INSTITUTO AGRONÔMICO

PÓS-GRADUAÇÃO

DISSERTAÇÃO

BORO EM BANANEIRA

EDSON SHIGUEAKI NOMURA

Campinas, SP
2010

INSTITUTO AGRONÔMICO
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA TROPICAL E SUBTROPICAL

BORO EM BANANEIRA

EDSON SHIGUEAKI NOMURA

Orientador: Dirceu Mattos Jr.
Co-orientador: Luiz Antonio Junqueira Teixeira

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre** em Agricultura Tropical e Subtropical Área de Concentração em Tecnologia da Produção Agrícola

Campinas, SP
Março 2010

Ficha elaborada pela bibliotecária do Núcleo de Informação e Documentação do Instituto Agronômico

N811b Nomura, Edson Shigueaki
Boro em bananeira / Edson Shigueaki Nomura. Campinas, 2010.
56fls.

Orientador: Dirceu de Mattos Junior
Co-orientador: Luiz Antonio Junqueira Teixeira
Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Produção Agrícola) - Instituto Agronômico

1. Banana. 2. Banana - micronutrientes. 3. Banana - isótopo estável
I. Mattos Junior, Dirceu de II. Teixeira, Luiz Antonio Junqueira III. Título

CDD. 634.772

SECRETARIA DE AGRICULTURA E ABASTECIMENTO
AGÊNCIA PAULISTA DE TECNOLOGIA
DOS AGRONEGÓCIOS
INSTITUTO AGRONÔMICO
Pós-Graduação
Av. Barão de Itapura 1481 Caixa Postal 28
13001-970 Campinas, SP - Brasil
(019) 3231-5422 ramal 194
pgiac@iac.sp.gov.br

INSTITUTO AGRONÔMICO

Curso de Pós-Graduação

Agricultura Tropical e Subtropical

Certificado de Aprovação

Título: **Boro em bananeira**

Aluno: **Edson Shigueaki Nomura**

Área de Concentração: **Tecnologia da Produção Agrícola**

Processo SAA nº: **12160/08**

Orientador: **Dr. Dirceu Mattos Júnior**

Aprovado pela Banca Examinadora:

Dr.Dirceu Mattos Júnior - IAC

Dr. José Lavres Junior - USP/CENA

Dr. Estevão Vicari Mellis - IAC

Campinas, 25 de março de 2010

Visto:

Adriana Parada Dias da Silveira
Coordenadora
Pós-Graduação Instituto Agronômico

Aos meus pais
Satoru e Saeko Nomura,
DEDICO

À Cleusa e Pedro, cujo apoio, carinho,
amor, dedicação e
companheirismo
foram indispensáveis,
OFEREÇO

O GRANDE HOMEM

Mantém o seu modo de pensar independente da opinião pública

É tranquilo, calmo, paciente, não grita e nem desespera.

Pensa com clareza, fala com inteligência, vive com simplicidade.

É do futuro e não do passado.

Sempre tem tempo.

Não despreza nenhum ser humano.

Causa a impressão dos vastos silêncios da natureza: o CÉU.

Não é vaidoso.

Como não anda à cata de aplausos, jamais se ofende.

Possui sempre mais do que julga merecer.

Está sempre disposto a aprender, mesmo das crianças.

Vive dentro do seu próprio isolamento espiritual, aonde não chega nem o louvor nem a censura.

Não obstante, seu isolamento não é frio: Ama – Sofre – Pensa – Compreende.

O que você possui, dinheiro, posição social, nada significam para ele.

Só lhe importa o que você é.

Despreza a opinião própria tão depressa verifica o seu erro.

Não respeita usos estabelecidos e venerados por espíritos tacanhos.

Respeita somente a Verdade.

Tem a mente de homem e coração de menino.

Conhece-se a si mesmo, tal qual é, e conhece a DEUS.

Dr. Celso Charuri

AGRADECIMENTOS

- Ao pesquisador e orientador Dr. Dirceu de Mattos Junior, pela confiança e ensinamentos importantes no curso;

- Ao pesquisador, amigo e co-orientador Dr. Luiz Antonio Junqueira Teixeira, pelo auxílio, amizade e atenção dispensada durante a realização deste trabalho;

- Ao pesquisador Dr. Rodrigo Marcelli Boaretto pelas sugestões, ensinamentos e auxílios na instalação, colheita e tabulação de dados;

- Ao Professor Dr. Antônio Enedi Boaretto pelo auxílio nas análises laboratoriais no CENA/USP;

- Aos professores da área de concentração em Tecnologia de Produção Agrícola da PG-IAC, pelos conselhos e ensinamentos constantes transmitidos;

- Aos pesquisadores do Pólo Vale do Ribeira – APTA, pelo auxílio na condução do experimento, tabulação dos dados e redação da dissertação;

- À Fundação de Apoio a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP; Proc. n.º 2006/05874-5) pelo auxílio financeiro para a execução do trabalho;

- Aos meus pais Satoru e Saeko por acreditarem na minha capacidade e por me incentivarem a concluir este trabalho;

- À minha esposa Cleusa, pelo companheirismo, amor, incentivo e paciência, compartilhando todos os momentos alegres e difíceis no decorrer do curso;

- Ao meu filho Pedro, pela alegria de ser pai e a oportunidade de poder gerar um filho tão querido e desejado;

- Aos funcionários da PG-IAC, pelo auxílio e amizade no decorrer do curso;

- Aos funcionários da APTA Pólo Regional Vale do Ribeira: João Batista Sales, Velonir e Carlos pelo apoio na condução da área experimental;

- A todos os colegas da pós-graduação, cujos nomes não citarei, porque graças a Deus são muitos;

- A todos que colaboraram para a realização e finalização deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS viii
LISTA DE FIGURAS ix
RESUMO x
ABSTRACT xii
1 INTRODUÇÃO 1
2 REVISÃO DE LITERATURA 2
2.1 Importância Econômica da Bananicultura 2
2.2 Características da Planta e Condições de Desenvolvimento da Cultura 3
2.3 Importância da Nutrição em Bananicultura 4
2.4 Caracterização do Elemento Boro 5
2.5 Boro como Nutriente 6
2.6 Absorção de Boro em Plantas 8
2.7 Mobilidade de Boro em Plantas 9
2.8 Formas de Fornecimento de Boro para as Plantas 10
2.9 Uso da Técnica de Isótopos Estáveis 11
2.10 Boro em Bananeiras 11
3 MATERIAL E MÉTODOS 14
3.1 Localização Geográfica e Clima da Área Experimental 14
3.2 Instalação e Manejo da Área Experimental 15
3.3 Delineamento Experimental e Descrição dos Tratamentos 16
3.3.1 Experimento I: Avaliação de doses e formas de aplicação de B 16
3.3.2 Experimento II: Avaliação da absorção e distribuição do ^{10}B 19
3.4 Avaliações 19
3.4.1 Teores de B no solo 19
3.4.2 Desenvolvimento das bananeiras 19
3.4.3 Estado nutricional das bananeiras 20
3.4.4 Produção de frutos 20
3.4.5 Absorção e distribução do ^{10}B 21
3.5 Análises Estatísticas 22
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 22
4.1 Experimento I: Avaliação de Doses e Formas de Aplicação de B 22
4.1.1 Teores de B no solo 22
4.1.2 Desenvolvimento das bananeiras 26
4.1.3 Estado nutricional das bananeiras 28
4.1.4 Produção de frutos 33
4.1.4.1 Exportação de nutrientes pelos frutos 35
4.2 Experimento II: Avaliação da Absorção e Distribuição de ^{10}B 38
4.2.1 Desenvolvimento das bananeiras 38
4.2.2 Massa da matéria seca das bananeiras 38
4.2.3 Absorção e distribuição de ^{10}B 39
5 CONCLUSÕES 46
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Atributos químicos do solo nas camadas de 0-20 cm e 20-40 cm das áreas experimentais, , Pariquera-açu, SP, 2007 15

Tabela 2 – Parâmetros de desenvolvimento das plantas em função das doses e formas de aplicação de B em bananeira 'Grande Naine', Pariquera-açu, SP, 2008 ... 27

Tabela 3 - Teores foliares de nutrientes em função das doses e formas de aplicação em bananeira 'Grande Naine' aos 90 dias após a aplicação dos tratamentos (após a emissão da inflorescência), Pariquera-açu, SP, 2008 29

Tabela 4 – Parâmetros produtivos em função das doses e formas de aplicação de B em bananeira 'Grande Naine', Pariquera-açu, SP, 2008 35

Tabela 5 - Acúmulo de N, P, K, Ca, Mg e de S nos cachos (engaço + frutos) em função das doses e formas de aplicação de B em bananeira 'Grande Naine', Pariquera-açu, SP, 2008 36

Tabela 6 - Acúmulo de B, Cu, Fe, Mn e de Zn nos cachos (engaço + frutos) em função das doses e formas de aplicação de B em bananeira 'Grande Naine', Pariquera-açu, SP, 2008..... 37

Tabela 7 - Quantidade total e porcentagem de B na planta proveniente do fertilizante ($\%B_{ppf}$) em função das formas de aplicação de ^{10}B em bananeira 'Grande Naine', Pariquera-açu, SP, 2008..... 40

Tabela 8 - Teor de B total e porcentagem de B proveniente do fertilizante ($\%B_{pf}$) em função das formas de aplicação de ^{10}B em diversas partes da bananeira 'Grande Naine', Pariquera-açu, SP, 2008 41

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Dados meteorológicos obtidos na Estação Experimental da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios – Pólo Vale do Ribeira, SP..... 14

Figura 2 - Família de bananeiras após desbaste, Pariquera-açu, 2007 17

Figura 3 - Formas de aplicação de boro: A - Orifício do perfilho desbastado; B - Solo; C - Folhas 18

Figura 4 - Teores de B no solo e diferenças entre os teores de B na amostra final e amostra inicial (ΔB) em função das doses e formas de aplicação do micronutriente em bananeira 'Grande Naine'. Pariquera-açu, SP, 2008. A- camada de 0-20 cm; B- camada de 20-40 cm 25

Figura 5 - Ligação entre rizomas da "planta-mãe" e do perfilho ("cordão umbilical") da plantas de bananeira 26

Figura 6 - Teores de B foliar ao longo do tempo em função das doses e formas de aplicação do micronutriente em bananeira 'Grande Naine'. A: aplicação de 0,85 g planta^{-1} de boro; B: aplicação de 1,70 g planta^{-1} de boro; e C: aplicação de 3,40 g planta^{-1} de boro 32

Figura 7 - Sintomas visuais de toxicidade de B em folhas de bananeira 'Grande Naine', Pariquera-açu, 2008 33

Figura 8 - Boro acumulado nos cachos (engaço + frutos) em função das doses e formas de aplicação do micronutriente em bananeira 'Grande Naine', Pariquera-açu, SP, 2008..... 37

Figura 9 – Massa da matéria seca em função das formas de aplicação de ^{10}B em bananeiras 'Grande Naine'. Médias (n=3) ± erro padrão 39

Figura 10 - Teor foliar de B total (A) e porcentagem de B na planta proveniente do fertilizante (B) ao longo do tempo em função das formas de aplicação de ^{10}B em bananeira 'Grande Naine', Pariquera-açu, SP, 2008 42

Figura 11 - Distribuição do B proveniente do fertilizante em função das formas de aplicação de ^{10}B em diversas partes da bananeira 'Grande Naine', Pariquera-açu, SP, 2008. Médias (n=3) ± erro padrão 44

Figura 12 - Distribuição do B nativo do solo nas diferentes partes da família da bananeira 'Grande Naine, APTA Pólo Vale do Ribeira, Pariquera-açu, SP, 2008. Médias (n=3) ± erro padrão 45

Boro em bananeira

RESUMO

A banana (*Musa* spp.) é a principal fruta no comércio internacional e uma das mais consumidas no mundo. Para que as bananeiras alcancem maiores patamares de produtividade, e consequentemente aumento do retorno econômico da atividade, o manejo correto do estado nutricional do pomar é fundamental. Os micronutrientes são poucos estudados para a cultura, principalmente o boro, que apresenta funções ligadas ao desenvolvimento das gemas de crescimento. Desta forma, os objetivos deste trabalho foram estudar as respostas da bananeira à adubação com boro em diferentes doses e formas de aplicação bem como avaliar a absorção e a distribuição de B na planta com o auxílio da técnica de isótopo estável (^{10}B e ^{11}B). Para isso, foram instalados dois experimentos: um para avaliar os efeitos das doses de B (0; 0,85; 1,70 e 3,40 g planta^{-1}) em diferentes formas de aplicação (solo, folhas e orifício do perfilho desbastado) na disponibilidade do elemento no solo, no desenvolvimento da planta, na nutrição da bananeira 'Grande Naine' e na produção de frutos e no outro, para avaliar a absorção e distribuição do B nas plantas com o auxílio da técnica de isótopo estável aplicou-se 1,70 g planta^{-1} de B, utilizando-se o ácido bórico enriquecido com ^{10}B (99%) em diferentes formas de aplicação (solo, folhas e orifício do perfilho desbastado). Os resultados do experimento com doses e formas de aplicação de B foram submetidos à análise de variância e quando significativos foram ajustadas equações de regressão e, para o experimento com uso de ^{10}B foram determinadas às médias e os erros padrões. No primeiro experimento, a aplicação de B no solo e nas folhas aumentou significativamente os teores do micronutriente no solo, porém não observando efeito das doses quando aplicado no orifício do perfilho desbastado (~0,3 mg kg^{-1} de B). Verificou-se que não houve efeitos significativos da aplicação de B no desenvolvimento da bananeira (altura e diâmetro do pseudocaule) medidos após a emissão da inflorescência. Nas amostragens quinzenais, os teores foliares de B quando o micronutriente foi aplicado no orifício do perfilho desbastado foram maiores e prolongaram-se por até um mês após a aplicação na bananeira. Porém, na última amostragem foliar (emissão da inflorescência) não houve efeito da forma de aplicação nos teores foliares de B (~20 mg kg^{-1}). Não foram observados efeitos significativos na produção de frutos em função das doses e formas de aplicação do B, porém a aplicação

no orifício do perfilho desbastado promoveu acúmulo crescente do micronutriente no cacho em função das doses aplicadas. No segundo experimento, a aplicação foliar de ^{10}B foi menos eficiente em absorver o micronutriente (1,0%) que a aplicação no solo (1,7%) e no orifício do perfilho desbastado (1,4%), porém valores baixos comparados com outras culturas. Do total de ^{10}B absorvido na aplicação no solo, a contribuição do fertilizante para as estruturas vegetativas (limbo, bainha e pseudocaule), produtivas (fruto e engaço) e perfilhos foram maiores do que quando aplicado nas folhas. Nas condições do presente experimento, conclui-se que a aplicação de B não influenciou o desenvolvimento e produção da bananeira 'Grande Naine' em função das doses e formas de aplicação do micronutriente.

Palavras-chave: *Musa* spp.; forma de aplicação; isótopos estáveis; micronutriente.

Boron in banana plant

ABSTRACT

Banana is an important fruit in the international market and one of the most consumed fruit in the world. Higher levels of productivity and increased economic returns are attained with adequate nutrient management of orchards. Micronutrients are poorly studied on banana production, especially boron, which affects development of growing buds. This work had the objective to establish responses of banana plant to boron fertilization at different rates and application methods as well as to evaluate the absorption and distribution of B in plants, using the stable isotope technique (^{10}B and ^{11}B). Two field studies were conducted: one to evaluate the effects of the B rates (0, 0.85, 1.70 and 3.40 g plant^{-1}) with different application methods (soil, leaf and tiller hole chopped) on soil nutrient availability, plant growth, nutritional status and fruit production and another to evaluated B absorption and distribution in plants using the stable isotope technique with application of 1.70 g plant^{-1} of B, using the boric acid enriched with ^{10}B (99%) with different application methods (soil, leaf and tiller hole chopped). The results of the experiment with B rates and application methods were submitted to analysis of variance and when it was observed significant effects, regression equations were fitted for studied variables. For the experiment using ^{10}B, means and standard errors of response variables were determined. In the first experiment, the application of B either to the soil or to the leaves increased the micronutrient content in the soil, but increases on soil B availability were not observed when the fertilizer was applied in the tiller hole chopped (~0,3 mg kg^{-1} de B). Data also showed that there were no effects of B application on banana plant growth (height and pseudostem diameter) at the blooming stage. In leaf samples collected biweekly after B application, leaf B concentration was more significant and lasted up for one month when the micronutrient was applied in the tiller hole chopped. However, in the last foliar sampling (at blooming) it was observed that there was no effect of application methods on leaf B concentration (~20 mg kg^{-1}). There were no significant effects on fruit production according to rates and application methods of B, but the application in the tiller hole chopped promoted an increased accumulation of the micronutrient in the bunch due of the applied rates. In the second experiment, the foliar application was less efficient in absorbing the micronutrient (1.0%) compared to the soil (1.7%) and in the

tiller hole chopped (1.4%) based on the amounts of B in plants derived from the labelled fertilizer. These values were lower when compared to other agricultural crops. The absorbed ^{10}B applied to the soil and in the chopped tiller hole contributed more significantly to B found in vegetative structures (leaf, sheath and pseudostem), productive ones (fruits and rachis of the inflorescence) and tillers compared to leaf B application. Under the conditions of this experiment, it was concluded that the application of B did not influenced the development and production of the banana plant 'Grande Naine' according to rates and application methods of the micronutrient studied in the experiments.

Key words: *Musa* spp.; application form; stables isotope; micronutrient.

1 INTRODUÇÃO

A bananeira (*Musa* spp.), pertencente à família Musaceae, é uma das fruteiras mais cultivadas nos países tropicais e seu fruto um dos mais consumidos no mundo. A banana é considerada a fruta tropical de maior importância para o Brasil, pois mobiliza grande contingente de mão-de-obra, permite rápido retorno econômico ao produtor e movimenta apreciável gama de insumos em toda cadeia produtiva. Atualmente o país se destaca como um dos principais produtores mundiais, com mais de sete milhões de toneladas produzidas em 2008 (FAOSTAT, 2010), porém associadas à baixa produtividade (13,9 t ha^{-1}) comparada com alguns países produtores e exportadores da fruta, como Honduras (43,3 t ha^{-1}) e Costa Rica (42,5 t ha^{-1}).

A bananeira possui crescimento rápido e exige, para seu bom desenvolvimento e produção, quantidades adequadas de água e nutrientes disponíveis. Os nutrientes podem ser supridos pelo solo e pelos resíduos das colheitas, no entanto, para produções economicamente viáveis, na maioria das vezes, é necessário aplicar corretivos e fertilizantes (BORGES et al., 2006), pois os solos da maioria das regiões produtoras no País são ácidos e de baixa fertilidade (BORGES & OLIVEIRA, 2000).

A baixa produtividade no cultivo de bananeiras pode ser, em parte, devida à deficiência de micronutrientes. Dentre os micronutrientes, o boro (B) se destaca no cultivo de bananeiras, pois suas funções estão ligadas ao crescimento da gema apical e das laterais (perfilhos), formação de raízes, na emissão da inflorescência e no enchimento dos frutos (MOREIRA, 1999). No entanto, não existem recomendações seguras sobre dose e forma de aplicação deste micronutriente em bananeiras, o que ocasiona frequentemente problemas relacionados com desequilíbrio nutricional nesta cultura, tanto pela aplicação abaixo da demanda da cultura quanto em excesso.

Sendo assim, a geração de informações sobre a aplicação de B em bananeiras é fundamental para a manutenção da bananicultura, principalmente na região do Vale do Ribeira, onde se concentra a maior parte da produção da fruta no Estado de São Paulo (IBGE, 2010). Outrossim, a região possui importantes reservas com remanescentes da Mata Atlântica, o que limita a expansão de novas áreas para cultivo de bananeiras por questões ambientais, reforçando a necessidade do aumento da produtividade e retorno econômico por área cultivada.

