

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS  
EMBRAPA MANDIOCA E FRUTICULTURA TROPICAL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MICROBIOLOGIA AGRÍCOLA  
CURSO DE MESTRADO**

**USO DO SILÍCIO NA NUTRIÇÃO DA BANANEIRA E NO CONTROLE DO  
MAL-DO-PANAMÁ**

**Emília Gabriela Jesus da Conceição**

**CRUZ DAS ALMAS- BAHIA  
AGOSTO - 2010**

**USO DO SILÍCIO NA NUTRIÇÃO DA BANANEIRA E NO CONTROLE DO  
MAL-DO-PANAMÁ**

**EMÍLIA GABRIELA JESUS DA CONCEIÇÃO**

Engenheira Agrônoma

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2007

Dissertação submetida ao colegiado do Programa de Pós-Graduação em Microbiologia Agrícola da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia e da Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Microbiologia Agrícola, para a obtenção do Grau de *Magister Scientiae*.

Orientadora: Adriana Maria de Aguiar Accioly

Co-orientadores: Paula Angela U. Guedes Alcoforado

Miguel Angel Dita Rodriguez

**CRUZ DAS ALMAS - BAHIA  
AGOSTO - 2010**

## FICHA CATALOGRÁFICA

C744 Conceição, Emília Gabriela Jesus da

Uso do silício na nutrição da bananeira e no controle do Mal-do-Panamá /  
Emília Gabriela Jesus da Conceição.\_ Cruz das Almas, BA, 2010.

f. 69 ; il.

Orientadora: Adriana Maria de Aguiar Accioly

Co-Orientadores: Paula Ângela U. Guedes Alcoforado; Miguel Angel Dita Rodriguez.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro  
de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, Área de Concentração: Microbiologia  
Agrícola.

1. Banana - mal-do-Panamá 2. Bananeira-nutrição. 3. Mal-do-Panamá-controle.  
I. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias e  
Tecnológicas. II. Título.

CDD 634.773

Ficha catalográfica elaborada pela seção técnica da biblioteca central da  
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Campus Cruz das Almas.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS  
EMBRAPA MANDIOCA E FRUTICULTURA TROPICAL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MICROBIOLOGIA AGRÍCOLA  
CURSO DE MESTRADO

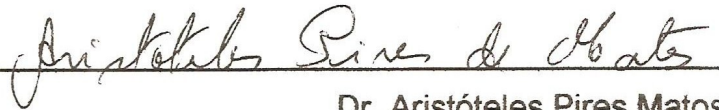
COMISSÃO EXAMINADORA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE  
EMÍLIA GABRIELA JESUS DA CONCEIÇÃO



Dr<sup>a</sup>. Adriana Maria de Aguiar Accioly

Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical

(Orientadora)



Dr. Aristóteles Pires Matos

Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical



Prof. Dr. Washington Luiz Contrin Duete

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia-UFRB

Dissertação homologada pelo Colegiado do Curso de Mestrado em  
Microbiologia Agrícola em \_\_\_\_\_

Conferindo o Grau de Mestre em Microbiologia Agrícola  
em \_\_\_\_\_

“O SENHOR é o meu rochedo, é o meu lugar forte, é o meu libertador; o meu Deus, a minha fortaleza, em que confio; o meu escudo, a força de minha salvação, e o meu alto refúgio.”

**Salmo 18:2**

A meu pai (in memoriam).

A minha querida mãe,

Pelo exemplo de persistência.

A todos meus familiares.

Aos meus amigos,

por todas as palavras de conforto nos momentos de aflições.

## **OFEREÇO**

À Deus,  
pela pessoa que sou.

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente ao meu grande pai (Deus) que nunca me deixou desamparada, iluminando sempre minha vida;

À Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, pelo aperfeiçoamento profissional;

À Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical por disponibilizar as instalações para o desenvolvimento dos experimentos;

À Capes pela concessão da bolsa de estudos.

