA	6,85 bA	1,42 dA	7,01 bA	2,40 dA	3,24 cdA	36,8 A
	Teor de Boro (mg kg⁻¹)							
T ₀	9,20 bA	7,85 bcB	6,98 bcAB	6,25 bcB	5,47 cB	7,21 bcA	12,80 aA	
T ₁	9,61 bcA	10,32 bA	8,83 bcA	16,02 aA	10,12 bcA	7,18 cA	14,94 aA	
T ₂	5,43 abB	5,15 bC	4,83 bB	8,39 aB	5,09 bB	5,76 abA	5,50 abB	
	Conteúdo de Boro (g)							
T ₀	2,72 cB	18,94 bcA	43,70 aB	10,24 cB	37,27 abB	8,19 cA	8,30 cA	129,4 B
T ₁	3,78 cB	28,26 bA	69,63 aA	26,75 bA	65,27 aA	11,07 bcA	10,57 bcA	215,3 A
T ₂	59,93 aA	25,57 bA	34,90 bB	11,97 cAB	35,73 bB	13,84 cA	17,85 bcA	199,8 A
	Distribuição do Boro (%)^{4/}							
T ₀	2,1 cB	15,1 bA	33,8 aA	7,6 cAB	27,9 aA	6,6 cA	6,9 cA	100
T ₁	1,8 dB	13,6 bA	32,9 aA	12,3 bcA	29,2 aA	5,1 cdA	5,2 cdA	100
T ₂	29,8 aA	12,8 bcA	16,5 bB	6,2 cB	18,3 bB	7,2 cA	9,2 cA	100

As médias seguidas da mesma letra minúscula na linha, para as diferentes porções da planta, e da mesma letra maiúscula na coluna, para os diferentes tratamentos, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

^{1/} T₀: tempo zero; T₁: quatro (4) dias após T₀; T₂: 60 dias após T₁.

^{2/} FNov: folhas novas com menos de 10 cm de comprimento; FSup: folhas superiores; FMed: folhas medianas; FTrat: folha tratada; FBas: folhas basais.

^{3/} FTrat: folha pincelada com solução de H₃BO₃ a 10mmol L⁻¹ durante três dias consecutivos.

^{4/} Percentagem do boro total contido na planta.

TABELA 2 - Massa seca (MS), teor de B e conteúdo, absoluto e percentual, de B nas folhas formadas em dois meses (entre as coletas T₁ e T₂), em mudas de abacaxi 'Pérola'.

Folhas	MS (g)	Teor de B (mg kg ⁻¹)	Conteúdo	
			ig B	% ^{1/}
FNov4 ^{2/}	0,28 b	6,56 a	1,81 b	0,95 c
FNov3 (24 a 26)	1,44 b	6,59 a	9,63 b	4,79 b
FNov2 (21 a 23)	4,17 a	5,26 ab	21,8 a	10,88 a
FNov1 (17 a 20)	5,11 a	5,17 b	26,68 a	13,21 a

As médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

^{1/} Percentagem do boro total contido na planta.

^{2/} Folhas novas com menos de 10cm de comprimento.

No T₂, em relação ao T₁, o teor de B decresceu em todas as porções da planta, com exceção do caule. Esta redução pode ser atribuída ao efeito de diluição pelo aumento da massa seca das porções FNov, FSup e Raiz das plantas (Tabela 1), e, nas demais porções das plantas, sugere-se um efeito de redistribuição, pois não foi registrado aumento significativo da massa seca das plantas. Nesta coleta (T₂), o maior teor de B foi observado na FTrat.

A maior massa seca e o conteúdo de B mais alto (Tabela 1) foram observados na porção FMed e Fbas, no T₀ e T₁, e na FNov no T₂, resultado já esperado, visto que o conteúdo de um nutriente é proporcional à massa seca.

Entre o T₀ e o T₁, ocorreu aumento significativo do conteúdo de B nas porções FMed, FTrat e Fbas (Tabela 1). Na porção FTrat, este incremento é devido à aplicação foliar do B, mas o aumento nas porções da planta adjacentes a esta folha sugere a rápida remobilização do B absorvido, já que a coleta no T₁ foi feita um dia após a última aplicação foliar de B.

A absorção de B, aplicado via foliar, pode ser influenciada por diferentes fatores: espécie (Goor e Lune, 1980), concentração da solução de aplicação, permeabilidade da cutícula foliar, umidade relativa do ar, idade da folha utilizada na aplicação (Shu et al., 1994) e também pelo número de vezes que a aplicação foi realizada, sucessivamente.