Deste modo, o objetivo deste trabalho foi avaliar as respostas da bananeira 'Grande Naine' à adubação com boro em diferentes doses e formas de aplicação e também avaliar sua absorção e a distribuição de boro na planta com o auxílio da técnica de isótopos estáveis, nas condições de cultivo do Vale do Ribeira.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Importância Econômica da Bananicultura

Há vários anos o Brasil se destaca entre os principais produtores mundiais de banana, com uma produção em 2008 de cerca de 7,1 milhões de toneladas em aproximadamente 514 mil ha (FAOSTAT, 2010). Deste total de frutos produzidos no País, a maioria foi comercializada no mercado interno e somente 1,9% do total foi exportado (IBRAF, 2009; IBGE, 2010), sendo a banana a segunda fruta mais consumida no Brasil.

A produtividade média nacional é baixa (13,9 t ha^{-1}), devido principalmente às grandes diferenças tecnológicas entre as regiões produtoras. Embora o Brasil seja um grande produtor, apresenta pouca participação no cenário internacional, devido ao enorme mercado interno e à baixa qualidade das frutas.

No Brasil, a bananeira é cultivada em todos os Estados da federação, desde a faixa litorânea até os planaltos do interior, em altitudes que variam de zero a mais de 1.000 m (ALVES, 1999). Os Estados que se destacam na produção nacional são: Bahia, São Paulo, Ceará, Minas Gerais, Santa Catarina e Rio Grande do Norte.

No Estado de São Paulo, a maior área em extensão com o plantio de bananeiras concentra-se na região do Vale do Ribeira, com cerca de 37 mil ha (65% do Estado) e produção de aproximadamente 871 mil toneladas da fruta (71% do Estado) no ano de 2008 (IBGE, 2010).

O interesse pelo cultivo de bananeiras tem crescido consideravelmente nas últimas três décadas por apresentar rápido retorno do capital investido e fluxo contínuo de produção a partir do primeiro ano de cultivo, o que o torna atraente para os agricultores (AGRIANUAL, 2006). A cultura da banana também tem grande importância no aspecto social, constituindo importante fonte de renda dos pequenos e médios produtores e da alimentação da população de baixa renda.

2.2 Características da Planta e Condições de Desenvolvimento da Cultura

A bananeira é uma planta monocotiledônea típica das regiões tropicais úmidas. É um vegetal herbáceo completo, pois apresenta raiz, caule, folhas, flores, frutos e sementes. O rizoma (caule verdadeiro da bananeira) é subterrâneo e atrofiado, de onde são emitidas as raízes primárias e as brotações laterais (perfilhos ou rebentos), que darão origem as novas plantas de bananeiras e a continuidade da touceira ou da "família" (BORGES et al., 2000). Existe um ponto de ligação entre os rizomas da "planta-mãe" e do perfilho, por onde se processam trocas de seiva e hormônios, como um "cordão umbilical" (MOREIRA, 1999).

As raízes primárias são emitidas em grupos de três ou quatro, totalizando 200 a 500 raízes, com espessura de 5,0-8,0 mm, brancas e tenras quando novas e saudáveis, tornando-se amarelas e endurecidas com o tempo. O sistema radicular é fasciculado, e atinge distâncias de até 5,0 m, no entanto é mais comum atingir a 1,0-2,0 m. Essa característica varia de acordo com a cultivar, tipo de solo e com o manejo nutricional das plantas. Além disso, o sistema radicular da bananeira é superficial, com cerca de 40% da biomassa encontrada na camada de 0-10 cm e 60-85% na camada de 10-30 cm (BORGES et al., 2000). Normalmente, em toda a extensão da superfície externa das raízes, existem abundantes radicelas, que retiram a água do solo, juntamente com os elementos químicos necessários ao desenvolvimento da planta (MOREIRA, 1999).

O pseudocaule, resultante da união das bainhas foliares, termina com uma copa de folhas longas e largas, com nervura central desenvolvida. A bananeira emite de 30-70 folhas, dependendo da cultivar, com o aparecimento de nova folha a cada 7-11 dias de acordo com as condições climáticas (BORGES et al., 2000).

Do centro da copa emerge a inflorescência com brácteas ovaladas de coloração normalmente roxo-avermelhada, em cujas axilas nascem as flores. Cada grupo de flores reunidas forma uma penca ("mão"), que varia de 7-15 pencas, dependendo da cultivar, com número variável de frutos ("dedos"), originados por partenocarpia (BORGES et al., 2000). Segundo os mesmos autores, os frutos inicialmente são de coloração verde, e passam ao amarelo com o amadurecimento.

Para o adequado desenvolvimento da bananeira é necessário calor constante, umidade relativa do ar elevada e adequada distribuição de chuvas ao longo do ano (MOREIRA, 1999). A distribuição de chuvas deve ser em torno de 100-180 mm por mês, desde que o solo não seja excessivamente arenoso (FIGUEIREDO, 1998).

Segundo MOREIRA (1999) essas quantidades de chuvas são registradas entre os paralelos de 30º de latitude norte e sul, regiões onde as temperaturas variam entre os limites de 15 ºC e 35 ºC. Desde que a temperatura e o regime de precipitação pluvial sejam adequados, é possível, entretanto, o seu cultivo em latitudes superiores a 30º, como nos Estados de Mato Grosso do Sul, Paraná, Rio Grande do Sul, Santa Catarina e São Paulo, onde são empregadas cultivares com maior tolerância ao frio, como a Prata Anã. Quando a deficiência hídrica anual é superior a 80 mm, a cultura não se desenvolve de maneira satisfatória, com prejuízos à produtividade e a qualidade dos frutos (BORGES et al., 2000).

Em todo território brasileiro encontra-se condições edáficas favoráveis ao cultivo da bananeira. Contudo, os pomares nem sempre são estabelecidos em solos mais adequados, o que reflete em baixa produtividade e má qualidade dos frutos. Na maioria das vezes, segundo BORGES et al. (1999), o desconhecimento das características do solo e, sobretudo, da exigência nutricional da planta leva ao manejo inadequado da adubação, o que afetará o desenvolvimento e a produtividade da bananeira.

2.3 Importância da Nutrição em Bananicultura

A bananeira exige grandes quantidades de nutrientes para a manutenção de produções elevadas ao longo do tempo. Para tanto, os nutrientes podem ser fornecidos pelo solo, com o plantio em áreas de fertilidade natural elevada, ou por meio de fertilizantes em quantidades e proporções adequadas às necessidades da cultura (SILVA et al., 1999).

Segundo BORGES et al. (1999), as baixas produtividades e a má qualidade de frutos podem ser explicadas pelas precárias estruturas de produção e comercialização, baixo nível tecnológico empregado nos cultivos, deficiência no controle de pragas e doenças e, principalmente, pelo manejo nutricional inadequado das bananeiras. Como forma de aumentar a produtividade, a adubação deve fornecer os nutrientes na forma e quantidade adequadas e no momento correto. SOTO-BALLESTERO (2000) analisou as necessidades de nutrientes em plantas de bananeira em suas fases de desenvolvimento fenológico e, de acordo com a curva de crescimento da planta, encontrou que as exigências entre a fase inicial até a independência do perfilho da "planta-mãe" são muito baixas em comparação com as fases adultas. A partir da independência do

perfilho da "planta-mãe", o aumento de biomassa é exponencial, incrementando oito vezes até a floração e doze vezes até a colheita.

MOREIRA (1999) determinou a extração de nutrientes em um hectare cultivado com 2.500 bananeiras da cultivar Nanicão e com produção média de 77 t ha^{-1} e observou as seguintes quantidades de nutrientes extraídas da parte vegetativa das bananeiras: K: 1.053 kg ha^{-1}, N: 264 kg ha^{-1}, Ca: 159 kg ha^{-1}, Mg: 63 kg ha^{-1}, P: 32 kg ha^{-1}, S: 11 kg ha^{-1}, Mn: 6.846 g ha^{-1}, Fe: 3.055 g ha^{-1}, B: 367 g ha^{-1}, Zn: 357 g ha^{-1}, Cu: 120 g ha^{-1} e Mo: 1,27 g ha^{-1}. O mesmo autor também quantificou os nutrientes exportados das partes produtivas das bananeiras (engaço + frutos) e observou as seguintes quantidades: K: 633 kg ha^{-1}, N: 148 kg ha^{-1}, Mg: 22 kg ha^{-1}, Ca: 21 kg ha^{-1}, P: 20 kg ha^{-1}, S: 5 kg ha^{-1}, Mn: 813 g ha^{-1}, Fe: 707 g ha^{-1}, B: 165 g ha^{-1}, Zn: 139 g ha^{-1}, Cu: 69 g ha^{-1} e Mo: 0,31 g ha^{-1}.

A nutrição mineral das bananeiras foi pouco estudada, especialmente com relação aos micronutrientes (QUAGGIO & PIZA Jr., 2001). Em geral, as exigências nutricionais destas plantas são pouco conhecidas segundo estes autores. No cultivo da bananeira, os problemas relacionados ao suprimento de micronutrientes ocorrem principalmente com B e Zn, limitando o crescimento, desenvolvimento e produção das plantas (SILVA & RODRIGUES, 2001).

2.4 Caracterização do Elemento Boro

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

Segundo MARCONI et al. (1980), citado por DANTAS (1991) os principais minerais de B de ocorrência nos solos são axinita [$Ca_2(Mn,Fe)Al_2(BO_3)(Si_4O_{12})(OH)$], boracita ($Mg_3B_7O_{13}Cl$), bórax ($Na_2B_4O_7.10H_2O$), colemanita ($Ca_2B_6O_{11}.5H_2O$), damburita ($CaB_2Si_2O_8$), datolita [$CaBSiO_4(OH)$], dumortierita [$(Al,Fe)_7O_3(BO_3)(SiO_4)_3$], turmalina [$(Na,Ca)(Al,Fe,Mg)_3Al_6(BO_3)_3Si_6O_{18}(OH)_4$] e ulexita ($NaCaB_5O_9.8H_2O$).

O intemperismo de rochas contendo B origina principalmente o ácido bórico não ionizado em solução (H_3BO_3), que pode migrar através da água de drenagem. Dessa

forma, o B é um elemento de alta mobilidade geoquímica e, por essa razão, acumulam-se nos oceanos, que apresentam teores médios acima de 4,0 mg L^{-1} (RAIJ, 1991).

2.5 Boro como Nutriente

O B é um dos oito micronutrientes requeridos para o desenvolvimento das plantas. BERGMAN (1984) relatou que estudos verificaram os efeitos de B nas plantas já em 1876. O primeiro relato de que o B é essencial para as plantas foi realizado por WARINGTON (1923) que concluiu que o crescimento das plantas de *Vicia faba* L. cultivadas em meio sem a suplementação de B foi reduzido. Essas características foram recuperadas somente através do seu fornecimento. Após a descoberta de sua essencialidade em plantas, a compreensão das funções do B tornou-se a principal tarefa.

A fase inicial dos estudos foi baseada nos sintomas de deficiência de B em plantas. Foram descobertos que o B tem função no transporte de açúcares e na síntese de ácidos nucléicos (MENGEL et al., 2001) e tem papel importante na síntese, formação, estabilidade e rigidez da parede celular da planta e, como consequência, é crítico para o seu crescimento (MATOH, 1997; CARPITA & McCANN, 2000; ISHII et al., 2001; BROWN et al., 2002b; HULL, 2002). Este elemento participa da elongação celular, divisão e metabolismo de ácidos nucléicos (KOUCHI & KUMAZAWA, 1976; MARSCHNER, 1995; MENGEL et al., 2001), metabolismos de carboidratos (MARSCHNER, 1995; MENGEL et al., 2001), organização e funcionamento de membranas (POLLARD et al., 1977; TANADA, 1983), dos processos de divisão celular (SILVA et al., 1999), metabolismo das auxinas (LEWIS, 1980; MARSCHNER, 1995; MENGEL et al., 2001), metabolismo de compostos fenólicos (LEWIS, 1980; MARSCHNER, 1995; MENGEL et al., 2001), lignificação da parede (LEWIS, 1980), transporte de auxinas (GAUCH, 1972; TANG & FUENTE, 1986), integridade da membrana plasmática (BROWN et al., 2002b; CARA et al., 2002; DORDAS & BROWN, 2005), respiração (MARSCHNER, 1995; MENGEL et al., 2001), germinação de grão de pólen e crescimento de tubo polínico (AGARWALA et al., 1981), e da fixação de nitrogênio (atividade da nitrogenase e formação do nódulo) e diminuição da toxicidade de alumínio (MARSCHNER, 1995; MENGEL et al., 2001). Entretanto, alguns dos efeitos nos processos fisiológicos não ocorrem de forma direta e são considerados efeitos secundários (“efeitos cascatas”) (MARSCHNER, 1995).

Recentemente, outra função do B em plantas superiores tem sido relatada a nível molecular, na formação de ligações cruzadas do B com as pectinas na parede celular (BELL & DELL, 2008). O B é exigido pelas plantas no processo de estabilização das paredes das células com a formação de um complexo borato-rhamnogalacturonana II (RG-II) que compreende em um complexo de polissacarídeos pécticos estruturalmente localizados na parede celular primária (O'NEILL et al., 2004). HAN et al. (2008) observaram que a deficiência de B resultou na diminuição do crescimento e aumento no peso específico da folha de citros, explicado pelo papel do B na formação da parede celular primária.

GOLDBACH et al. (2007) descreveram que a função do B no processo fotossintético ainda é desconhecida, mas sua deficiência pode afetar o funcionamento das membranas do cloroplasto, afetando o transporte de elétrons nos tilacóides, resultando em fotoinibição. Ainda, segundo os autores, a deficiência de B pode afetar indiretamente a fotossíntese e a transpiração através da diminuição da área foliar e alteração dos compostos presentes nas folhas.

Há relatos em várias culturas que a deficiência de B tem efeito significativo sobre a produção até quando não há sinais visuais de deficiência e mesmo quando a concentração de B está na faixa adequada (PERICA et al., 2001b; ASAD et al., 2003). COSTA & OLIVEIRA (2001) verificaram que os sintomas de deficiência de B são mais severos sob condições de estresse hídrico. Porém a diminuição da decomposição da matéria orgânica, importante fonte de B no solo, e o menor desenvolvimento do sistema radicular também são fatores significativos para o agravamento da deficiência de B. Como consequência das suas funções estruturais e da sua imobilidade no floema em muitas espécies, o B tem que ser suprido continuamente, sendo que flutuações na sua disponibilidade no solo comumente têm efeitos negativos no crescimento e na produtividade das plantas (BROWN et al., 2002a).

A toxicidade de B pode ser tão grave quanto a sua deficiência, pois o intervalo entre os limites de deficiência e toxicidade é muito estreito (DECHEN & NACHTIGALL, 2006; HAVLIN et al., 2005). EPSTEIN & BLOOM (2006) descrevem que a concentração de B nos tecidos das plantas pode variar de 5 mg kg^{-1} a 300 mg kg^{-1}, com base na massa da matéria seca. Segundo MARSCHNER (1995), o limite crítico para toxicidade de B na matéria seca de folhas varia acentuadamente entre espécies: 100 mg kg^{-1} para soja e milho; 400 mg kg^{-1} para pepino; 1.000 mg kg^{-1} para abobrinha. Em bananeira, teores de B acima de 25 mg kg^{-1} na matéria seca das folhas ocasionam

sintomas de clorose e necrose nas margens do limbo foliar, onde ocorrem altas concentrações de B (MOREIRA, 1999).

2.6 Absorção do Boro em Plantas

A absorção de B pelas raízes ocorre, principalmente, na forma de H_3BO_3 e é influenciada por vários fatores ambientais, tais como, pH, textura do solo, umidade, temperatura, matéria orgânica, intensidade de luz e mineralogia da argila (HU & BROWN, 1997; GUPTA, 2002). Segundo CAMARGO et al. (2001), a adsorção do B aos colóides minerais e orgânicos controla a concentração dos íons e complexos na solução do solo e exerce, então, grande influência na absorção deste nutriente pelas plantas.

DORDAS et al. (2000) sugeriram que a absorção de B ocorre pela combinação de dois tipos de transporte passivo através da membrana celular. Pela simples difusão do micronutriente através da dupla camada lipídica (cujo coeficiente de permeabilidade varia de acordo com a espécie), e possivelmente pelo transporte através de canais intermediários (aquaporinas), que são canais facilitadores da absorção de B e podem saturar a baixas concentrações do nutriente. Segundo DORDAS & BROWN (2000) a hipótese de absorção passiva de B é suportada pela difusão do H_3BO_3 através da bicamada lipídica da membrana, cuja permeabilidade é determinada pelo caráter lipofílico da molécula.

Há evidências de que a absorção do nutriente possa ocorrer, além da forma passiva, pela forma ativa. DANNEL et al. (1997) observaram que concentrações na seiva celular de raiz de girassol foram cerca de 22 vezes mais alta que a concentração de B na solução nutritiva (1 $mmol_c\ L^{-1}$). Esses resultados foram interpretados como evidência de um mecanismo de transporte dependente de energia, capaz de acumular B contra um gradiente de concentração. Porém, estes mesmos autores não observaram os mesmos efeitos em plantas crescidas em concentrações mais altas de B (100 $mmol_c\ L^{-1}$) e concluíram que a absorção passiva é predominante em condições de alto fornecimento de B.

2.7 Mobilidade do B em Plantas

O B é transportado pelo xilema, através do fluxo transpiratório e acumulam nos pontos de crescimento das folhas e dos ramos, onde permanece imóvel, não redistribuindo-se para outras partes da plantas (BROWN & HU, 1998). Por outro lado, este nutriente apresenta, mais comumente, mobilidade limitada no floema (OERTLI & RICHARDSON, 1970; RAVEN, 1980). Contudo, pesquisas recentes têm demonstrado que algumas espécies vegetais são classificadas em espécies em que o B tem redistribuição restrita e espécies em que o B é móvel no floema (BROWN & SHELP, 1997).

A mobilidade e a redistribuição do B são verificadas em plantas que produzem polióis (açúcares simples) (LOESCHER & EVERARD, 2000; NOIRAUD et al., 2001) como metabólito fotossintético primário, por exemplo, o sorbitol, o mantitol e o dulcitol, pois o complexo poliol-B-poliol é formado nos tecidos fotossintéticos e é transportado no floema para drenos ativos, como meristemas vegetativos ou reprodutivos. O sorbitol é transportado em plantas das famílias Plantaginaceae e Rosacea, o manitol nas Apiaceae, Combretaceae, Oleaceae e Plantaginaceae e o dulcitol na Celastraceae. Vários papéis têm sido sugeridos para os polióis, incluindo a osmoproteção, a extinção de espécies reativas de oxigênio, a facilitação do transporte de B, a tolerância à salinidade ou seca, e o envolvimento na interação entre planta-patógeno (LOESCHER & EVERARD, 2000; WILLIAMSON et al., 2002; POMMERRENIG et al., 2007). Em algumas plantas, a concentração de polióis excede ao de sacarose no floema (REIDEL et al., 2009).

A mobilidade do B em muitas espécies de plantas foi explicada devido à presença de polióis, porém, segundo LEHTO et al. (2004) em algumas plantas a redistribuição de B não está associada à produção de polióis, como em *Ulmus glabra* Huds., que apresentou alto grau de mobilidade de B no floema, mas não foi detectada a presença de polióis. Estes autores encontraram polióis em *Betula pendula* Roth, *B. pubescens* Ehrh., *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn. e *A. incana* (L.) Moench, porém não observaram a mobilidade do B no floema. Em canola, a mobilidade de B no floema tem sido observada, contudo não foi associada à presença de polióis (STANGOULIS et al., 2001), na qual deve existir outro mecanismo ou formação de complexos com outros componentes para explicar a mobilidade de B no floema em espécies de planta que não

contém polióis (LEHTO et al., 2004), como B-frutose (HU et al., 1997) e B-ácido málico (DEMBITSKY et al., 2002).