À coordenação e ao corpo docente do mestrado em Microbiologia Agrícola por toda ajuda prestada;

Agradeço a Dr<sup>a</sup>. Adriana Maria de Aguiar Accioly, pela orientação e pelo apoio para enfrentar os problemas encontrados durante o percurso do trabalho;

À Dr<sup>a</sup>. Paula Ângela U. Guedes Alcoforado e ao Dr. Miguel Angel Dita Rodríguez, pela co-orientação, por todas as sugestões, ensinamentos e a grande ajuda no desenvolvimento do experimento;

Agradeço em especial a Dr. Zilton Cordeiro pela atenção e por todos os ensinamentos desde o período de minha graduação;

Ao Dr. Carlos Ledo e ao Dr. Francisco Laranjeira pela enorme colaboração na realização das análises estatísticas;

A empresa RECMIX do Brasil S.A., por me ceder gentilmente o Agrosilício® (Silicato de cálcio e magnésio);

A todos meus colegas e amigos do mestrado em Microbiologia Agrícola, em especial à Adailson por todo apoio e ajuda na execução do trabalho;

A todos meus colegas do Laboratório de Fitopatologia, em especial ao meu grande amigo Francisco Paulo e a Lindinéia, por todas as palavras de incentivo e pela ajuda prestada nos momentos de aperto;

Agradeço aos funcionários Roque, Das Neves, Jocimar, Juliana, Náñez e Luciano, do Laboratório de Solos e Nutrição de Plantas da Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, por toda ajuda fornecida;

Agradeço a todos os funcionários do Laboratório de Práticas Culturais da Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, em especial a Bizunga, Sinésio e Paulo, que além de me ajudarem na execução do meu trabalho sempre me incentivaram;



À minha querida república (Lú, Carolzinha, Amanda, July, Rosi e Carol) pelo incentivo, confiança e por dividir comigo momentos tristes e alegres durante todos estes anos em Cruz das Almas;

À meu amor, Aron, pelo incentivo, carinho e todo apoio no momento de maior aflição;

A todos que contribuíram direta ou indiretamente para a execução deste trabalho, muito obrigada por tudo!

## SUMÁRIO

### PÁGINA

#### RESUMO

#### ABSTRACT

#### INTRODUÇÃO.....1

### CAPÍTULO 1

#### MAL-DO-PANAMÁ DA BANANEIRA E SILÍCIO NO SOLO E NA PLANTA

1.0. Banana ( <i>Musa spp</i> ).....	6
1.1. História da bananicultura.....	6
1.2. Classificação botânica.....	7
1.3. Importância econômica.....	7
1.4. Etiologia e sintomatologia de <i>Fusarium. oxysporum</i> f. sp. <i> cubense</i> . da bananeira.....	9
1.4.1 Epidemiologia e controle.....	11
2.0. Aspectos gerais do Silício.....	11
2.1. Silício no solo.....	12
2.2. Silício na planta.....	14
2.3. Os benefícios do silício na nutrição de plantas.....	16
2.4. O silício no controle de doenças.....	17
3.0. Referências bibliográficas.....	22

### CAPÍTULO 2

#### USO DO SILÍCIO NA NUTRIÇÃO DA BANANEIRA E NO CONTROLE DO MAL-DO-PANAMÁ

1.0. Introdução.....	32
2.0. Materiais e métodos.....	34
3.0. Resultados e discussões.....	42
4.0. Conclusões.....	64
5.0 Referências bibliográficas.....	65

## RESUMO

A cultura da banana possui grande importância econômica e social, sendo cultivada numa extensa região tropical, geralmente por pequenos agricultores. Entretanto, o mal-do-Panamá, reconhecida como uma das doenças mais destrutivas da bananeira no mundo tem causado enormes prejuízos aos produtores de banana. Uma das alternativas testadas para o controle de importantes doenças de plantas, principalmente as fúngicas, é o uso do silício (Si), que tem apresentado efeitos benéficos em várias espécies, proporcionando efetivo controle de doenças em plantas. O estudo para determinar o potencial de utilização desse elemento no controle do mal-do-Panamá, torna-se necessário principalmente quando são consideradas as grandes perdas causadas por *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (*Foc*). Nesse sentido, os objetivos deste trabalho foram: 1) Avaliar a absorção e translocação de silício em bananeira e 2) Avaliar o efeito de doses crescentes de silicato sobre a resistência de diferentes cultivares de bananeira ao mal-do-Panamá. A adição de doses crescentes de Si ao solo promoveu alterações nos atributos químicos, corrigindo a acidez do solo, disponibilizando nutrientes como cálcio e magnésio, e silício além de ter aumentado a disponibilidade do fósforo ao solo, elevou a produção da matéria seca da raiz e da parte aérea das plantas de bananeiras. As plantas supridas com Si apresentaram incremento na concentração de potássio, cálcio, magnésio e silício e redução do nitrogênio e do fósforo na parte aérea. As plantas de bananeiras absorveram e translocaram silício para a parte aérea comportando-se como uma planta acumuladora intermediária de Si. A redução da severidade do mal-do-Panamá observada neste estudo foi resultado da adição do silício ao solo.