Considerando que, de T₁ para T₂, a redução do conteúdo percentual de B na FTrat foi de 50% (Tabela 1), infere-se que ocorreu a remobilização do boro, a partir desta folha, para as demais partes da planta; e a redução do conteúdo de B de 50 e 45%, nas porções FMed e Fbas, respectivamente, entre o T₁ e T₂ e o incremento de 1485% na porção FNov (Tabela 1), sugere que parte do B das folhas mais velhas foi remobilizado para as folhas novas (FNov) formadas no período de 2 meses entre as duas coletas.

Nas porções formadas entre as coletas T₁ e T₂ (Tabela 2), observou-se que o teor de B é maior nas porções mais novas (FNov4 e FNov3) e que com o conteúdo ocorreu o inverso, sendo maior nas porções FNov2 e FNov1, que também apresentam a maior quantidade de MS.

Segundo Cakmak e Römheld (1997), o B, em plantas deficientes, se encontraria predominantemente na parede celular, formando complexos com substâncias pécticas. Isso poderia justificar por que o conteúdo de boro é maior nas folhas mais velhas formadas durante o experimento, ou seja, nelas o B faria parte da composição da parede celular. Em tecidos mais jovens, a parede celular ainda está em formação, logo com menor conteúdo de B.

Oertli (1994), ao estudar a distribuição desuniforme de B em plantas de tomate, também observou que o conteúdo de B acompanha a MS, ocorrendo queda da concentração devido ao efeito de diluição, mas, diferentemente do observado neste experimento, as plantas de tomate não remobilizaram o boro, não apresentando formação significativa de novos órgãos à medida que a planta se desenvolveu sem o fornecimento desse nutriente.

As plantas de abacaxi apresentam a capacidade de sintetizar manitol e sorbitol (SUGAR, 2002), logo, é provável que, pela formação de complexos manitol-B-manitol e/ou sorbitol-B-sorbitol no floema (Brown

e Shelp, 1997), o B seja transportado pelo floema, justificando a formação expressiva de folhas novas e normais entre as coletas T₁ e T₂.

CONCLUSÃO

A formação de novas folhas, as reduções do teor e do conteúdo de B em folhas mais velhas, o aumento do conteúdo nas folhas mais novas e a ausência de sintomas de deficiência em plantas mantidas em solução nutritiva sem B confirmam que este micronutriente é móvel em plantas de abacaxi 'Pérola'.

REFERÊNCIAS

- BERGMANN, W. **Farbatlas: ernährungsstörungen bei kulturpflanzen**. Jena: VEB Gustav Fischer Verlag, 1986. 306p.
- BROWN, P.H.; HU, H. Phloem boron mobility in diverse plant species. **Botanical Acta**, v.377, p.331-335. 1998.
- BROWN, P.H.; SHELP, B.J. Boron mobility in plants. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.193, p. 85-101. 1997.
- CAKMAK, I.; RÖMHELD, V. Boron deficiency-induced impairments of cellular functions in plants. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 193, p. 71-83, 1997.
- DORDAS, C.; SAH, R.; BROWN, P.H.; ZENG, Q.; HU, H. Remobilização de micronutrientes e elementos tóxicos em plantas superiores. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M. C.P. da; RAIJ, B van; ABREU, C.A. de. **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: Legis Summa, 2001. p. 43-70.
- GOOR, B.J van.; LUNE, P van. Redistribution of potassium, boron, iron, magnesium and calcium in apples trees by an indirect method. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 48, p. 21-26, 1980.
- LOESCHER, W.H.; EVERARD, J.D.; CANTINI, C.; GRUMET, R. Sugar alcohol metabolism in source leaves. In: MADORE, M.A.; LUCAS, W.J. (Ed.). **Carbon partitioning and source-sink interactions in plants: current topics in plant physiology**. Rockville: American Society of Plant Physiologists Series, 1995. v.13, p. 170-179.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. de. **Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.
- OERTLI, J.J. Non-homogeneity of boron distribution in plants and consequences for foliar diagnosis. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Monticello, v.25, p.1.133-1.147, 1994.
- SHELP, B.J. Boron mobility and nutrition in broccoli (*Brassica oleracea* var. Italica). **Annals of Botany**, London, v.61, p.83-91, 1988.
- SHU, Z.H.; OBERLY, G.H.; CARY, E.E. Mobility of foliar-applied boron in one-year-old peaches as affected by environmental factors. **Journal of Plant Nutrition**, Monticello, v.17, n.7, p. 1.243-1.255, 1994.
- SIEBENEICHLER, S.C. **O Boro na cultura do abacaxizeiro 'Pérola' no norte do Estado do Rio de Janeiro**. 2002. 75f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal), Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, 2002.
- SUGAR Alcohols. Disponível em: <www.gnc.com/health_notes/Food_Guide/Sugar_Alcohols. Htm>. Acesso em: 12 abril 2002.