Em espécies em que o B é imóvel ou pouco móvel no floema, os sintomas de deficiência são observados primeiramente nos tecidos mais jovens, caracterizado pela interrupção do crescimento dos meristemas, clorose e necrose de folhas novas (RAIJ, 1991) e com o decorrer do tempo pela morte das gemas apicais (MENGEL et al., 2001). PAPADAKIS et al. (2004) sugeriram que a imobilidade de B seja considerada mecanismo de defesa da plantas ao excesso deste micronutriente, e que há crescimento vegetativo adequado, com teores elevados de B em folhas velhas e níveis normais em folhas novas.

2.8 Formas de Fornecimento de B para as Plantas

Segundo BELL & DELL (2008) o suprimento de micronutrientes para as plantas é realizado por meio de aplicações de fertilizantes químicos diretamente no solo ou realizado por meio de aplicações foliares. Ainda segundo os autores, a aplicação foliar é vantajosa quando as raízes não conseguem absorverem rapidamente os micronutrientes necessários para o crescimento da planta. O custo da aplicação foliar de micronutrientes geralmente é baixo em relação ao valor da cultura e comparado com a aplicação no solo, pois são utilizadas quantidades menores de micronutrientes e aplicados juntamente com os produtos fitossanitários.

Para COELHO & VERLENGIA (1973) a aplicação de micronutrientes no solo é efetiva por mais tempo do que as aplicações foliares, isto porque em plantas terrestres, a absorção de solutos pela superfície das folhas é restrita devido à presença de cutícula e de camadas de ceras na face externa da parede das células da epiderme (FURLANI, 2004). Segundo MALAVOLTA (1981), em culturas perenes muito deficientes em B recomenda-se utilizar as duas práticas até conseguir controlar sua carência, sendo que a aplicação no solo tem muito maior possibilidade de mostrar efeito residual do que a foliar, apesar desse efeito depender da fonte do fertilizante e do tipo de solo.

Estudos destacaram a importância do papel da aplicação foliar de nutrientes na produtividade da planta (ASAD et al., 2002; 2003; PERICA et al., 2001a). De acordo com REZENDE et al. (2005) a reposição dos nutrientes nas folhas, através de adubação foliar, mantém a taxa de fotossíntese por tempo maior, o que possivelmente reflete em maior produção de grãos de soja. DORDAS (2006) concluiu que a aplicação foliar de B

durante o florescimento teve efeito significativo sobre a produção e germinação de sementes de alfafa. Pulverizações foliares com B aplicadas no início do florescimento promovem aumento da frutificação, especialmente em árvores frutíferas, como em pêra (*Pyrus communis* L.) (WOJCIK & WOJCIK, 2003). Porém, não existem trabalhos com a utilização da adubação foliar do micronutrientes em bananeiras.

2.9 Uso da Técnica de Isótopos Estáveis

A utilização de isótopos (radioativos ou estáveis) tem sido útil em pesquisas sobre a absorção, transporte e redistribuição de nutrientes nos vegetais. BROWN et al. (1992) demonstraram que o uso de isótopo estável constitui-se método efetivo e relativamente barato de monitoramento no estudo do movimento de B em plantas e no solo. Com o desenvolvimento do espectrômetro de massas com fonte de plasma (ICP-MS) tornou-se possível discriminar os isótopos estáveis de B (^{10}B e ^{11}B), possibilitando vários estudos com o emprego de compostos enriquecidos em ^{10}B.

Foram realizados diversos estudos utilizando ácido bórico enriquecido com ^{10}B em diversas espécies vegetais de clima temperado como nectarina, pistacheiro, macieira, amendoeira, ameixeira, nogueira e cerejeira (BROWN & HU, 1996); e oliveira (PERICA et al., 2001a; 2001b). Na literatura nacional, estes estudos são mais raros, em destaque os trabalhos de BOARETTO et al. (2007) com citros, de LEITE et al. (2007) com cafeeiro, de SILVA (2007) com mamoneira, MATTIELLO et al. (2009) com eucalipto e de FRANCO et al. (2009) com cana-de-açúcar. Em bananeira, não foram encontrados trabalhos empregando compostos enriquecidos em ^{10}B.

2.10 Boro em Bananeiras

Segundo MOREIRA (2001) o B em bananeiras tem funções ligadas principalmente ao desenvolvimento das gemas de crescimento. Desta forma, ele participa da formação das folhas, flores, número de pencas e frutos no cacho. Também atua sobre a geração e o desenvolvimento dos perfilhos, com consequente participação no desenvolvimento interno do rizoma e da planta. Por atuar na coifa da raiz, o B determina o seu tamanho e a sua velocidade de crescimento. Participa da síntese dos ácidos nucléicos e das proteínas, além de aumentar a velocidade de transferência dos produtos sintetizados (açúcares) pelas folhas para os frutos.

A carência de B em bananeira acarreta na dificuldade de brotação dos perfilhos e deformações morfológicas nas folhas novas, que apresentam limbos estreitos e ondulações nas bordas das folhas. Promove ainda outros sintomas tais como, necrose nas margens das folhas sem clorose prévia, principalmente na ponta, clorose internerval e estrias perpendiculares às nervuras secundárias na face inferior das folhas (LAHAV, 1995).

No Brasil existem poucos estudos relacionados às exigências nutricionais de micronutrientes em bananeiras. Em levantamento do estado nutricional de bananais no Norte de Minas Gerais, SILVA & RODRIGUES (2001) constataram problemas relacionados com B. Por meio de análises foliares, foram detectados teores excessivos de B (acima de 25 mg kg^{-1}) em 94% das amostras. Estes altos teores de B observados em bananais no Norte de Minas Gerais se devem provavelmente a aplicação inadequada dos micronutrientes realizada pelos produtores. TEIXEIRA et al. (1997) recomendam a aplicação de 10 g de ácido bórico (1,70 g $planta^{-1}$ de B) no orifício aberto no rizoma, parcelados em duas aplicações. Porém, QUAGGIO & PIZA Jr. (2001) alertam para o risco de toxicidade em bananeiras devido à aplicação de dose de B acima do recomendado.

Em bananais na Colômbia, por meio de levantamento realizado de 1990 a 2000, BENAVIDES & ALZARTE (2002) analisaram amostras de solo a cada dois anos, determinando o pH, os teores de matéria orgânica, cálcio, fósforo, magnésio, potássio e B. O teor de B no solo variou de 0,4 mg dm^{-3} na primeira avaliação e reduziu para 0,01 mg dm^{-3} na última avaliação. Estes autores também observaram redução gradativa da produção ao longo dos anos em função da diminuição da disponibilidade de B no solo. No primeiro ano de avaliação os autores observaram produção média de cerca de 20 t ha^{-1} de bananas, no último ano, a produção média foi de cerca de 5 t ha^{-1} de bananas. Além disso, verificou-se queda da qualidade dos frutos ao longo do período analisado.

Para o adequado suprimento de B para bananeiras, BORGES & OLIVEIRA (2000) recomendam a aplicação de 0,55 kg ha^{-1} de B no primeiro ano de produção e nos ciclos seguintes a aplicação de 0,11 kg ha^{-1} de B. Quando forem detectados baixos teores foliares de B, os autores recomendam a aplicação de 1,1 a 2,2 g por planta de B no solo ou a aplicação foliar de uma solução contendo 0,11 a 0,33 g L^{-1} de B. As principais fontes de B utilizados na agricultura são: bórax (11% de B), ácido bórico (17% de B) e FTE BR12 (2,17% de B). Os teores adequados em folhas de bananeiras

compreendem de 10-25 mg kg^{-1}, segundo MALAVOLTA et al. (1997), MOREIRA (1999) e BATAGLIA & SANTOS (2001).

Segundo MOREIRA (1999), dada às pequenas quantidades de B que normalmente são empregadas, pela facilidade operacional e eficiência na absorção do fertilizante o mais recomendado seria aplicar no rizoma da "planta-mãe" recentemente colhida ou no perfilho desbastado. QUAGGIO & PIZA Jr. (2001) relataram respostas à aplicação de B e Zn em bananeira no orifício deixado pela ferramenta de desbaste ("Lurdinha"), demonstrando que 60 dias após a aplicação, os teores foliares destes micronutrientes apresentaram significativos aumentos. RODRIGUES et al. (2007) aplicou diferentes doses de B e Zn em bananeira 'Prata-Anã' no orifício do perfilho desbastado e conclui-se que a aplicação de diferentes doses de B não promoveu alterações nos teores foliares de N, P, K, S, Ca, Mg, B e Zn no primeiro ciclo e segundo ciclo, e somente no terceiro ciclo observou-se aumento dos teores de B com o aumento das doses aplicadas. Segundo a mesma autora, observou que a aplicação das diferentes doses de B não afetou a massa dos frutos por cacho nos três ciclos avaliados.

O principal problema prático da aplicação no solo consiste na dificuldade de distribuição uniforme do nutriente na lavoura, tanto a lanço como localizada, devido à pequena quantidade recomendada. Existe também a possibilidade da prática da adubação foliar, em que um ou mais nutrientes são aspergidos sobre a parte aérea das plantas, atingindo principalmente as folhas. As baixas quantidades exigidas, principalmente de micronutrientes, pelas plantas podem, em princípio, satisfazer as suas necessidades nutricionais por meio da adubação foliar (VOLKWEISS, 1991). Este mesmo autor destaca que a adubação foliar é bastante usada no Brasil, principalmente com B e Zn, isoladamente ou em combinação com os tratamentos fitossanitários, porém, segundo QUAGGIO & PIZA Jr. (2001) a sua eficiência depende, entre outros fatores, do volume de solução.

VARGAS et al. (2007) observaram vários casos de toxicidade de B em bananeiras associados ao manejo inadequado e sem critério quanto à dose e forma de aplicação. Os problemas associados ao suprimento de B frequentemente afetam o rendimento da cultura, porém pouco se conhece sobre dose, modo de aplicação e critérios seguros para o diagnóstico da necessidade de adubação com esse micronutriente para o cultivo de bananeiras. Assim, há a necessidade de mais estudos da aplicação de B em bananeiras para o estabelecimento da melhor forma de aplicação e de dose mais adequada para o desenvolvimento e produção de bananeiras.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização Geográfica e Clima da Área Experimental

Os experimentos foram realizados na fazenda experimental da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA) - Pólo Vale do Ribeira em Pariquera-açu, SP (24º36'31" Sul; 47º53'48" Oeste e 25 m s.n.m). O clima, segundo a classificação de Köppen, é Af: tropical chuvoso, sem estação seca, com a precipitação média do mês mais seco superior a 60 mm. O solo foi classificado por SAKAI & LEPSCHE (1984) como Cambissolo distrófico.

A precipitação mensal acumulada, médias mensais das temperaturas máximas e mínimas observadas durante a condução do experimento (janeiro/07 a dezembro/08) obtidas na Estação meteorológica da APTA Pólo Vale do Ribeira, Pariquera-açu (SP) são representadas na Figura 1.

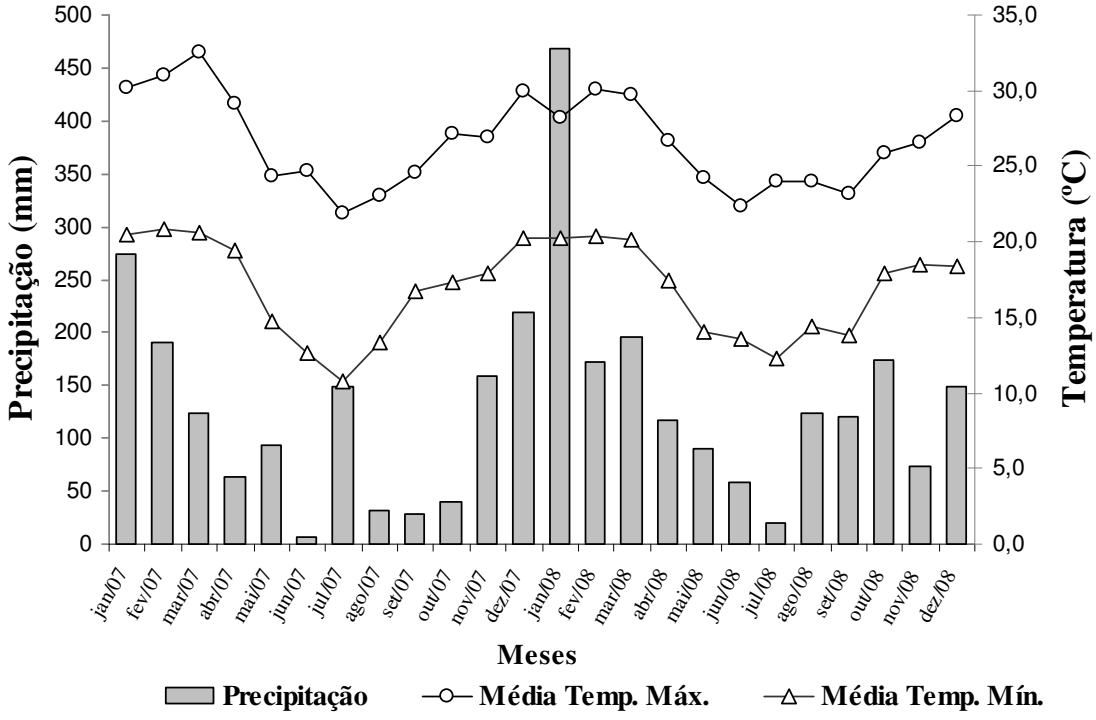

Figura 1 – Dados meteorológicos obtidos na Estação Experimental da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios – Pólo Vale do Ribeira, SP.

3.2 Instalação e Manejo da Área Experimental

Para a instalação de dois experimentos foram realizados em diversas áreas amostragem de solo em duas profundidades (0-20 cm e 20-40 cm) e determinados os seguintes atributos químicos do solo: pH, teores de matéria orgânica (MO), fósforo, potássio, cálcio, magnésio, hidrogênio + alumínio, capacidade de troca catiônica (CTC) e boro, de acordo com RAIJ et al. (2001). A partir destes resultados foram calculados os valores a soma de bases (SB) e saturação por bases (V). Para a instalação dos experimentos, elegeu-se a área onde se encontrou teores baixos de B no solo, e de acordo com a interpretação de MOREIRA (1999) são valores entre 0,20-0,40 mg dm^{-3}, esperando-se respostas positivas à aplicação de B. Os resultados da área escolhida são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Atributos químicos do solo nas camadas de 0-20 cm e 20-40 cm da área experimental, Pariquera-açu, SP, 2007.

Prof.	pH	MO	P-resina	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V	B
cm	$CaCl_2$	g dm^{-3}	mg dm^{-3}	----------	----------	----------	$mmol_c\ dm^{-3}$	----------	----------	%	mg dm^{-3}
0-20	4,6	29	6,0	1,3	36,0	12,0	47,0	49,3	96,3	51,0	0,23
20-40	4,5	18	1,0	0,5	17,0	5,0	52,0	22,5	74,7	30,0	0,23

A área escolhida para os experimentos foi preparada dois meses antes do plantio das bananeiras, com a realização de aração e gradagem, seguido da aplicação de calcário dolomítico em área total, em quantidade recomendada conforme a análise de solo, para elevar a saturação por bases a 60% e o teor de magnésio acima de 9,0 $mmol_c$ dm^{-3} (RAIJ et al., 1997).

Os cálculos das doses de fertilizantes para o plantio e formação foram realizados de acordo com os resultados da análise de solo e a produtividade esperada de 30-40 t ha^{-1}. A fosfatagem foi realizada juntamente com a calagem, distribuindo o fertilizante em área total (100 kg ha^{-1} de $P_2 0_5$).

Utilizaram-se mudas de bananeira micropropagadas em laboratório da cultivar Grande Naine, empregando-se o espaçamento de plantio de 2,0 m x 2,5 m, resultando

em população de 2.000 plantas ha^{-1}. O plantio das mudas de bananeiras foi realizado em sulco, sendo concluído em 15 de fevereiro de 2007.

O manejo da área seguiu as recomendações descritas por MOREIRA (1999), com o controle de doenças, especialmente sigatoka, e de pragas (nematóides e broca) de forma preventiva, por meio da aplicação de defensivos indicados para a cultura em épocas predeterminadas.

Aplicaram-se nas adubações de formação as doses de 250 kg ha^{-1} de N e 500 kg ha^{-1} de K_2O, sendo que o intervalo de aplicação seguiu-se as recomendações de TEIXEIRA et al. (1997). Os fertilizantes foram distribuídos em forma de semicírculo num raio de 100 cm na frente do perfilho mantido na ocasião do desbaste e aplicado de forma homogênea em todas as parcelas experimentais.

3.3 Delineamento Experimental e Descrição dos Tratamentos

3.3.1 Experimento I: Avaliação de doses e formas de aplicação de B

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso em esquema fatorial 3 x 3 (doses x formas de aplicação) mais um tratamento controle sem aplicação do micronutriente em três repetições. Cada unidade experimental foi composta por quatro linhas com quatro plantas cada, num total de 16 plantas (80 m^2). Utilizaram-se as quatro plantas centrais para as avaliações, mantendo como bordadura uma linha simples de cada lado das plantas avaliadas.

As doses utilizadas foram: 0,85; 1,70 e 3,40 g $planta^{-1}$ de B, estabelecidas em função da recomendação atual de aplicação, que é de 1,70 g $planta^{-1}$ de B (TEIXEIRA et al., 1997). As formas de aplicação foram: orifício do perfilho desbastado, solo e folhas. A fonte de B utilizada foi o ácido bórico (H_3BO_3, 17% de B).

Antes da aplicação dos tratamentos foram coletadas amostras de solo em duas profundidades (0-20 cm e 20-40 cm) nas parcelas experimentais. O local da amostragem foi realizado a uma distância de 30 cm do perfilho mantido em quatro plantas por parcela, formando uma amostra composta. As amostras de solo foram secas e analisaram-se os teores de B conforme RAIJ et al. (2001). Os teores de B nas camadas de solo amostradas encontraram-se em níveis baixos segundo a interpretação de MOREIRA (1999), entre 0,20-0,40 mg dm^{-3}.

Em dezembro de 2007 foi realizado o desbaste dos perfilhos das bananeiras, no qual o critério foi a manutenção da brotação mais vigorosa para continuar a "família", a qual será responsável pela produção da próxima safra, e os demais perfilhos realizou-se o corte do seu pseudocaule rente ao solo, sem a retirada da gema apical (Figura 2). Após o desbaste dos perfilhos, realizou-se a aplicação do fertilizante com B no solo e no orifício do perfilho desbastado.

Figura 2 – Família de bananeira após desbaste, Pariquera-açu, 2007.

As formas de aplicação de B foram realizadas da seguinte maneira:

a) aplicação no orifício do perfilho desbastado: em um dos perfilhos desbastados foi aberto um orifício na superfície deixada pelo corte do perfilho com uma ferramenta denominada "Lurdinha", e em seguida aplicaram-se as diferentes doses de B (Figura 3A);

b) aplicação no solo: as diferentes doses de B foram aplicadas a uma distância de 30-40 cm do perfilho mantido, em forma de semicírculo. Essas aplicações foram realizadas na mesma época da aplicação no orifício do perfilho desbastado (Figura 3B);

c) aplicação nas folhas: como as doses de B foram relativamente altas, resolveu-se fracioná-las em sete aplicações foliares para não superar limite máximo de concentração de 0,30 g L^{-1} de B, recomendado por BORGES & OLIVEIRA (2000). Para as aplicações foliares utilizou-se um pulverizador manual adaptado em garrafas de polietileno. A solução foi aplicada em ambas as faces (adaxial e abaxial) de todas as folhas da bananeira, de modo uniforme e evitando ao máximo que houvesse escorrimento da solução ao solo, para isso adicionou-se um espalhante adesivo à solução. As aplicações foram realizadas em intervalos de aproximadamente 15 dias,

sendo que a última aplicação coincidiu com a do solo e do orifício do perfilho desbastado (Figura 3C).