**Palavras-chaves:** Banana, *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*, *Musa spp*, Silicato de cálcio e magnésio.

## ABSTRACT

The banana crop is extensively cultivated in tropical regions, usually by small farmers, hence its economic and social importance. However, Panama disease, caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (Foc), is known as one of the most destructive banana diseases in the world. It is accounted for tremendous losses to banana producers; therefore, alternatives other than genetic resistance are especially necessary. Silicon (Si) has been shown to provide effective control of fungal plant diseases but so far its effect on banana plants and Foc is not completely understood. In that sense, our objectives were: 1) evaluate the absorption and translocation of silicon in banana, and 2) evaluate the effect of increasing doses of silicate on the resistance of different banana cultivars to Panama Disease. The addition of increasing doses of Si to the soil corrected soil acidity and changed nutrient (calcium, magnesium and silicon) availability as well as increased phosphorus levels in the soil. Moreover, the dry matter of banana roots and shoots was increased. Plants supplied with Si showed higher concentration of potassium, calcium, magnesium and silicon and reduction of nitrogen and phosphorus in the shoot. Banana plants absorbed and translocated silicon to the shoot and seem to behave as an intermediate Si accumulator. Severity of Panama Disease symptoms in this study was negatively correlated to increasing doses of silicon added to the soil.

**Keywords:** Banana, *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*, *Musa spp*, Silicate of calcium and magnesium.

## INTRODUÇÃO GERAL

A banana é uma das frutas tropicais mais consumidas no mundo e no Brasil, componente constante na dieta dos brasileiros, é apreciada por pessoas de todas as classes sociais, que a consomem in natura, cozida, assada, frita, em calda, em passas, doces caseiros ou em produtos industrializados. Possui alto valor nutricional, sendo rica em carboidratos e potássio, e vitamina A, e baixo em proteínas e vitaminas B e C.

Devido à sua alta capacidade adaptativa, a banana é cultivada em quase todos os países tropicais. No Brasil, seu cultivo é uma das atividades agrícolas mais antigas (DANTAS; SOARES FILHO, 2000).

O Brasil é o quarto produtor mundial de banana, e em 2008 a produção brasileira alcançou 7.116.808 toneladas em uma área aproximada de 513.656 hectares (FAO, 2010).

A bananicultura brasileira, em geral, é conduzida sob baixos níveis de tecnologia, o que resulta em diversos problemas fitossanitários causados por fungos, bactérias e vírus. Entre os agentes fitopatogênicos, os fungos são os principais responsáveis por danos à cultura. Dentre as principais doenças de etiologia fúngica destaca-se o mal-do-Panamá, reconhecida como uma das doenças mais destrutivas da bananeira no mundo. O mal-do-Panamá é causado pelo fungo *Fusarium oxysporum* Schlecht f. sp. *cubense* (E.F.Smith), Snyd & Hans., que é um patógeno de solo de difícil controle, e por esta razão tem sido fator limitante para o cultivo de algumas variedades suscetíveis, porém de grande valor comercial, como a “Maçã” e a “Prata” (CORDEIRO et al., 2005; PLOETZ, 1994, 2006). Por esta razão, buscar alternativas para o controle da doença, que sejam viáveis economicamente, e que causem menor impacto ao ambiente, viabilizando o cultivo das variedades suscetíveis, passou a ser de grande importância para a cultura.

Uma das alternativas testadas para o controle de importantes doenças de plantas, principalmente as fúngicas, é o uso do silício (Si), que tem apresentado efeitos benéficos em várias espécies vegetais, proporcionando efetiva redução da severidade de doenças. Entre os principais benefícios do Si nas plantas destacam-se: o aumento da capacidade fotossintética, aumento da tolerância ao estresse

hídrico, redução no acamamento e o aumento na resistência ao ataque de pragas e doenças (MA et al., 2001).

A maior parte das pesquisas, no entanto, estão relacionadas com gramíneas; pouco se sabe sobre o efeito em fruteiras, sobretudo na cultura da banana. O estudo para determinar o potencial de utilização desse elemento no controle do mal-do-Panamá, torna-se necessário principalmente quando são considerados os enormes prejuízos que essa doença tem causado aos produtores de banana. Além disso, a adubação silicatada não agride o ambiente permitindo que a bananeira seja produzida dentro de uma concepção de agricultura sustentável.