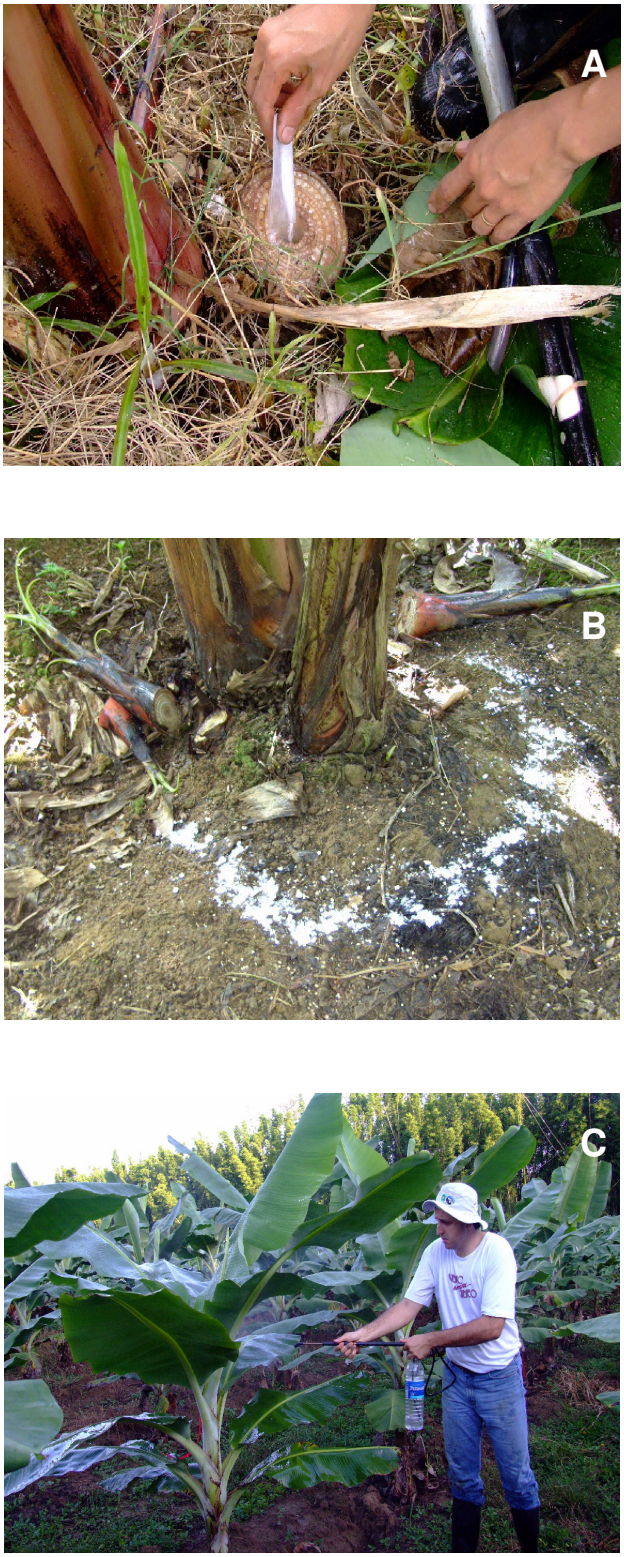

Figura 3 – Formas de aplicação de boro: A - Orifício do perfilho desbastado; B - Solo; C - Folhas.

3.3.2 Experimento II: Avaliação da absorção e distribuição de ^{10}B

O delineamento utilizado neste experimento foi inteiramente casualizado com três tratamentos que consistiam em formas de aplicação (via orifício do perfilho desbastado, via solo e via foliar) com três repetições, sendo que cada repetição constitui-se de uma "família" de bananeira. A dose de B aplicada foi de 1,70 g de B por "família", fornecida por ácido bórico enriquecido em ^{10}B (99,0% ^{10}B).

Em dezembro de 2007 foi realizado o desbaste dos perfilhos das bananeiras, utilizando o critério adotado no Experimento I. Após o desbaste dos perfilhos, realizaram-se as aplicações do B no solo e no orifício do perfilho desbastado. As formas de aplicação do fertilizante foram realizadas conforme descrito no Experimento I (Item 3.3.1).

3.4 Avaliações

3.4.1 Teores de B no solo

Foram realizadas coletadas de amostras de solo após a emissão da inflorescência, coincidindo com a última amostragem foliar. As amostragens foram feitas em duas camadas (0-20 cm e 20-40 cm) e o local da coleta foi a uma distância de 30 cm do perfilho mantido em quatro plantas por parcela, formando uma amostra composta. As amostras de solo foram secas e analisaram-se os teores de B conforme RAIJ et al. (2001).

3.4.2 Desenvolvimento das bananeiras

Após a emissão da inflorescência foram avaliados em quatro plantas por parcela os seguintes parâmetros:

a) Altura das plantas: foram medidas tomando-se como referência do nível do solo até o a inserção da última folha, utilizando-se uma régua;

b) Diâmetro do pseudocaule: foram medidos na altura de 30 cm acima do nível do solo por meio de um paquímetro;

c) Número de folhas vivas: foi considera aquela com mais da metade do limbo verde.

3.4.3 Estado nutricional das bananeiras

Após a aplicação de B foram coletadas amostras de tecidos foliares quinzenalmente até a emissão da inflorescência, em quatro plantas úteis por parcela para formar uma amostra composta. A folha amostrada foi a terceira a contar da folha mais nova para a mais velha, cortando-se uma faixa de 5 cm a 10 cm de largura na região central da folha, descartando a nervura central e as bordas. A última colheita de amostras de tecidos foliares foi realizada após a emissão da inflorescência de acordo com o procedimento descrito por MARTIN-PRÉVEL (1984).

As amostras de tecidos foliares foram lavadas, secas em estufa com circulação forçada a 65 ºC por 60 h e posteriormente moídas. As amostras foram analisadas quanto aos teores de N, P, K, Ca, Mg e B de acordo com BATAGLIA et al. (1983).

Na ocasião da colheita dos cachos, foram retirados três frutos em diferentes partes do cacho e de tecido dos engaços em quatro plantas úteis por parcela para formar uma amostra composta. As amostras de frutos e de engaços foram pesadas e secas em estufa com circulação forçada a 65 ºC até peso constante, e novamente pesadas para determinação da massa da matéria seca e os teores de N, P, K, Ca, Mg, B, Cu, Fe, Mn e Zn de acordo com BATAGLIA et al. (1983).

3.4.4 Produção de frutos

Na colheita dos frutos foram avaliados em quatro plantas úteis por parcela os seguintes parâmetros produtivos:

a) Massa do cacho e do engaço: o cacho foi pesado em balança eletrônica, posteriormente separaram-se as pencas do engaço (despencamento), e pesou-se o mesmo;

b) Número de pencas por cacho: foram quantificadas após o despencamento;

c) Produção: foi estimado considerando com base a massa do cacho e a população de 2.000 plantas ha^{-1};

d) Massa dos frutos da 2ª penca: após o despencamento, foram pesados em balança eletrônica os frutos da 2ª penca, contando-se no sentido descendente do cacho;

e) Número de frutos da 2ª penca: foram quantificadas após o despencamento;

f) Comprimento de frutos da 2ª penca: foi medida a distância entre as extremidades de quatro frutos centrais da 2ª penca, com uso de uma fita métrica;

g) Diâmetro de frutos da 2ª penca: o diâmetro foi medido na região central de quatro frutos da 2ª penca, com uso de um paquímetro.

3.4.5 Absorção e distribuição do ^{10}B

A "família" da bananeira foi colhida inteira e separada em diversas partes das plantas (raiz, rizoma, pseudocaule, folhas, bainha, engaço, frutos e perfilho) e pesadas individualmente. Amostras de tecidos foram retidas das diferentes partes da planta, e posteriormente pesadas e secas em estufa de circulação forçada a 65 ºC até peso constante, novamente pesadas para a determinação da massa da matéria seca, do teor de B total e da razão isotópica $^{10}B/^{11}B$.

O teor de B total foi determinado por meio de digestão por via seca (mufla) e quantificado pelo método colorimétrico da azometina H (BATAGLIA et al., 1983). Os extratos obtidos após a digestão do material incinerado foram acondicionados em recipientes plásticos hermeticamente fechados e armazenados em câmara fria. Para a determinação da razão isotópica ($^{10}B/^{11}B$) esses extratos foram diluídos, quando necessário, para aproximadamente 0,1 mg L^{-1} de B, e levados para o espectrômetro de massas com fonte de plasma (ICP-MS) conforme BELLATO (1999) e BOARETTO et al. (2007).

A partir dos resultados da razão isotópica, calculou-se a porcentagem de B na planta proveniente do fertilizante ($\%B_{ppf}$) empregando-se a Equação 1 (TRIVELIN, 2000).

$$\%B_{ppf} = [(\text{átom.}\%\ ^{10}B_{AMOS} - \text{átom}\%\ ^{10}B_{NAT})/(\text{átom.}\%\ ^{10}B_{FERT} - \text{átom.}\%\ ^{10}B_{NAT})]*100 \qquad \text{(Eq.1)}$$

Onde:

$\%B_{ppf}$ = porcentagem de B na planta proveniente do fertilizante;

átom% $^{10}B_{AMOS}$ = porcentagem de átomos de ^{10}B na amostra de tecido vegetal;

átom.% $^{10}B_{NAT}$ = porcentagem de átomos de ^{10}B em amostras de tecido vegetal de plantas não tratadas com ^{10}B;

átom.% $^{10}B_{FERT}$ = porcentagem de átomos de ^{10}B no fertilizante aplicado.

Para o cálculo da concentração do B na planta proveniente do fertilizante, foi empregada a Equação 2:

$$mg\ kg^{-1}\ B_{ppf} = (\%B_{ppf} * mg\ kg^{-1}\ de\ B)/100 \qquad (Eq.\ 2)$$

Foi também avaliado o desenvolvimento das plantas (altura e diâmetro do pseudocaule), seguindo os procedimentos descritos anteriormente.

3.5 Análises Estatísticas

No Experimento I, os dados obtidos dos atributos químicos do solo, crescimento, estado nutricional das plantas e produção de frutos foram submetidos à análise de variância usando os módulos MIXED e GLM do *Statistical Analysis System* (SAS). Para as situações nas quais detectaram efeitos significativos das doses do micronutriente foram ajustadas equações de regressão, estimando-se os efeitos das doses de B sobre as variáveis respostas.

No Experimento II, foram determinadas as médias e os erros padrões da produção de matéria seca, dos teores de B total, da porcentagem de B proveniente do fertilizante em diversas partes da bananeira, da distribuição do B proveniente do fertilizante em diversas partes da bananeira e do acúmulo de B nativo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Experimento I: Avaliação de Doses e Formas de Aplicação de B

4.1.1 Teores de B no solo

As aplicações de B no solo e nas folhas causaram incrementos dos seus teores no solo com o aumento das doses aplicadas nas duas camadas do solo avaliadas (Figura 4). As médias dos teores de B no solo na camada arável elevaram-se para níveis interpretados como alto (0,83 mg kg^{-1}) na aplicação de B no solo e médio (0,55 mg kg^{-1}) na aplicação de B nas folhas, de acordo com a classificação de MOREIRA (1999). O incremento do teor de B no solo foi maior na camada superficial, devido à aplicação direta do micronutriente na superfície do solo ou pelo escorrimento do excesso de

solução e lavagem pela água das chuvas do B aplicado nas folhas para o solo. Verificou-se que ocorreu lixiviação de parte do B quando aplicado no solo para a camada mais profunda (20-40 cm) e de acordo MOREIRA (1999) elevou a média do teor de B no solo a nível interpretado como médio (0,63 mg kg^{-1}).

A lixiviação de parte do B aplicado no solo foi favorecida devido à textura do solo da área experimental (areno-argiloso), a regularidade de ocorrência de chuvas ao longo do ano e o maior volume destas no período após a aplicação dos tratamentos (setembro/2007 a dezembro/2007) como apresentados na Figura 1. Segundo MATTIELLO (2008), a baixa adsorção de B na forma de molecular (H_3BO_3) nos colóides do solo pode favorecer a sua lixiviação, principalmente em regiões úmidas, em solos de textura média e arenosa e com baixos teores de matéria orgânica. Porém, apesar do B ser facilmente lixiviado para as camadas mais profundas do solo, as bananeiras podem absorver este B lixiviado, visto que apesar de suas raízes se concentrarem na camada arável (60-85% das raízes), estas podem atingir profundidades de até 2,0 m ALVES et al. (1999).

A aplicação da maior dose (3,4 g $planta^{-1}$ de B) aumentou o teor de B disponível no solo consideravelmente devido à alta solubilidade do ácido bórico, passando de nível baixo para muito alto (MOREIRA, 1999) na camada do solo de 0-20 cm (1,45 mg kg^{-1}) e para nível alto na camada do solo de 20-40 cm (0,88 mg kg^{-1}) (Figura 4). Devido à estes incrementos dos teores de B no solo, as plantas absorveram o B disponível na solução do solo em quantidades elevadas, o que ocasionou sintomas visuais de toxicidade nas folhas de bananeira. MORTVEDT (1994) recomendou a utilização de fontes de B com baixa solubilidade, tais como os boratos de cálcio e sódio (ulexita e colemanita) para minimizar as perdas de B. Segundo BOLOGNA & VITTI (2006), a maioria dos adubos boratados apresenta alta solubilidade, sujeito a maior mobilidade no solo e, consequentemente, maior grau de lixiviação, principalmente em solos arenosos.

A aplicação de B em folhas de bananeira também resultou em aumentos significativos nos teores de B no solo nas duas camadas de solo avaliadas (0-20 cm: 1,04 mg kg^{-1}; 20-40 cm: 0,54 mg kg^{-1}) (Figura 4) na maior dose aplicada. Apesar dos cuidados no preparo da solução, procedimentos para a pulverização e adição de espalhante adesivo à solução, provavelmente ocorreu escorrimento do excesso de solução para o solo ou perdas pela água das chuvas, abundantes após as aplicações foliares. THEISEN & RUEDEIL (2004) recomendam a adição de adjuvantes (espalhante adesivo) na solução de aplicação, que são capazes de modificar a atividade

dos produtos aplicados e as características da pulverização, aumentando a eficiência da aplicação foliar. Contudo, segundo FREEMAN & TURNER (1985) encontraram em folhas de bananeiras cultivadas no campo 60% mais cera (80-90 $\mu g\ cm^{-2}$) do que aquelas cultivadas em estufas, o que explicaria, em parte, a baixa eficiência de absorção de B pelas folhas de bananeiras.

A aplicação no orifício do perfilho desbastado não apresentou diferenças significativas nos teores de B no solo com o aumento da dose do micronutriente aplicado (Figura 4). A possível explicação da manutenção dos baixos teores de B no solo foi a ocorrência do "confinamento" do B no rizoma do perfilho e, consequente, redução da disponibilidade na solução do solo e do potencial de lixiviação. Segundo MOREIRA (1999), existe um ponto de ligação entre o rizoma da "planta-mãe" e do perfilho ("cordão umbilical") (Figura 5), por onde se processam as trocas de seiva e hormônios, e possivelmente ocorreu a absorção do B pelo perfilho desbastado e distribuição para a "planta-mãe", sem perdas de B para o solo.

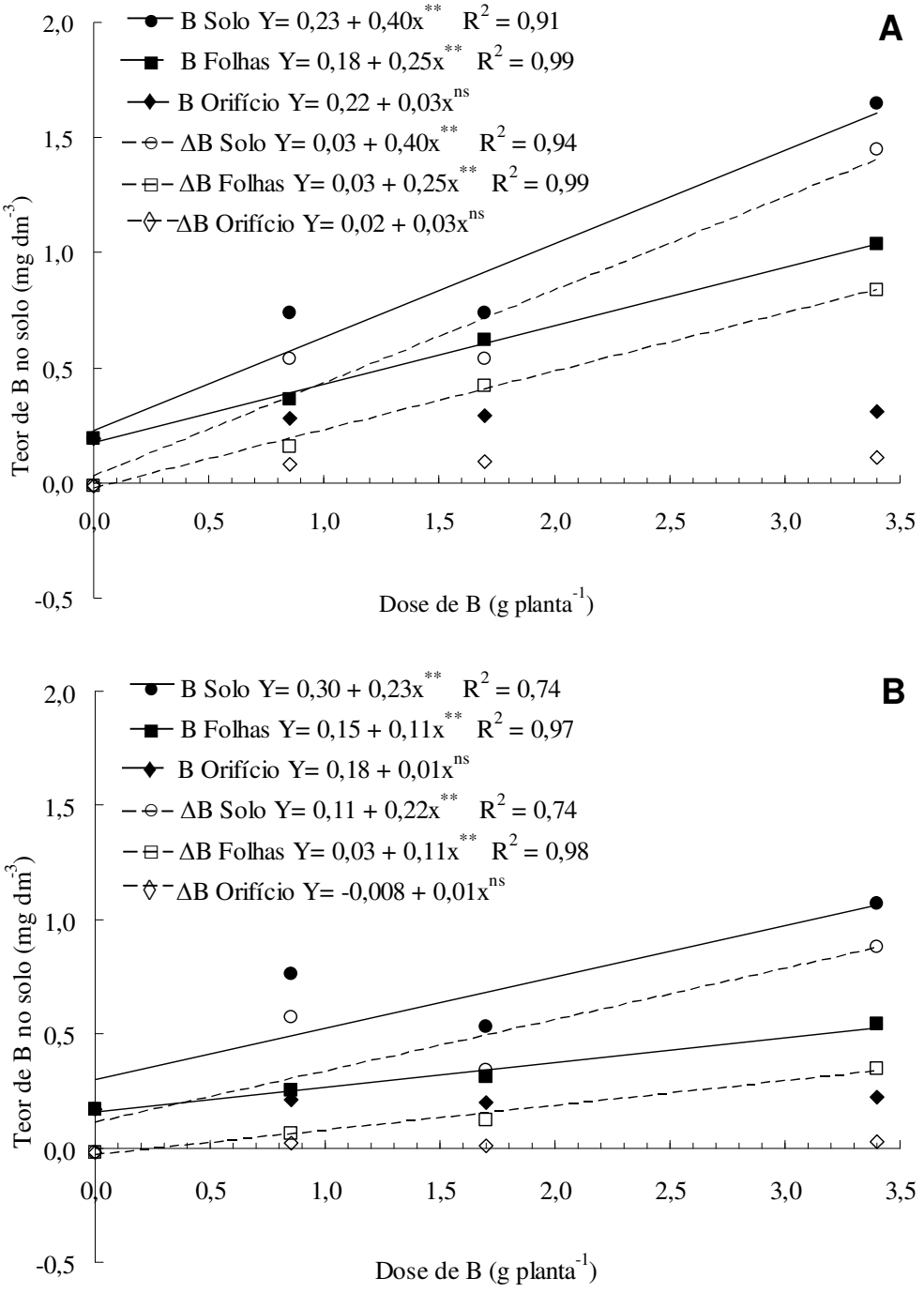

Figura 4 – Teores de B no solo e diferenças entre os teores de B na amostra final e amostra inicial (ΔB) em função das doses e formas de aplicação do micronutriente em bananeira 'Grande Naine', Pariquera-açu, SP, 2008. A: camada de 0-20 cm; B: camada de 20-40 cm. **: significativo (p<0,01); ns: não significativo (p>0,05)

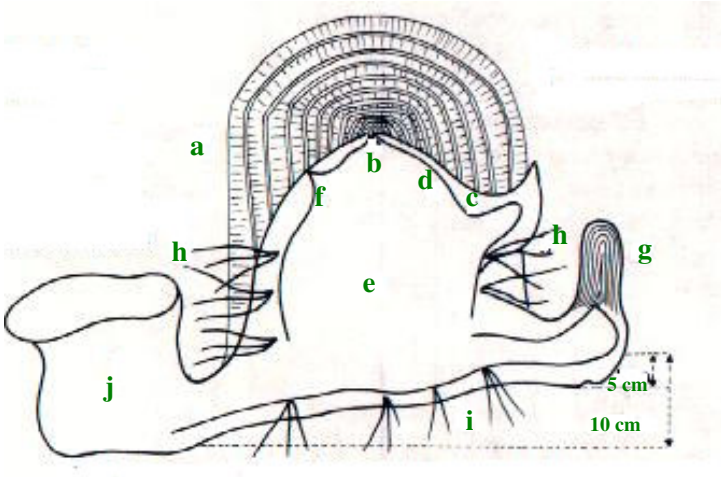

Figura 5 – Ligação entre rizomas da "planta-mãe" e do perfilho ("cordão umbilical") da planta de bananeira. Legenda: (a) Bainhas foliares; (b) Gema apical; (c) Zona cortical; (d) Capa de Mangin; (e) Cilindro central; (f) Gema lateral; (g) Perfilho; (h) Raízes adventícias; (i) Raízes não funcionais; (j) Resíduo de rizoma. Fonte: SOTO-BALLESTERO (2000).

4.1.2 Desenvolvimento das bananeiras

A aplicação de B nas bananeiras não causou efeitos sobre o desenvolvimento das plantas, avaliado pela altura (média de 216,7 cm) e diâmetro do pseudocaule (média de 19,8 cm) (Tabela 2). Comparando resultados da literatura, sem aplicação de B, observou-se que o desenvolvimento dessas plantas foi maior que reportado por SILVA et al. (2003) para bananeiras 'Grande Naine' cultivadas em diferentes ambientes de produção nos Estados da Bahia e de Minas Gerais, e menor que aqueles encontrados por SILVA et al. (2006) para clones de Cavendish cultivados em Minas Gerais, cujos dados demonstram alturas de plantas (253-271 cm) e diâmetros de pseudocaule (25,5-27,1 cm). A exigência nutricional entre variedades de bananeiras associado ao cultivo em diferentes condições edafoclimáticas podem explicar as diferentes respostas observadas entre os trabalhos de pesquisa acima, cujas diferenças ainda foram influenciadas pelos diferentes tratos culturais utilizados como nível de adubação, controle de doenças, pragas e plantas invasoras em cada local.

Também não houve efeitos da aplicação de B sobre o número de folhas ativas avaliados após a emissão da inflorescência, cuja média foi de 10 folhas por planta (Tabela 2). Durante o experimento observaram-se infecções nas folhas pelo fungo *Mycosphaerella fijiensis* Morelet. (sigatoka negra) em função da alta pressão de inóculo

na região, mesmo com a realização de pulverizações mensais preventivas com fungicidas, causou perdas de folhas (5-10%) devido à severidade desta doença, porém sem prejudicar os resultados do experimento. De acordo com BELALCÁZAR-CARVAJAL (1991), a manutenção de oito folhas é suficiente para o desenvolvimento normal do cacho até a colheita. Na prática, os bananicultores mantêm, no mínimo, número igual de folhas ativas e de pencas até a colheita (TEIXEIRA et al., 2001). RODRIGUES (2006), ao aplicar diferentes doses de Zn e B em bananeira 'Prata-anã' no orifício do perfilho desbastado, também não observou diferenças significativas na altura das plantas, diâmetro do pseudocaule e número de folhas ativas no florescimento em três ciclos de produção com a aplicação de B.

Tabela 2 – Parâmetros de desenvolvimento das plantas em função das doses e formas de aplicação de B em bananeira 'Grande Naine', Pariquera-açu, SP, 2008.

Formas de aplicação	Dose de B	Pseudocaule		Número de folhas [3]
		Altura [1]	Diâmetro [2]	
	g planta^{-1}	cm		
Solo	0,00	221,8	20,0	9,8
	0,85	226,7	20,1	10,6
	1,70	227,5	20,2	10,2
	3,40	202,9	19,6	10,1
Efeito		ns	ns	ns
Média		219,7	20,0	10,1
Folhas	0,00	221,8	20,0	9,8
	0,85	202,5	19,5	9,6
	1,70	223,3	20,0	9,9
	3,40	210,0	19,0	9,9
Efeito		ns	ns	ns
Média		214,4	19,6	9,8
Orifício	0,00	221,8	20,0	9,8
	0,85	219,4	20,0	10,2
	1,70	221,3	19,6	10,0
	3,40	201,3	19,1	10,1
Efeito		ns	ns	ns
Média		215,9	19,7	10,0
$DMS_{5\%}$para forma		7,79	0,5	0,4

[1] Altura da planta medido do nível do solo até o topo da roseta foliar;
[2] Diâmetro médio do pseudocaule medido a 30 cm acima do nível do solo;
[3] Contagem de folhas ativas na época da emissão da inflorescência com mais da metade do limbo verde.
ns: não significativo (p>0,05).

4.1.3 Estado nutricional das bananeiras

Não foram observados efeitos dos tratamentos nos teores foliares de N, P, K, Ca, Mg e B da bananeira para amostras coletadas após a emissão da inflorescência, cerca de 90 dias após dos tratamentos (Tabela 3). Segundo MALAVOLTA et al. (1997), os teores de N, P, K, Ca, Mg e B considerados adequados para bananeira são: N: 27,0-36,0 g kg^{-1}; P: 1,8-2,7 g kg^{-1}; K: 35,0-54,0 g kg^{-1}; Ca: 2,5-12,0 g kg^{-1}; Mg: 3,0-6,0 g kg^{-1}; e B: 10-25 mg kg^{-1}. Os teores de N, P e Mg observados neste trabalho (Tabela 3) encontraram-se próximos ao limite mínimo da faixa adequada para a cultura. Os teores de K (Tabela 3) encontram-se abaixo do limite mínimo da faixa adequada para a cultura. Somente os teores de Ca e o B (Tabela 3) encontraram-se dentro da faixa adequada para o desenvolvimento de plantas de bananeira.

Em trabalho desenvolvido por RODRIGUES et al. (2007), a aplicação das diferentes doses de Zn e B em bananeira 'Prata-anã' no orifício do perfilho desbastado também não alterou os teores de macro e micronutrientes com a aplicação de B no primeiro ciclo de produção. Devido à escassa literatura sobre a aplicação de B em bananeiras, comparou-se a influência da aplicação de B nos teores foliares do micronutrientes em outras culturas como em citros, na qual QUAGGIO et al. (2003) aplicaram diferentes doses de B e Zn no solo em complementação à adubação foliar, verificaram que os teores foliares de B mantiveram-se dentro da faixa considerada normal (36-100 mg kg^{-1}) somente com a aplicação foliar. A produtividade máxima de frutos ocorreu com a dose de 4 kg ha^{-1} de B aplicada no solo. Em milho, JAMAMI et al. (2006) aplicaram diferentes doses de B e Zn no solo e verificaram que não houve diferenças nos teores foliares de B entre os tratamentos nas épocas analisada (30, 60 e 90 DAE), embora os teores tenham sido menores no segundo estágio de desenvolvimento devido ao efeito de diluição. Os autores justificam que a pequena absorção de B pela planta de milho foi devido aos baixos teores de B no solo, embora tenham sido aplicadas doses crescentes desse nutriente, e que provavelmente os níveis iniciais de B no solo tenham sido suficientes para alcançar os teores normais na planta de milho, valores obtidos pela folha fisiologicamente madura aos 30 e 60 DAE e pela folha padrão para diagnose aos 90 DAE. Estes resultados mostram que os teores foliares de B são influenciados por diversos fatores, tais como espécie da planta, dose e forma de aplicação, disponibilidade de B no solo e época de amostragem foliar.

Tabela 3 – Teores foliares de nutrientes em função das doses e formas de aplicação em bananeira 'Grande Naine' aos 90 dias após a aplicação dos tratamentos (após a emissão da inflorescência), Pariquera-açu, SP, 2008.

Formas de aplicação	Dose de B	N	P	K	Ca	Mg	B
	g planta^{-1}	---------- g kg^{-1} ----------					mg kg^{-1}
Solo	0,00	24,8	1,5	21,6	6,4	2,7	19,0
	0,85	24,6	1,3	19,2	6,9	2,6	19,4
	1,70	25,5	1,3	17,7	6,6	2,5	19,2
	3,40	25,1	1,4	22,7	7,5	2,8	23,4
Efeito		ns	ns	ns	ns	ns	ns
Média		25,0	1,4	20,3	6,8	2,7	20,3
Folhas	0,00	24,8	1,5	21,6	6,4	2,7	19,0
	0,85	26,7	1,5	21,6	6,5	2,8	17,4
	1,70	23,5	1,3	19,4	5,9	2,5	23,1
	3,40	28,0	1,5	20,7	7,6	2,9	19,8
Efeito		ns	ns	ns	ns	ns	ns
Média		25,7	1,4	20,8	6,6	2,7	19,8
Orifício	0,00	24,8	1,5	21,6	6,4	2,7	19,0
	0,85	27,0	1,4	20,1	7,4	3,0	21,6
	1,70	27,4	1,4	20,4	6,7	2,7	16,8
	3,40	26,8	1,5	21,7	7,3	2,9	21,8
Efeito		ns	ns	ns	ns	ns	ns
Média		26,5	1,4	21,0	6,9	2,8	19,8
$DMS_{5\%}$para forma		2,8	0,1	2,1	0,9	0,3	2,7

ns: não significativo (p>0,05).

Entretanto, nas amostragens foliares em intervalos quinzenais após a adubação com B, os efeitos das doses e formas de aplicação do micronutriente foram evidentes (Figura 6), sendo que as aplicações no orifício do perfilho desbastado e no solo mostraram-se eficientes para elevar rapidamente os teores foliares de B. Mesmo com metade da dose recomendada de B, após duas semanas, o teor foliar foi superior a 25 mg kg^{-1}.

Depois de 90 dias da aplicação dos tratamentos (após a emissão da inflorescência), época padrão de amostragem foliar para a avaliação do estado nutricional em bananeiras, os teores de B no tecido foliar convergiram para aproximadamente 20 mg kg^{-1} (Figura 6), independentemente da dose e forma de aplicação, encontrando-se dentro da faixa de teores adequados para bananeira (10-25 mg kg^{-1}) proposta por MALAVOLTA et al. (1997), MOREIRA (1999) e BATAGLIA & SANTOS (2001).

Na dose mais elevada (3,4 g planta^{-1} de B) foram observados sintomas visuais de toxicidade do micronutriente, com clorose e necrose das bordas das folhas lançadas posteriormente à aplicação do ácido bórico (Figura 7). Com as aplicações no solo e no orifício do perfilho desbastado, os teores foliares de B atingiram 50 mg kg^{-1} (Figura 6C). Isto está relacionado com os resultados apresentados na Figura 4, na qual a aplicação no solo elevou os teores de B na camada de 0-20 cm a 1,65 mg dm^{-3}. Com a aplicação no orifício do perfilho desbastado, os sintomas visuais de toxicidade provavelmente deveram-se à ligação direta do perfilho com a "planta-mãe", sendo o B foi rapidamente absorvido pelo rizoma do perfilho e distribuído para a "planta-mãe".

Em cultivo hidropônico, VARGAS (1999) descreveu sintomas visuais de toxicidade de B em folhas de bananeira, como descoloração e necrose marginal descontínua e irregular, porém nas regiões adjacentes à veia principal não apresentaram mudanças de coloração, sendo que estes sintomas foram mais evidentes nas folhas mais jovens. SHAPIRA et al. (2006) relacionaram a gutação em folha de bananeira como mecanismo de remoção do excesso de B e outros minerais proveniente do fluxo xilemático e relacionaram maior conteúdo ou gradiente de concentração de B nas bordas das folhas como forma de eliminar o excesso de B dentro da planta e assim reduzir o efeito fitotóxico do mesmo nas folhas.

MARSCHNER (1995) e FAGERIA et al. (2002) indicaram que a partição do B nas partes da planta é governada pela transpiração. VARGAS et al. (2007) observaram que nas folhas acontecem as maiores taxas de transpiração, também encontraram as maiores quantidades de B, pois existe relação entre a intensidade da transpiração e a distribuição diferencial do nutriente na folha. Portanto, a suplementação excessiva de B cria um gradiente de seu conteúdo: pecíolos < parte média do limbo foliar < ponta da folha. Os mesmos autores reportam que a necrose das margens e nas pontas das folhas é resultado desta condição e expressões visuais são típicas de toxicidade do B.

Os sintomas visuais de toxicidade reduziram gradativamente nas folhas novas lançadas posteriormente à aplicação dos tratamentos, coincidindo com a redução dos teores de B nas análises foliares realizadas quinzenalmente (Figura 6).

O suprimento do B através do orifício do perfilho desbastado permitiu maior absorção do nutriente para o crescimento das bananeiras, devido à ligação entre o rizoma da "planta-mãe" e do perfilho, na qual ocorreu a absorção do B pelo perfilho desbastado e distribuição para a "planta-mãe". QUAGGIO & PIZA Jr. (2001) informaram que esse modo de aplicação é bastante eficiente, pois minimiza a ocorrência

de interações entre o fertilizante e a matriz coloidal do solo, além de reduzir perdas por lixiviação (GOLDBERG, 1993). Os autores ainda destacaram que essa técnica é simples e apropriada para o manejo da adubação em pequenas propriedades.

Apesar destes resultados positivos em relação à aplicação no orifício do perfilho desbastado e no solo, existem problemas relacionados ao padrão de amostragem foliar, pois como as maiores exigências nutricionais de B ocorrem na diferenciação floral, no florescimento e no enchimento dos frutos, é necessário que os teores de B no solo e nas folhas estejam adequados para o bom desenvolvimento em todas estas fases. Porém, MARTIN-PRÉVEL (1984) recomenda a amostragem foliar em bananeira após a emissão do último conjunto de flores femininas e, portanto, o fornecimento de B após esta fase não afetaria o número de pencas e de frutos, consequentemente a produção, e o B aplicado somente seria aproveitado no próximo ciclo produtivo.

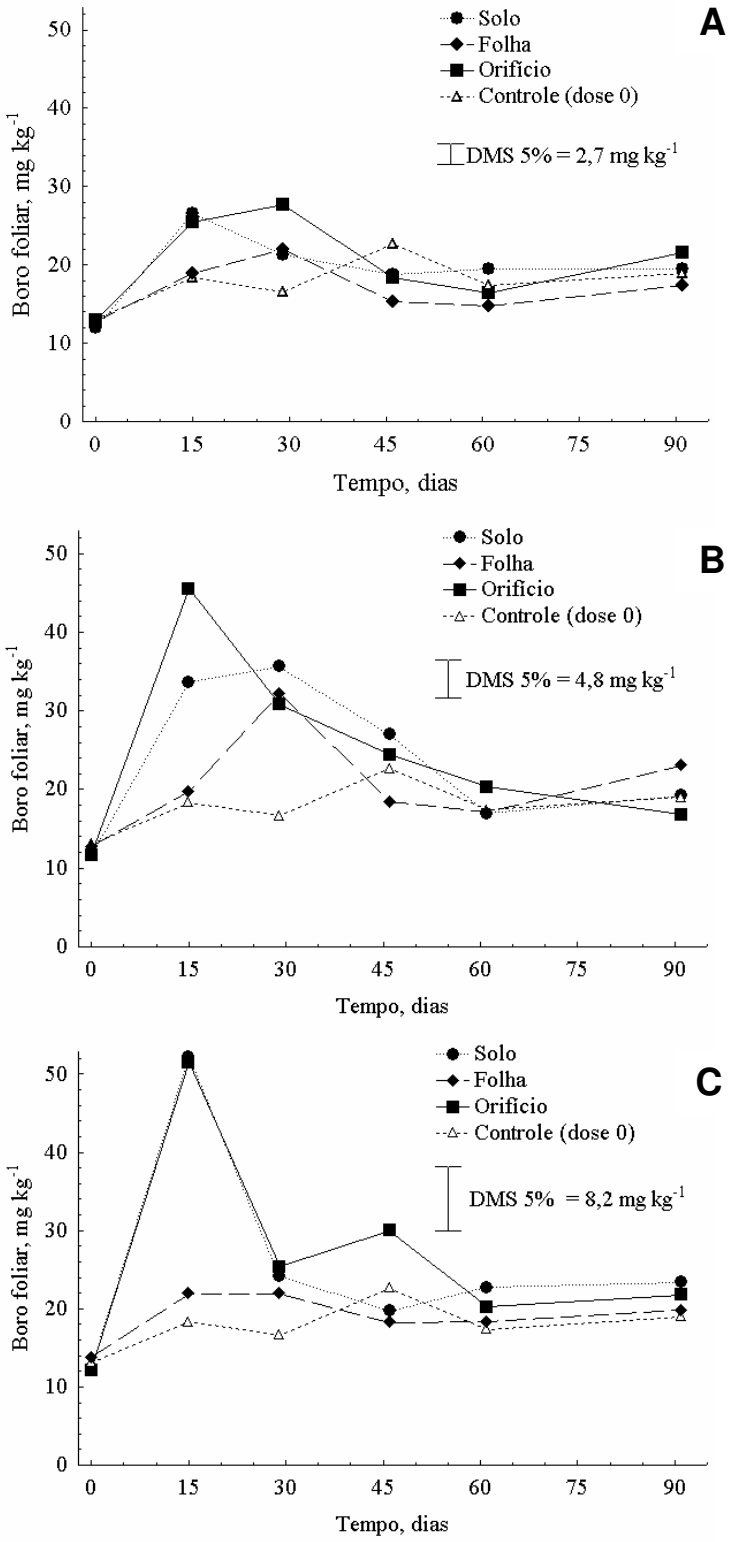

Figura 6 – Teores de B foliar ao longo do tempo em função das doses e formas de aplicação do micronutriente em bananeira 'Grande Naine'. A: aplicação de 0,85 g planta^{-1} de boro; B: aplicação de 1,70 g planta^{-1} de boro; e C: aplicação de 3,40 g planta^{-1} de boro. DMS: diferença mínima significativa (p= 0,05).

Figura 7 – Sintomas visuais de toxicidade de boro em folhas de bananeira ‘Grande Naine’, Pariquera-Açu, 2008.

4.1.4 Produção de frutos

Os parâmetros de produção avaliados (massa dos frutos no cacho, número de pencas por cacho, produção; massa e número de frutos da 2ª penca, comprimento e diâmetro de frutos da 2ª penca) não mostraram diferenças para os tratamentos, cujas médias foram: 19,0 kg; 8,8 pencas; 38,1 t ha^{-1}; 2,73 kg e 18 frutos; 21,1 cm e 33,9 mm, respectivamente (Tabela 4).

RODRIGUES et al. (2007) observaram que a aplicação de diferentes doses de Zn e B em ‘Prata-anã’ no orifício do perfilho desbastado não influenciou a massa do cacho, número de pencas por cacho, massa, número de frutos, comprimento e diâmetro de frutos da 2ª penca no primeiro ciclo de produção, porém os autores justificaram que estes parâmetros de avaliação já estavam definidos quando as plantas foram selecionadas (plantas em fase de florescimento), e que provavelmente, já havia ocorrido a diferenciação floral, além de instalação do experimento em bananal com cerca de oito anos de produção. O presente trabalho foi implantado em área nova de plantio e avaliaram-se plantas de primeiro ciclo para minimizar os efeitos das diferentes idades das plantas em pomares com maior tempo de plantio.

Para comparação dos resultados de produção, utilizaram-se trabalhos com bananeiras em diferentes condições de cultivos, sem aplicação de B. Sendo assim, a média da massa dos frutos no cacho no primeiro ciclo de produção foi superior (Tabela 8) ao encontrado por SILVA et al. (2003) quando cultivados em Lavras, MG (13,2 kg) e Viçosa, MG (18,3 kg) e inferiores quando cultivados em Cruz das Almas, BA (22,1 kg), Guanambi, BA (29,9 kg) e Jaíba, MG (36,7 kg) e também em Matias Cardoso, MG (29,34-33,45 kg), que avaliaram diferentes clones de bananeira Cavendish (SILVA et al., 2006).

A produção média alcançada neste trabalho foi alta (38,1 t ha^{-1}; Tabela 4) e superou a média nacional (13,9 t ha^{-1}) e da região do Vale do Ribeira, SP (23,8 t ha^{-1}) no ano de 2008, ficando próxima da média de alguns países produtores da América Central, como Honduras e Costa Rica, onde em 2008 alcançaram-se produções médias de 43,3 t ha^{-1} e 42,5 t ha^{-1}, respectivamente (FAOSTAT, 2010).

Para o número de pencas por cacho, SILVA et al. (2006) encontraram números maiores de pencas em diferentes clones de Cavendish (9,4-9,8) do que neste trabalho (8,8) (Tabela 4), refletindo em menor massa do cacho.

SILVA et al. (2003) obtiveram no primeiro ciclo de produção comprimento médio de frutos em cinco ambientes de 19,9 cm e SILVA et al. (2006) encontraram comprimento médio de frutos de seis cultivares de Grande Naine de 22,4 cm cultivados em Matias Cardoso, MG, cujos resultados foram muito próximos daqueles obtidos neste trabalho (21,1 cm) (Tabela 4). De acordo com as normas do Programa Brasileiro para a Modernização da Horticultura e Produção Integrada de Frutas, as médias de comprimento de frutos da 2ª penca, no primeiro ciclo de produção, estão classificadas na “classe 18” (frutos de 18 a 22 cm de comprimento) (PBMH & PIF, 2006).

Tabela 4 – Parâmetros produtivos em função das doses e formas de aplicação de B em bananeira 'Grande Naine', Pariquera-açu, SP, 2008.

Formas de aplicação	Dose de B	Cacho		Produção (1)	2ª penca		Frutos da 2ª penca	
		Massa	Nº pencas		Massa	Nº frutos	Comp.	Diâmetro
	g planta^{-1}	kg	un.	t ha^{-1}	kg	un.	cm	mm
Solo	0,00	18,5	9,0	37,0	2,64	18,1	20,9	33,7
	0,85	19,5	8,7	39,0	2,97	19,6	21,3	34,0
	1,70	20,8	8,7	41,6	2,79	17,5	21,8	34,5
	3,40	18,9	9,3	37,8	2,64	17,1	21,0	34,2
Efeito		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Média		19,4	8,9	38,9	2,76	18,1	21,2	34,1
Folhas	0,00	18,5	9,0	37,0	2,64	18,1	20,9	33,7
	0,85	18,1	8,0	36,3	2,56	17,2	20,7	33,8
	1,70	20,0	9,0	40,0	2,95	17,7	21,8	34,9
	3,40	18,0	9,0	36,0	2,63	17,5	21,2	34,0
Efeito		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Média		18,7	8,7	37,3	2,69	17,6	21,1	34,1
Orifício	0,00	18,5	9,0	37,0	2,64	18,1	20,9	33,7
	0,85	20,5	9,0	41,0	2,93	18,9	21,5	33,7
	1,70	18,8	8,7	37,6	2,69	17,8	21,4	32,9
	3,40	18,1	8,7	36,2	2,68	18,4	20,6	33,4
Efeito		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Média		19,0	8,8	38,0	2,74	18,3	21,1	33,4
$DMS_{5\%}$ para forma		2,2	0,8	4,4	0,40	2,1	1,0	1,2

(1) Estimada para 2.000 plantas ha^{-1}
ns: não significativo (p>0,05).

4.1.4.1 Exportação de nutrientes pelos frutos

Não foram observados efeitos dos tratamentos no acúmulo de macronutrientes (Tabela 5) e micronutrientes (Tabela 6) no cacho (engaço + frutos), exceto para o B.

Ocorreu maior acúmulo de B nos cachos em função das doses e formas de aplicação do micronutriente (Figura 8). Na aplicação no solo observou-se efeito quadrático, enquanto que na aplicação no orifício do perfilho desbastado observou-se efeito linear, comprovando maior eficiência dessa forma no fornecimento do elemento, o que corroboram com a discussão dos resultados apresentados na Figura 4.

Considerando a densidade de 2.000 plantas ha^{-1}, estimou-se as quantidades médias de B exportados pelo cacho quando aplicados no solo, nas folhas e no orifício do perfilho desbastado, observaram-se os seguintes valores: 64,0 g ha^{-1}; 58,4 g ha^{-1}; 63,4 g ha^{-1}, respectivamente. Estes resultados estão dentro da faixa observado no trabalho

conduzido por HOFFMANN (2008), que avaliou diferentes cultivares de bananeira irrigada, encontrando teores de B exportados que variaram de 49,1 g ha^{-1} a 143 g ha^{-1}. Para a cultivar Grande Naine, este mesmo autor observou a exportação de B de 116,3±22,4 g ha^{-1}, valor acima dos observados neste trabalho, devido as diferentes condições de edafoclimáticas e de tratos culturais.

Tabela 5 – Acúmulo de N, P, K, Ca, Mg e de S nos cachos (engaço + frutos) em função das doses e formas de aplicação de B em bananeira 'Grande Naine', Pariquera-açu, SP, 2008.

Formas de aplicação	Dose de B	N	P	K	Ca	Mg	S
	g $planta^{-1}$	g $planta^{-1}$					
Solo	0,00	28,5	3,4	77,7	3,3	4,6	1,8
	0,85	30,4	3,2	75,5	3,2	4,2	1,8
	1,70	31,1	3,6	82,9	4,2	4,6	1,9
	3,40	29,6	3,4	79,9	3,5	4,4	1,8
Efeito		ns	ns	ns	ns	ns	ns
Média		28,9	3,4	79,0	3,5	4,4	1,8
Folhas	0,00	28,5	3,4	77,7	3,3	4,6	1,8
	0,85	27,6	3,3	71,7	3,4	4,2	1,8
	1,70	27,5	3,5	78,3	3,2	4,2	1,7
	3,40	27,3	3,1	68,3	2,9	3,9	1,5
Efeito		ns	ns	ns	ns	ns	ns
Média		27,7	3,3	74,0	3,2	4,2	1,7
Orifício	0,00	28,5	3,4	77,7	3,3	4,6	1,8
	0,85	29,5	3,4	77,8	3,7	4,6	2,0
	1,70	28,3	3,1	68,4	3,0	3,9	1,6
	3,40	29,0	3,3	74,9	2,9	4,4	1,8
Efeito		ns	ns	ns	ns	ns	ns
Média		28,8	3,3	74,7	3,2	4,3	1,8
$DMS_{5\%}$para forma		2,7	0,3	6,6	0,5	0,4	0,2

ns: não significativo (p>0,05).

Tabela 6 – Acúmulo de B, Cu, Fe, Mn e de Zn nos cachos (engaço + frutos) em função das doses e formas de aplicação de B em bananeira 'Grande Naine', Pariquera-açu, SP, 2008.

Formas de aplicação	Dose de B	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	g planta^{-1}	---------- g planta^{-1} ----------				
Solo	0,00	28,6	12,9	41,0	31,8	32,2
	0,85	31,2	10,3	64,9	24,9	30,8
	1,70	34,7	12,8	74,3	39,9	36,1
	3,40	33,5	11,0	42,7	29,9	31,8
Efeito		Q**	ns	ns	ns	ns
Média		32,0	11,7	55,7	31,6	32,7
Folhas	0,00	28,6	12,9	41,0	31,8	32,2
	0,85	28,7	12,5	41,4	28,0	33,8
	1,70	30,7	12,7	41,5	30,8	29,9
	3,40	28,7	10,3	49,0	17,2	27,5
Efeito		Q**	ns	ns	ns	ns
Média		29,2	12,1	43,2	26,9	30,9
Orifício	0,00	28,6	12,9	41,0	31,8	32,2
	0,85	29,9	12,8	50,0	24,2	32,9
	1,70	32,1	11,0	45,8	33,4	28,1
	3,40	36,1	13,1	49,4	18,9	31,9
Efeito		L**	ns	ns	ns	ns
Média		31,7	12,4	46,5	27,1	31,3
$DMS_{5\%}$para forma		3,3	1,6	17,7	9,7	3,0

L: efeito linear; Q: efeito quadrático; ns: não significativo (p>0,05); **: significativo (p<0,01).

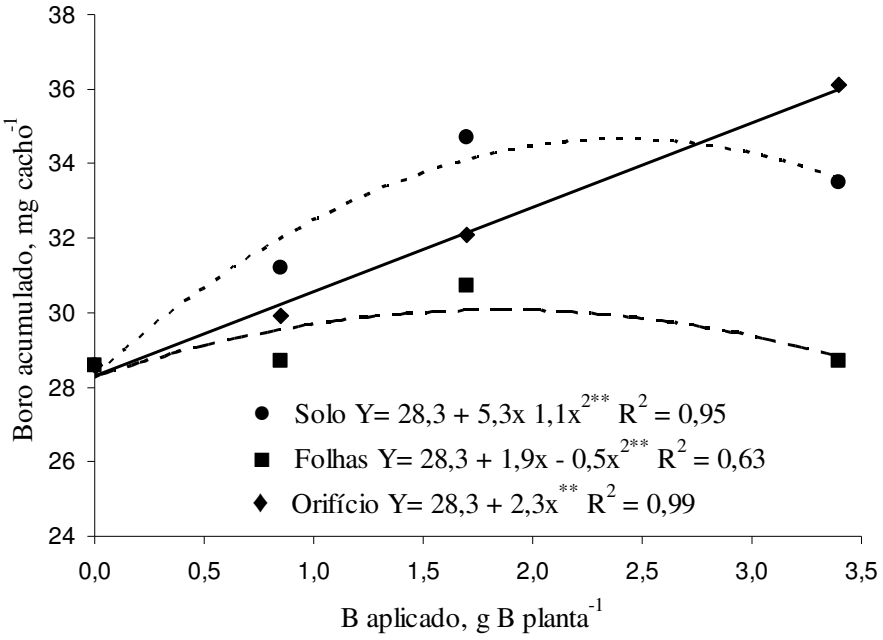

Figura 8 – Boro acumulado nos cachos (engaço + frutos) em função das doses e formas de aplicação do micronutriente em bananeira 'Grande Naine', Pariquera-açu, SP, 2008. **: significativo (p<0,01)

4.2 Experimento II: Avaliação da Absorção e Distribuição de ^{10}B

4.2.1 Desenvolvimento das bananeiras

A altura das plantas e o diâmetro do pseudocaule não variaram com as formas de aplicação de ^{10}B. Os valores médios encontrados para essas características foram, respectivamente, 1,99±0,22 m e 18,4±2,0 cm, similares àqueles encontrados no Experimento I.

4.2.2 Massa da matéria seca das bananeiras

Observaram-se diferenças na massa da matéria seca no perfilho quando se comparam as aplicações no solo com a aplicação nas folhas e na massa da matéria seca do pseudocaule quando se comparam a aplicação nas folhas com a aplicação no solo e orifício do perfilho desbastado (Figura 9). Nas demais partes da bananeira não foram observadas diferenças na massa da matéria seca. Dentre as diversas partes amostradas, houve maior massa de matéria seca nos frutos, porém não apresentaram diferenças entre as formas de aplicação de ^{10}B (Figura 9).

Independente da forma de aplicação, os cachos (engaço + frutos) representaram cerca de 44% da massa da matéria seca da planta, seguida do pseudocaule com cerca de 26% do massa da matéria seca da planta de bananeira 'Grande Naine'. HOFFMANN (2008), em trabalho realizado com a cultivar Grande Naine, verificou a partição de carbono pelos cachos (engaço + frutos) de cerca de 24% da massa da matéria seca total produzida, valor menor que o encontrado neste trabalho.

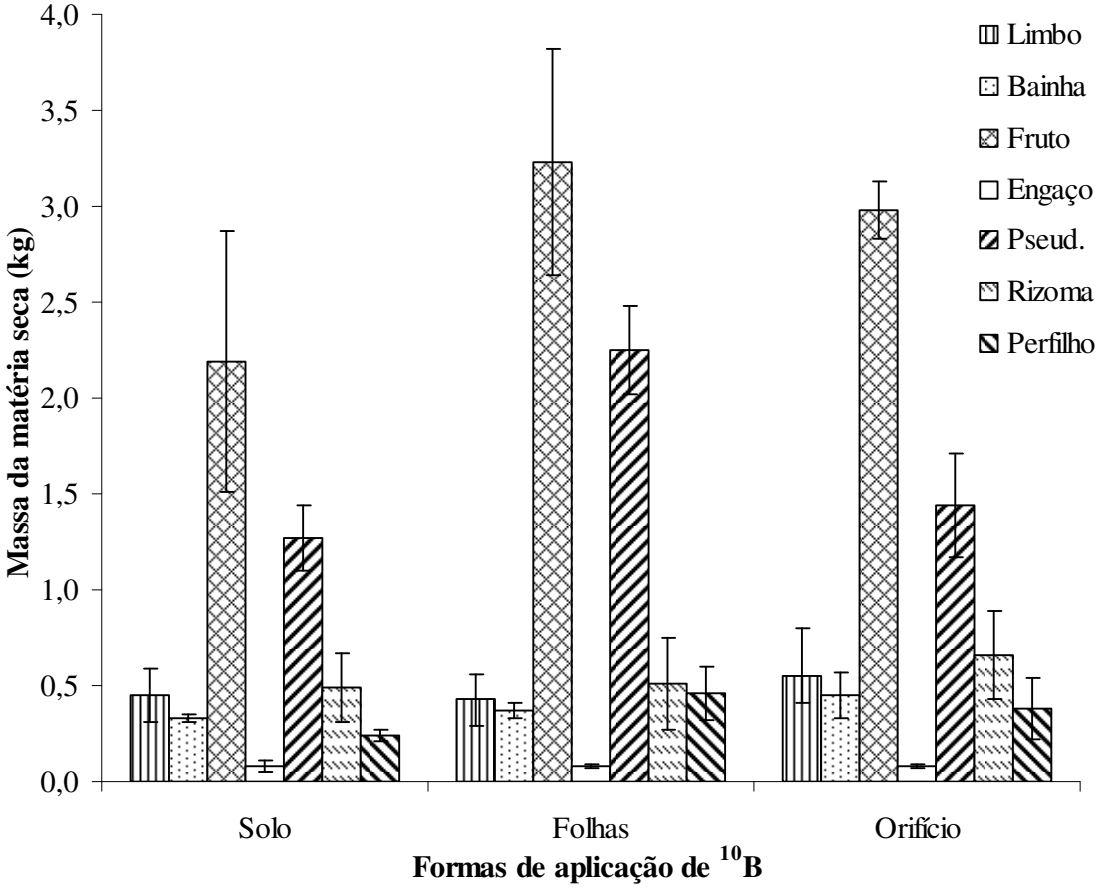

Figura 9 – Massa da matéria seca em função das formas de aplicação de ^{10}B em bananeiras 'Grande Naine'. Médias (n=3) ± erro padrão.

4.2.3 Absorção e distribuição de ^{10}B

Não foram observadas diferenças na quantidade total e porcentagem de B na planta proveniente do fertilizante ($\%B_{ppf}$) em função das formas de aplicação do micronutriente (Tabela 7). A $\%B_{ppf}$ quando aplicado nas folhas da bananeira 'Grande Naine' foi de aproximadamente 1,0%. Comparando-se com outras espécies de plantas, SILVA (2007) observou maior eficiência da aplicação foliar de ^{10}B (23%) em mamoneira. Em citros, BOARETTO et al. (2007) demonstraram que 9% do ^{10}B pulverizado foram absorvidos pelas folhas de laranjeira. Isso demonstrou que a eficiência de absorção pelas folhas depende da espécie e, de acordo com trabalho de MATTIELLO (2008) varia até entre clones. A eficiência da absorção foliar em plantas é afetada pela presença de barreira física na superfície foliar (BELL & DELL, 2004), da idade das folhas e da ocorrência de chuvas após a aplicação foliar. As folhas de bananeiras são recobertas por camada de cera que limitam a absorção foliar e favorece a

lavagem pelas águas das chuvas. Isto sugere que a aplicação foliar de B em bananeiras não seja estratégia eficiente de fornecimento do micronutriente, pois, além disso, soma-se as dificuldades e alto custo da aplicação aérea, principalmente na região do Vale do Ribeira, SP.

Para os tratamentos em que o B foi aplicado no solo e no orifício do perfilho desbastado, as porcentagens de ^{10}B proveniente do fertilizante foram similares e baixas (1,7% e 1,4%, respectivamente) (Tabela 7), pois, a partir do trabalho de MOREIRA & FAGERIA (2009), estimou-se que eficiência de absorção de B foi aproximadamente de 4% do total de B disponível para as plantas de bananeira. Em trabalho realizado por FRANCO et al. (2008) com plantas de cana-de-açúcar, que aplicaram no solo a dose de 4 kg ha^{-1} de ácido bórico (85,95% de ^{10}B) dissolvidos em água após 90 dias do plantio, observaram que a recuperação do ^{10}B proveniente do fertilizante pela cana-planta foi baixa, em torno de 2 % do total aplicado, bem próximo que encontrado neste trabalho.

Tabela 7 – Quantidade total e porcentagem de B na planta proveniente do fertilizante ($\%B_{ppf}$) em função das formas de aplicação de ^{10}B em bananeira 'Grande Naine', Pariquera-açu, SP, 2008.

Variáveis	Folhas	Solo	Orifício
	---------- mg ----------		
B_{ppf}	17,0±4,1[(1)]	28,7±19,1	23,5±14,7
	---------- % ----------		
B absorvido	1,0±0,2	1,7±1,2	1,4±0,9

[(1)] Valores referem-se à média ± erro padrão (n=3). Total de B aplicado = 1.639 mg $família^{-1}$ de B

Não foram observadas diferenças nos teores de B total nas diferentes partes das bananeiras, com exceção dos teores de B nos frutos, cuja aplicação no solo e no orifício do perfilho desbastado proporcionaram teores mais elevados de B em relação à aplicação foliar (Tabela 8).

A porcentagem de B proveniente do fertilizante ($\%B_{pf}$) nas diversas partes da bananeira variou em função das formas de aplicação do micronutriente. Nos tratamentos em que o B foi aplicado no solo, a porcentagem de B proveniente do fertilizante para as estruturas vegetativas (limbo, bainha e pseudocaule), produtivas (frutos e engaço) e perfilho foram maiores do que quando comparados com a aplicação foliar (Tabela 8). Estas partes da planta são aquelas que demandam maiores quantidades de B, e devido

ao alto teor e pronta disponibilidade de B no solo (Figura 4), o mesmo é absorvido gradativamente e concentrando-se nos tecidos em crescimento.

Na aplicação foliar observou-se maior porcentagem de B proveniente do fertilizante na raiz e no rizoma, diferindo com as porcentagens de B no limbo, bainha, pseudocaule, engaço e fruto (Tabela 8). Isto provavelmente deve-se ao escorrimento da solução e a lavagem das folhas pela água das chuvas ocorridas após as aplicações foliares (setembro/2007 a dezembro/2007) (Figura 1), na qual parte do ^{10}B aplicado foi provavelmente depositada no solo.

Independente da forma de aplicação, não houve diferenças da porcentagem de B proveniente do fertilizante no rizoma, sendo esta a parte da planta que apresentou os menores teores de B total (Tabela 8). Com a aplicação de ^{10}B no orifício do perfilho desbastado, esperava-se maior acúmulo do micronutriente no rizoma da "planta-mãe" devido à sua ligação com o perfilho. Porém, observaram-se maiores acúmulos de ^{10}B nos órgãos que demandam maiores quantidade de B, principalmente as folhas (limbo, bainha e pseudocaule).

Tabela 8 – Teor de B total e porcentagem de B proveniente do fertilizante ($\%B_{pf}$) em função das formas de aplicação de ^{10}B em diversas partes da bananeira 'Grande Naine', Pariquera-açu, SP, 2008.

Partes da bananeira (1)	Solo		Folhas		Orifício	
	Teor B total mg kg^{-1}	$\%B_{pf}$	Teor B total mg kg^{-1}	$\%B_{pf}$	Teor B total mg kg^{-1}	$\%B_{pf}$
Perfilho	15,2±6,4	56,7±13,9	11,5±3,2	25,8±9,1	13,1±2,4	38,7±11,2
Limbo	14,5±2,7	52,6±0,7	13,3±0,9	22,4±3,4	14,5±1,6	38,6±10,9
Bainha	12,1±1,7	52,2±0,5	11,8±1,2	24,1±4,9	11,1±0,6	43,3±12,5
Raiz	17,5±6,4	51,7±9,9	13,9±1,6	46,3±6,3	12,6±0,9	23,9±7,9
Pseudocaule	10,6±3,3	47,3±1,0	11,6±1,5	26,2±2,9	11,2±2,2	42,1±10,4
Engaço	17,1±3,3	46,4±4,7	20,1±1,8	18,0±3,6	19,3±2,5	25,3±5,8
Fruto	11,9±0,6	45,3±4,7	8,8±0,5	16,7±3,0	10,2±0,7	23,8±5,9
Rizoma	6,8±1,1	30,9±5,9	7,5±0,6	32,1±4,5	7,2±1,9	31,1±9,0

(1) Valores referem-se à média ± erro padrão (n=3)

Nas amostragens foliares em intervalos periódicos após a adubação com B, observou-se que os teores foliares de B aumentaram até 30 dias após a aplicação (Figura 10A) com variação de 30 mg kg^{-1} a 60 mg kg^{-1}. Os teores reduziram-se gradativamente ao longo do tempo, devido a emissão constante de novas folhas. A rápida elevação nos

teores foliares após a aplicação dos tratamentos foi devido à grande concentração de B prontamente disponível para as plantas, principalmente na aplicação no solo (Figura 4).

Na amostragem realizada após a emissão da inflorescência, cerca de 90 dias após a aplicação, não foi observado efeito dos tratamentos nos teores foliares de B total em folhas de bananeira, que foi em média 26 mg kg^{-1} (Figura 10A), teor considerado adequado segundo MALAVOLTA et al. (1997), MOREIRA (1999) e BATAGLIA & SANTOS (2001). Esses valores estão próximos aos encontrados no Experimento I (Figura 6). Contudo, a contribuição do ^{10}B na planta proveniente do fertilizante foi maior nos tratamentos em que o nutriente foi aplicado no solo e no orifício do perfilho desbastado do que nos tratamentos em que o micronutriente foi pulverizado nas folhas (Figura 10B).

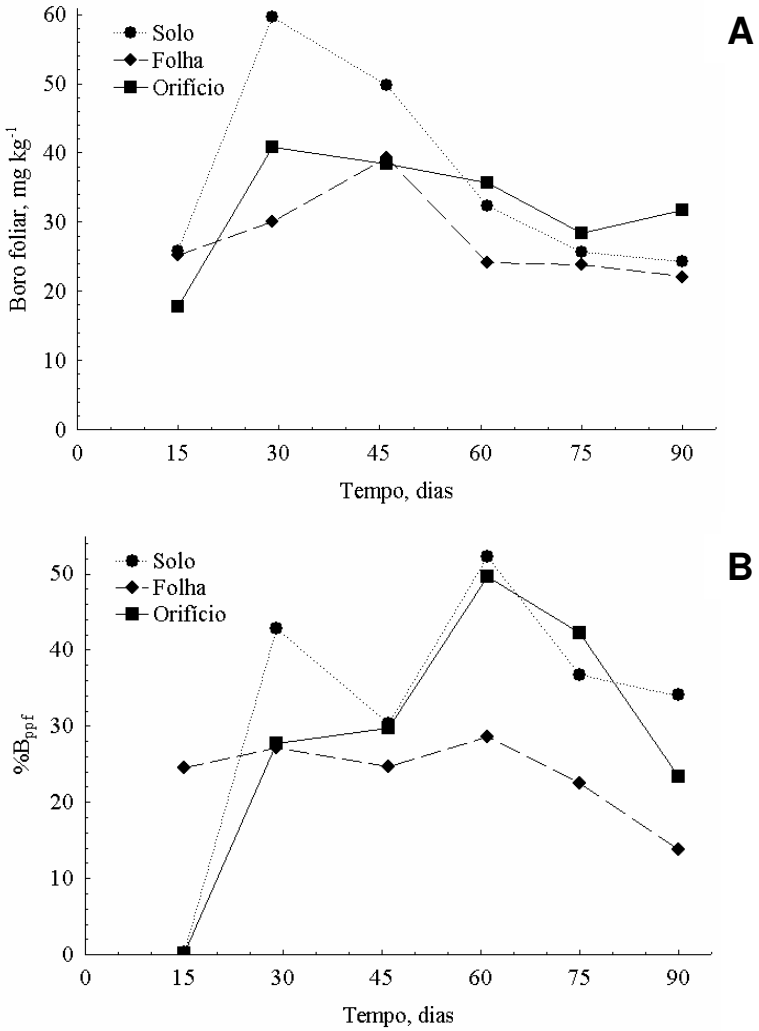

Figura 10 – Teor foliar de B total (A) e porcentagem de B na planta proveniente do fertilizante (B) ao longo do tempo em função das formas de aplicação de ^{10}B em bananeira 'Grande Naine', Pariquera-açu, SP, 2008.

No pseudocaule ocorreu maior distribuição do B proveniente do fertilizante quando aplicado nas folhas e no orifício do perfilho desbastado (Figura 11), com diferença quando comparado com a aplicação no solo. O pseudocaule consiste no conjunto de bainhas foliares, e sendo assim, a aplicação do fertilizante enriquecido com ^{10}B nas folhas e no orifício do perfilho desbastado foi rapidamente absorvido e acumulado nas bainhas foliares. Outra suposição da maior distribuição do B proveniente do fertilizante no pseudocaule seria a absorção do micronutriente pelas bainhas foliares devido ao escorrimento do excesso de solução ocorrida nas sucessivas aplicações foliares. A aplicação foliar também apresentou maior massa da matéria seca no pseudocaule (Figura 9), o que provavelmente ocasionou maior distribuição do B proveniente do fertilizante nesta parte da planta.

Nos frutos ocorreu maior distribuição do B proveniente do fertilizante quando aplicado no solo, diferindo quando comparado com a aplicação no orifício do perfilho desbastado (Figura 11). De acordo com os resultados apresentados na Figura 4, ocorreu aumento do teor de B no solo quando o micronutriente foi aplicado no solo, o que favoreceu a absorção gradual e de acordo com a necessidade da planta para o seu crescimento, principalmente na parte da planta que demandou maior quantidade de B. Como a maior necessidade do B em bananeira ocorreu no período de florescimento e frutificação, a reserva do micronutriente no solo contribuiu para maior acúmulo nos cachos (frutos + engaços). ARAÚJO (2008) avaliou a marcha de absorção de nutrientes em bananeira 'Grande Naine' durante o primeiro ciclo de produção e observou que após a emissão da inflorescência, houve crescente participação do B nesta parte da planta.

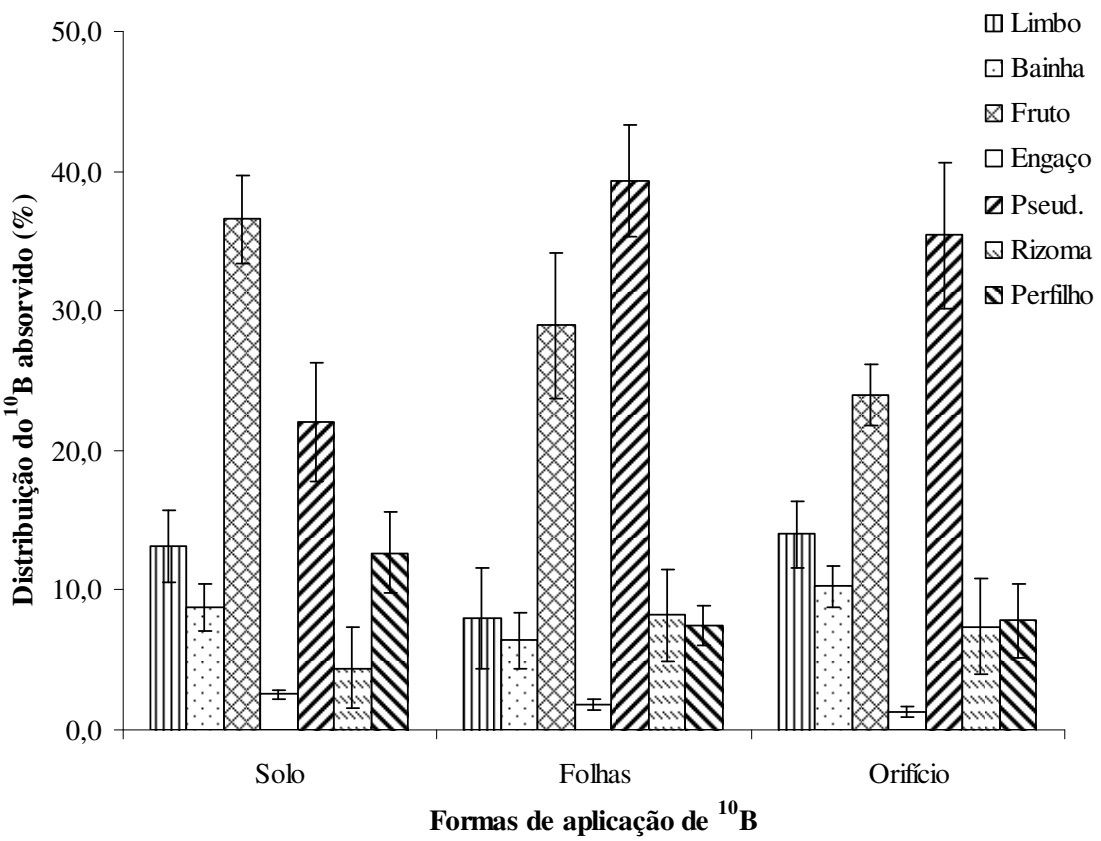

Figura 11 – Distribuição do B proveniente do fertilizante em função das formas de aplicação de ^{10}B em diversas partes da bananeira 'Grande Naine', Pariquera-açu, SP, 2008. Médias (n=3) ± erro padrão.

Não foram observadas diferenças no acúmulo do B nativo, reforçando que a forma de aplicação contribuiu para o maior ou menor acúmulo de B nas diferentes partes da planta de bananeira (Figura 12). Como não houve qualquer outra forma de aplicação de ^{10}B além dos tratamentos, o B nativo do solo representa todo o B presente na planta que não foi proveniente do fertilizante.

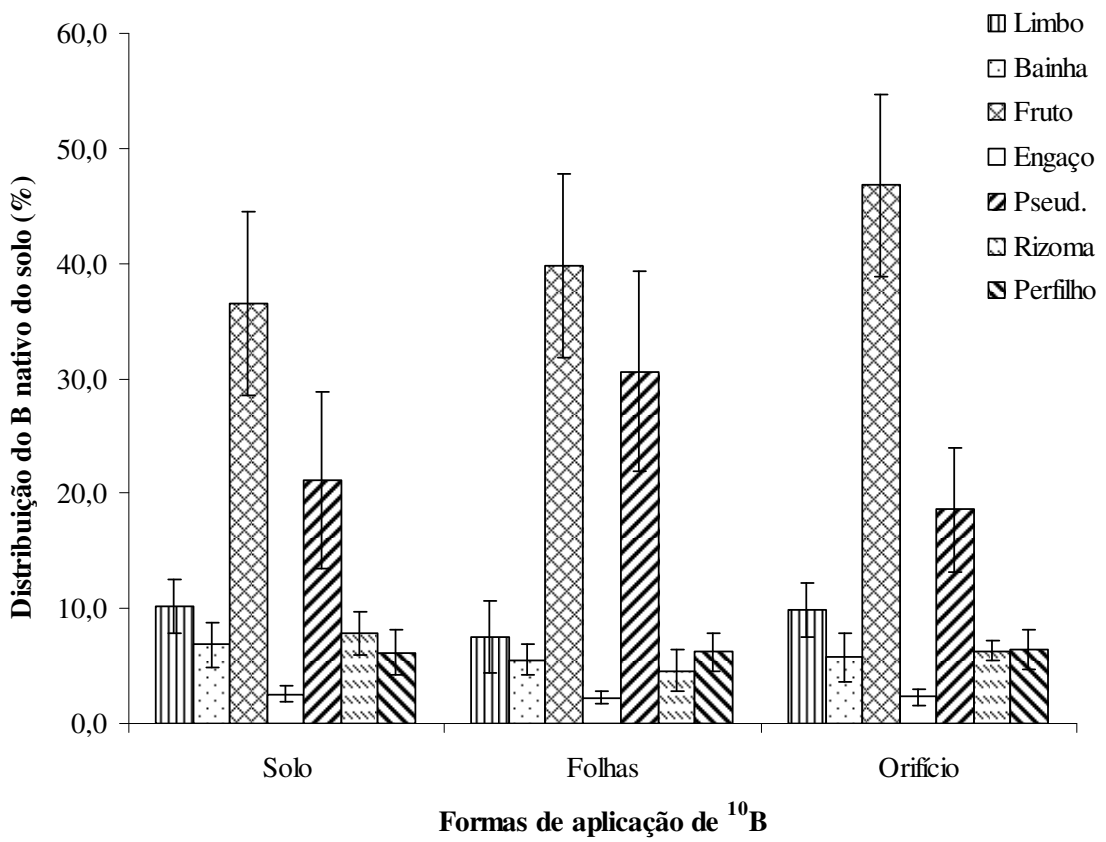

Figura 12 – Distribuição do B nativo do solo nas diferentes partes da família da bananeira 'Grande Naine', Pariquera-açu, SP, 2008. Médias (n=3) ± erro padrão.

5 CONCLUSÕES

● As aplicações de B em bananeira ‘Grande Naine’ no solo e nas folhas aumentaram os teores disponíveis deste micronutriente no solo proporcionalmente às doses até 3,4 g planta^{-1};

● A variação nos teores foliares de B após a adubação com este micronutriente foi maior na aplicação no orifício do perfilho desbatado e no período até de 30 dias após a aplicação nas plantas e dependente da dose;

● Contudo, independentemente da forma de aplicação, a fertilização com B em bananeira ‘Grande Naine’ não causou variação significativa nos teores foliares deste micronutriente na amostragem foliar após a emissão da inflorescência;

● A adubação no solo e no orifício do perfilho desbastado foram formas relativamente mais eficientes no fornecimento de B para bananeira ‘Grande Naine’ comparadas à aplicação foliar;

● A distribuição do B em diferentes partes da plantas de bananeira ‘Grande Naine’ foi dependente das formas de aplicação do micronutriente.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGARWALA, S.C.; SHARMA, P.N.; CHATTERJEE, C.; SHARMA, C.P. Development and enzymatic changes during pollen development in boron deficient maize plants. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v. 3, p. 329-336, 1981.

AGRIANUAL 2006. Anuário Estatístico da Agricultura Brasileira. São Paulo: FNP Consultoria & Comércio, 2006. 504p.

ALVES, E.J. **A cultura da banana: aspectos técnicos, socioeconômicos e agroindustriais**. 2.ed., Brasília: EMBRAPA-SPI/ Cruz das Almas: EMBRAPA-CNPMF, 1999, 585p.

ARAÚJO, J.P.C. **Crescimento e marcha de absorção de nutrientes de bananeira (*Musa* sp. AAA), 'Grande Naine' no primeiro ciclo de produção**. 2008. 71f. Tese (Doutor em Agronomia - Fitotecnia) – Universidade de São Paulo, Piracicaba.

ASAD, A.; BLAMEY, F.P.C.; EDWARDS, D.G. Effects of boron foliar applications on vegetative and reproductive growth of sunflower. **Annals of Botany**, v. 92, p. 565-570, 2003.

ASAD, A.; BLAMEY, F.P.C.; EDWARDS, D.G. Dry matter production and boron concentrations of vegetative and reproductive tissues of canola and sunflower plants grown in nutrient solution. **Plant and Soil**, v. 243, p. 243-252, 2002.

BATAGLIA, O.C.; SANTOS, W.R. Estado nutricional de plantas perenes: avaliação e monitoramento. **Informações Agronômicas**, POTAFOS, Piracicaba, n. 96, p 4-8, 2001.

BATAGLIA, O.C.; FURLANI, A.M.C.; TEIXEIRA, J.P.F.; FURLANI, P.R.; GALLO, J.R. **Métodos de análise química de plantas**. Campinas: IAC, 1983. 48p. (Boletim Técnico, 78).

BELALCÁZAR-CARVAJAL, S.L. **El cultivo del plátano en el trópico**. Cali: Feriva, 1991. 376p.

BELL, R.W.; DELL, B. **Micronutrients for sustainable food, feed, fibre and bioenergy production**. Paris: International Fertilizer Industry Association, 2008, 175p.

BELLATTO, A.C.D.S. **Determinação de boro e molibdênio em amostras biológicas por espectrometria de massas com fonte de plasma (ICP-MS).** 2004. 105f. Tese (Doutorado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

BENAVIDES, M.M.B.; ALZARTE, A.G. Dynamics of boron in a soil cultivated with plantain (*Musa* AAB cv. Dominico Hartón) in the Quindío, Colombia. **Infomusa**, Montpellier, v. 11, n. 1, p. 30-33, 2002.

BERGMAN, W. **The significance of the micronutrient boron in agriculture**. In: Symposium held by the borax group in the international trade centre of the G.D.R., 1984, Berlin. Berlin: Borax Holdings, 1984, p.1-26.

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

BOARETTO, R.M.; MURAOKA, T.; GINÉ, M.F.; BOARETTO, A.E. Absorption of foliar sprayed boron and translocation in the citrus plant when applied at different phenological phases. In: XU, F.; GOLDBACH, H.E.; BROWN, P.H.; BELL, R.; FUJIWARA, T.; HUNT, C.D.; GOLDBERG, S.; SHI, L. (Org.). **Advances in Plant and Animal Boron Nutrition**. Dordrecht, 2007, p. 125-131.

BOLOGNA, I.R.; VITTI, G.C. Produção e qualidade de frutos de laranjeira 'Pêra' em função de fontes e doses de boro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 28, n. 2, p. 328-330, 2006.

BORGES, A.L.; COELHO, E.F.; COSTA, E.L.; SILVA, J.T.A. **Fertirrigação da bananeira**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical. 2006, 8p. (Circular técnica 84)

BORGES, A.L.; SOUZA, L.S.; ALVES, E.J. Exigências edafoclimáticas. In: CORDEIRO, Z.J.M. (Ed.). **Banana - Produção: aspectos técnicos**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2000, p. 17-23. (Frutas do Brasil; 1).

BORGES, A.L.; OLIVEIRA, A.M.G. Nutrição, adubação e calagem. In: CORDEIRO, Z.J.M. (Ed.). **Banana - Produção: aspectos técnicos**. Brasília: EMBRAPA Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2000. p. 47-59 (Frutas do Brasil; 1).

BORGES, A.L.; OLIVEIRA, A.M.G.; SOUZA, L.S. Solos, nutrição e adubação. In: ALVES, E.J. **A cultura da banana: aspectos técnicos, socioeconômicos e agroindustriais**. 2.ed., rev., Brasília: EMBRAPA-SPI/Cruz das Almas: EMBRAPA - CNPMF, 1999. p. 197-260.

BROWN, P.H.; BELLALOUI, N.; SAH, R.N.; BASSIL, E.; HU, H. Uptake and transport of boron. In: GOLDBACH, H.E.; RERKASEM, B.; WIMMER, M.A.; BROWN, P.H.; THELLIER, M.; BELL, R.W. (Eds.). **Boron in plant and animal nutrition**. New York: Kluwer Academic/Pledum Publ., 2002a. p. 87-103.

BROWN, P.H.; BELLALOUI, N.; WIMMER, M.A.; BASSIL, E.S.; RUIZ, J.; HU, H.; PFEFFER, H.; DANNEL, F.; RÖMHELD, V. Boron in plant biology. **Plant Biology**, v.4, p. 205-223, 2002b.

BROWN, P.H.; HU, H. Phloem boron mobility in diverse plant species. **Botanica Acta**, Stuttgard, v. 111, p. 331-335, 1998.

BROWN, P.H.; HU, H. Phloem mobility of boron is species dependent: evidence for phloem mobility in sorbitol-rich species. **Annals of Botany**, London, v.77, n.5, p.497-506, 1996.

BROWN, P.H.; PICCHIONI, G.; JENKIN, M.; HU, H. Use of ICP-MS and ^{10}B to trace the movement of boron in plants and soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 23, n. 17-20, p. 2731-2807, 1992.

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

CAMARGO, O.A.; ALLEONI, L.R.F.; CASAGRANDE, J.C. Reações dos micronutrientes e elementos tóxicos no solo. In: FERREIRA, M.E. (Ed.). **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: CNPq/ FAPESP/POTAFOS, 2001, p. 89-124.

CAMARGO, O.A. Reações e interações de micronutrientes no solo. In: FERREIRA, M.E., CRUZ, M.C.P. (Ed.) **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba: Instituto de Potassa e Fosfato, 1991. p. 243-272.

CARA, A.F.; SANCHEZ, E.; RUIZ, J.M.; ROMERO, L. Is phenol oxidation responsible for the short-term effects of boron deficiency on plasma-membrane permeability and function in squash roots? **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 40, p. 853-858, 2002.

CARPITA, N.; McCANN, M. The cell wall. In: BUCHANAN, B.B.; GRUISSEM, W.; JONES, R.L. (Eds.). **Biochemistry & Molecular Biology of Plants**, American Society of Plant Biologists, MD, USA, 2000, p. 52-108.

COELHO, F.S.; VERLENGIA, F. **Fertilidade do solo**. Campinas: Instituto Campineiro Agrícola, 1973. 384p.

COSTA, J.M.; OLIVEIRA, E.F. **Fertilidade do solo e nutrição de plantas**. Campo Mourão: COAMO, p. 42-43, 2001.

DANNEL, F.; PFEFFER, H.; ROHMELD, V. Effect of pH and boron concentration in the nutrient solution on translocation of boron in the xylem of sunflower. In: BELL, R.W.; RERKASEM, B. (Eds.). **Boron in Soils and Plants**. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 1997, p. 183-186.

DANTAS, J.P. Boro. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba: POTAFOS, 1991, p. 113-130.

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

DECHEN, A.R.; NACHTIGALL, G.R. Micronutrientes. In: FERNANDES, M. **Nutrição Mineral de Plantas**, Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006, p. 327-354.

DORDAS, C. Foliar boron application improves seed set, seed yield, and seed quality of alfalfa. **Agronomy Journal**, v. 98, p. 907-913, 2006.

DORDAS, C.; BROWN, P.H. Boron deficiency affects cell viability, phenolic leakage and oxidative burst in rose cell cultures. **Plant and Soil**, v. 268 n. 1-2, p. 293-301, 2005.

DORDAS, C.; BROWN, P.H. Permeability of boric acid across lipid bilayers and factors affecting it. **Journal of Membrane Biology**, v. 175, p. 95-105, 2000.

DORDAS, C.; CHRISPEELS, M.J.; BROWN, P.H. Permeability and channel-mediated transport of boric acids across membrane vesicles isolated from squash roots. **Plant Physiology**, Rockville, v. 124, n. 3, p. 1349-1361, 2000.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. Londrina: Editora Planta, 2006. 403p.

FAGERIA N.; BALIGAR, V.; CLARK, R. Micronutrients in crop production. **Advances in Agronomy**, v. 77, p. 185-268, 2002.

FAOSTAT. Agricultural data. Disponível em: <http://faostat.fao.org> Consultado em: 09 janeiro de 2010.

FIGUEIREDO, F.P. **Efeitos de diferentes lâminas de água e da área umedecida sobre o desenvolvimento vegetativo, produção e qualidade do fruto da bananeira** (*Musa* spp.) **cv. Prata-anã**. 1998. 96f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

FRANCO, H.C.J.; TRIVELIN, P.C.O.; VITTI, A.C.; OTTO, R.; FARONI, C.E.; TOVAJAR, J.G. Utilization of boron (^{10}B) derived from fertilizer by sugar cane. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1667-1674, 2009.

FREEMAN, B; TURNER. D. The epicuticular waxes on the organs of different varieties of bananas (*Musa* spp.) differ in form, chemistry and concentration. **Australian Journal of Botany**, v. 33, n. 4, p. 393-408, 1985.

FURLANI, A.M.C. Nutrição mineral. In: KERBAUY, G.B. **Fisiologia Vegetal**. 1. ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan, 2004, p. 40-75.

GAUCH, H.G**. Inorganic plant nutrition**. Stroudsburg: Hutchinson & Rop, 1972. 488p.

GOLDBACH, H.E.; HUANG, L.; WIMMER, M.A. Boron functions in plants and animals: recent advances in boron research and open questions. In: XU, F.; GOLDBACH, H.E.; BROWN, P.H.; BELL, R.W.; FUJIWARA, T. (Eds.). **Advances in plant and animal boron nutrition**. Wuhan: Springer, 2007, p. 3-25.

GOLDBERG, S. Reactions of boron with soils. **Plant Soil**, v. 193, p. 35-48, 1997.

GOLDBERG, S. Chemistry and mineralogy of boron in soils. In: GUPTA, U.C. (Ed.) **Boron and its role in crop production**. CRC Press, Boca Raton, 1993, p. 3-44.

GUPTA, U.C. **Boron and its role in crop production**. Boca Raton: CRC Press, p. 237,

2002.

HAN, S.; CHEN, L-S.; JIANG, H-X.; SMITH, B.R.; YANG, L-T.; XIE, C-Y. Boron deficiency decreases growth and photosynthesis, and increases starch and hexoses in leaves of citrus seedlings. **Journal of Plant Physiology**, v. 165, p. 1331-1341, 2008.

HAVLIN, J.L.; BEATON, J.D.; TISDALE, S.L.; NELSON, W.L. **Soil Fertility and Fertilizers: An introduction to Nutrient Management**, 7. ed., New Jersey, 2005. 515p.

HOFFMANN, R.B. **Acúmulo de matéria seca e de nutrientes em cultivares de bananeira irrigada**. 2008. 60f. Dissertação (Mestrado em Agromomia) - Universidade Federal da Paraíba, Paraíba.

HU, H.; BROWN, P.H. Absorption of boron by plant roots. In: DELL B.; BROWN, P.H.; BELL, R.W. **Boron in soils and plants: Reviews**, Dordrecht: Kluwer Academic, 1997, p. 49-58.

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

HULL, R.J. Recent research offers clues to boron's purpose. **Turfgrass Trends**, v.11, p. 11-16, 2002.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br>. Consultado em: 12 janeiro 2010.

IBRAF. Instituto Brasileiro de Frutas. Disponível em: http://www.ibraf.org.br/estatisticas/Exportação/ComparativoExportacoesBrasileiras2008-2007.pdf. Consultado em: 28 dezembro 2009.

ISHII, T.; MATSUNAGA, T.; HAYASHI, N. Formation of Rhamnogalacturonan II-Borate dimer in pectin determines cell wall thickness of pumpkin tissue. **Plant Physiology**, v. 126, 1698–1705, 2001.

JAMAMI, N.; BÜLL, L.T.; CORRÊA, J.C.; RODRIGUES, J.D. Resposta da cultura do milho (*Zea mays* L.) à aplicação de boro e de zinco no solo. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 28, n. 1, p. 99-105, 2006.

KOUCHI, H.; KUMAZAWA, K. Anatomical responses of root tips to boron deficiency: III. Efect of boron deficiency on sub-cellular structure of root tips, particularly on morphology of cell Wall and is related organelles. **Soil science and plant nutrition**, v. 22, p. 53-71, 1976.

LAHAV, E. Banana nutrition. In: GOWEN, S. (Ed.) **Bananas and plantains**. London: Chapman & Hall, 1995. p. 258-316.

LEITE, V.M.; BROWN, P.H.; ROSOLEM, C.A. Boron translocation in coffee trees. **Plant Soil**, v. 290, p. 221-229, 2007.

LEHTO, T.; RÄISÄNEN, M.; LAVOLA A.; JULKUNEN-TIITTO, R.; APHALO, P.J. Boron mobility in deciduous forest trees in relation to their polyols. **New Phytologist**, v. 163, p. 333-339, 2004.

LEWIS, D.H. Boron, lignification and the origin of vascular plants a unified hypothesis. **New Phytologist**, v. 84, p. 209-229, 1980.

LOESCHER, W.H., EVERARD, J.D. Regulation of sugar alcohol biosynthesis. In: LEEGOOD, R.C.; SHARKEY, TD; CAEMMERER, S. von (Eds.). **Photosynthesis: Physiology and Metabolism**. Kluwer Academic, Dordrecht, The Netherlands, 2000, p. 275-299.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. Metodologia para análise de elemento em material vegetal. In: MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. p. 231-307.

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola: adubos e adubação**. 3.ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 594p.

MARCONI, A.; FREIRE, O.; ABRAHÃO, I.O.; BRASIL SOBRINHO, M.O.C. Boro nos minerais, rochas e plantas. **Revista de Agricultura**, v. 55, n. 1-2, p. 33-39, 1980.

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

MARTIN-PRÉVEL, P. Bananier. In: MARTIN-PRÉVEL, P., GAGNARD, J., GAUTIER, P. (Eds.) **L'analyse végétale dans le contrôle de l'alimentation des plantes tempérées et tropicales**. Paris: Tec&Doc, 1984. p. 715-751.

MATTIELLO, E.M. **Transporte no solo, absorção e translocação de boro por clones de eucalipto**. 2008. 111f. Tese (Doctor Scientiae) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

MATTIELLO, E.M.; RUIZ, H.A.; SILVA, I.R.; SARKIS, J.E.S.; NEVES, J.C.L.; PUCCI, M.M. Phloem mobility of boron in two eucalypt clones. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33 n. 6, p. 1695-1704, 2009.

MATOH, T. Boron in plant cell walls. In. DELL, B.; BROWN, P.H. BELL, R.W. **Boron in soils and plants: Reviews**. Dordrecht: Kluwer Academic, 1997. p. 59-70.

MENGEL, K.; KIRKBY, E.A.; KOSEGARTEN, H.; APPEL, T. **Principles of plant nutrition**, 5. ed. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht. 2001. 872p.

MORTVEDT, J.J. Needs for controlled-availability micronutrient fertilizers. **Fertilizer Research**, Dordcrecht, n. 38, p. 213-221, 1994.

MOREIRA, A.; FAGERIA, N.K. Repartição e remobilização de nutrientes na

bananeira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 31, n. 2, p. 574-581, 2009.

MOREIRA, R.S. Adubação. In: RUGGIERO, C. **Simpósio Brasileiro sobre bananicultura**. Jaboticabal: Funep, 2001. p. 252-325.

MOREIRA, R.S. **Banana: teoria e prática de cultivo**. 2.ed. São Paulo: Fundação Cargill, 1999. (CD ROM)

NOIRAUD, N.; MAUROUSSET, L.; LEMOINE, R. Transport of polyols in higher plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 39, p. 717-728, 2001.

OERTLI, J.J.; RICHARDSON, W.F. The mechanism of boron immobility in plants. **Physiologia Plantarum**, v. 23, p. 108-116, 1970.

O'NEILL, M.A.; ISHII, T.; ALBERSHEIM, P.; DARVILL, A.G. Rhamnogalacturonan II: structure and function of a borate cross-linked cell wall pectic polysaccharide. **Annual Review of Plant Biology**, v. 55, p. 109-139, 2004.

PAPADAKIS, I.E.; DIMASSI, K.N.; BOSABALIDIS, A.M.; THERIOS, I.N.; PATAKAS, A.; GIANNAKOULA, A. Effects of B excess on some physiological and anatomical parameters of 'Navelina' orange plants grafted on two rootstocks. **Environmental and Experimental Botany**, Oxford, v. 51, n. 3, p. 247-257, 2004.

PERICA, S.; BELLALOUI, N.; GREVE, C.; HU, H.; BROWN, P. Boron transport and absoluble carbohydrate concentrations in olive. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.26, n.3, p. 291-296, 2001a.

PERICA, S.; BROWN, P.H., CONNELL, J.H.; NYOMORA, A.M.S.; DORDAS, C.; HU, H. Foliar boron application improves flower fertility and fruit se of olive. **HortScience**, v. 36, p. 714-716, 2001b.

POLLARD, A.S.; PARR, A.J.; LOUGHMANN, B.C. Boron in relation to membrane function in higher plants. **Journal of Experimental Botany**, v. 28, p. 831-841, 1977.

POMMERRENIG, B., PAPINI-TERZI, F.S.; SAUER, N. Differential regulation of sorbitol and sucrose loading into the phloem of *Plantago major* in response to salt stress. **Plant Physiology**, v. 144, p. 1029–1038, 2007.

PROGRAMA BRASILEIRO PARA A MODERNIZAÇÃO DA HORTICULTURA E PRODUÇÃO INTEGRADA DE FRUTAS. Normas de classificação de banana. São Paulo: CEAGESP, 2006. 4p. (Documento, 29).

QUAGGIO, J.A.; MATTOS Jr., D.; CANTARELLA, H.; TANK Jr., A. Fertilização com boro e zinco no solo em complementação à aplicação via foliar em laranjeira Pêra. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, vol. 38, n. 5, p. 627-634, 2003.

QUAGGIO, J.A.; PIZA Jr., C.T. Micronutrientes para frutíferas tropicais. IN: FERREIRA, M.E., CRUZ, M.C.P., RAIJ, B. van, ABREU, C.A. (Eds.). **Micronutrientes tóxicos e metais pesados na agricultura**. Jaboticabal:

CNPQ/FAPESP/POTAFOS, 2001. p. 459-492.

RAIJ, B. van. Geoquímica de micronutrientes. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba: POTAFOS, 1991. p. 99-112.

RAIJ, B. van; ALCARDE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: IAC, 2001. 285p.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. rev. Campinas: IAC, 1997. 285p. (Boletim Técnico, 100).

RAVEN, J.A. Short and long distance transport of boric acid in plants. **New Phytologist**, Cambridge, v. 84, p. 231-249, 1980.

REIDEL, E.J.; RENNIE, E.A.; AMIARD, V.; CHENG, L.; TURGEON, R. Phloem loading strategies in three plant species that transport sugar alcohols. **Plant Physiology**, v. 149, p. 1601-1608, 2009.

REZENDE, P.M.; GRIS, C.F.; CARVALHO, J.G.; GOMES, L.L.; BOTTINO, L. Adubação foliar. I. Épocas de aplicação de fósforo na cultura da soja. **Ciência e Agrotecnologia,** Lavras, v. 29, n. 6, p. 1105-1111, 2005.

RODRIGUES, M.G.V.; RUGGIERO, C.; NATALE, W.; PACHECO, I.D. Nutrição e produção da bananeira 'Prata-anã' adubada com zinco e boro diretamente no rizoma, via muda desbastada. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 29, n. 3, p. 645-651, 2007.

RODRIGUES, M.G.V. **Resposta da bananeira 'Prata-Anã' à aplicação de zinco e boro no rizoma**. 2006. 83f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

SAKAI, E.; LEPSCH, I.F. **Levantamento pedológico detalhado da Estação Experimental de Pariquera-Açu**. Campinas: Instituto Agronômico, 1984. 56p. (Boletim Técnico)

SHAPIRA, O.; SHANI, U.; ISRAELI, Y.; SCHWART, A. The role of guttation in cleaning the banana leaf xylem vessles fron boron excess. In: XVII Reunião Internacional da Associação para Cooperação nas Pesquisas sobre Banana no Caribe e na América Tropical – ACORBAT, Joinville, **Anais...**, Joinville, 2006. p. 317.

SILVA, D.H. Boro em mamoneira: **Aspectos morfológicos e fisiológicos relacionados à deficiência e toxicidade**. 2007. 103f. Dissertação (Mestre em Energia Nuclear na Agricultura e Ambiente) – Universidade de São Paulo, Piracibaca.

SILVA, E.B.; RODRIGUES, M.G.V. Levantamento nutricional dos bananais da região norte de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 23, n. 3, p. 695-698, 2001.

SILVA, J.T.A.; BORGES, A.L.; MALBURG, J.L. Solos, adubação e nutrição da bananeira. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 20, p. 21-36, 1999.

SILVA, S.O.; PASSOS, A.R.; DONATO, S.L.R.; SALOMÃO, L.C.C.; PEREIRA, L.V.; RODRIGUES, M.G.V.; LIMA NETO, F.P.; LIMA, M.B. Avaliação de genótipos de bananeira em diferentes ambientes. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 27, n. 4, p.737-748, 2003.

SILVA, S.O.; PIRES, E.T.; PESTANA, R.K.N.; ALVES, J.S.; SILVEIRA, D.C. Avaliação de clones de banana Cavendish. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 5, p. 832-837, 2006.

SOTO-BALLESTERO, M. **Bananos: Cultivo y Comercialización**. 2. ed., San José: Imprenta LIL, 2000. 1 CD-ROM.

STANGOULIS, J.C.R.; BROWN, P.H.; BELLALOUI N.; REID, R.J.; GRAHAM, R.D. The efficiency of boron utilization in canola. **Australian Journal of Plant Physiology**, v. 28, p. 1109-1114, 2001.

TANADA. T. Localization of boron in membranes. **Journal of Plant Nutrition**, v. 6. p. 743-749, 1983.

TANG, P.M.; FUENTE, R.K. The transport of indole-3-acetic acid in boron and calcium deficient sunflower hypocotyl segments. **Plant Physiology**, v. 81, p. 646-650, 1986.

TEIXEIRA, L.A.J.; RUGGIERO, C.; NATALE, W. Manutenção de folhas ativas em bananeira 'Nanicão' por meio do manejo das adubações nitrogenada e potássica e da irrigação. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 23, n. 3, p. 699-703, 2001.

TEIXEIRA, L.A.J.; SPIRONELLO, A.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, P. Banana. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Eds.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. rev. Campinas: IAC, 1997. p. 131-132. (Boletim Técnico, 100).

THEISEN, G.; RUEDELL, J. **Tecnologia de aplicação de herbicidas: teoria e prática**. Passo Fundo: Aldeia Norte Editora, 2004, 90p.

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

VARGAS A. Síntomas de toxicidad y contenido de macro y micronutrimentos en plantas de banano (*Musa* AAA) bajo condiciones de cultivo hidropónico. **CORBANA,** v.24. n. 51, p. 61-78, 1999.

VARGAS, A.; ARIAS, F.; SERRANO, E.; ARIAS, O. Toxicidad de boro en plantaciones de banano (*Musa* sp. AAA) en Costa Rica. **Agronomía Costarricense**, v. 31, n. 2, p. 21-29, 2007.

VOLKWEISS, S.J. Fontes e métodos de aplicação. In: FERREIRA, M. E., CRUZ, M. C. P. **Micronutrientes na Agricultura**. Piracicaba: POTAFOS/CNPq, 1991. p. 391-412.

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

WILLIAMSON, J.D.; JENNINGS, D.B.; GUO, W.W.; PHARR, D.M.; EHRENSHAFT, M. Sugar alcohols, salt stress, and fungal resistance: polyols-multifunctional plant protection? **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 127, p. 467-473, 2002.

WOJCIK, P.; WOJCIK, M. Effect of boron fertilization on 'Conference' pear tree vigor, nutrition, and fruit yield and storability. **Plant and Soil**, v. 256, p. 413-421, 2003.