Nesse sentido, os objetivos deste trabalho foram: 1) avaliar a absorção, translocação e redistribuição de silício em bananeira e 2) Avaliar o efeito de doses crescentes de silicato sobre a resistência de diferentes cultivares de bananeira ao mal-do-Panamá.

---

# Capítulo 1

## **MAL-DO-PANAMÁ DA BANANEIRA E SILÍCIO NO SOLO E NA PLANTA**

---

## RESUMO

A banana, entre as fruteiras, é a segunda fruta mais consumida no Brasil, perdendo apenas para a laranja. Devido as suas particularidades, em especial seu baixo custo, a fruta é consumida por todas as classes sociais colocando-a como destaque entre as fruteiras, em relação ao seu potencial como alimento e valor nutricional. Além disso, é fonte de emprego e renda para milhares de brasileiros, exercendo ainda papel fundamental na fixação do homem no campo e na geração de emprego no meio rural. A produção brasileira está distribuída de Norte a Sul do País. Entre as regiões produtoras, o destaque maior é para a Região Nordeste. Dentre as doenças mais importantes que atacam a bananeira destacam-se o mal-do-Panamá, causada por *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (*Foc*), que é reconhecida como uma das doenças mais destrutivas da bananeira no mundo. Considerando os grandes prejuízos que o mal-do-Panamá tem causado a produção de banana, tanto no Brasil como no mundo, o uso de silício na cultura pode favorecer a sua produção. Além dos efeitos sobre a incidência da doença, a utilização do silício pode estimular o crescimento e a produção vegetal através de várias ações indiretas, como a diminuição do auto-sombreamento, deixando as folhas mais eretas; decréscimo na suscetibilidade ao acamamento, maior rigidez estrutural dos tecidos; proteção contra estresses abióticos, como a redução da toxidez de Al, Mn, Fe e Na. Nesse sentido, o objetivo deste capítulo foi abordar uma revisão sobre as particularidades da cultura da banana e o mal-do-Panamá, e sobre o si no solo e na planta.

**Palavras-chaves:** Banana, Fertilização silicatada, Murcha de *Fusarium* da bananeira, *Musa spp.*



## ABSTRACT

Bananas are the second most consumed fruit in Brazil; only behind oranges. Because of its special features, particularly its low cost, bananas are consumed by all social classes, placing it as a highlight among the fruit trees regarding their potential as food and nutritional value. In addition, it is a source of jobs and income for thousands of Brazilians presenting a key role as a source of employment in rural areas.. Brazilian production is distributed from the north to the south of the country. Among the producing regions, emphasis is greater in the Northeast. One of the main diseases attacking bananas is Panama Disease, caused by *Fusarium oxysporum f. sp. cubense* (Foc), which is recognized as one of the most destructive diseases of banana worldwide. Considering the significant losses that Panama Disease has caused to banana production, in both the Brazilian and worldwide scenario, the use of silicon may enhance production. Besides the effects on the incidence of the disease, the use of silicon may stimulate growth and crop production through various indirect actions, such as reduced self-shading, maintaining the most erect leaves, decrease lodging susceptibility, increase structural rigidity of tissues; protection against abiotic stresses; such as reducing Al, Mn, Fe and Na toxicity. Therefore, the purpose of this chapter was to address a review of bananas and Panama Disease particularities, and the effects of silicon in the soil and the plant.

**Keywords:** Bananas, silicon fertilization, banana *Fusarium* wilt, *Musa* spp.

## **1.0. Banana (*Musa Spp*)**

### **1.1. História da bananicultura**

A maior parte das pesquisas históricas indica a origem das espécies comestíveis de banana predominantemente no sudeste asiático, nas regiões que hoje compreendem Filipinas, Malásia e Indonésia. Há evidências do cultivo da fruta em Papua Nova Guiné entre 10.000 e 5.000 a.C., o que caracterizaria sua população como a pioneira na plantação de bananeiras.

Por meio do comércio estabelecido principalmente por árabes e persas entre a Índia e o norte da Austrália no decorrer dos séculos V e VI, a banana se espalhou significativamente pelo sul do continente asiático e chegou a diversas ilhas do Pacífico, incluindo o Havaí, junto com o deslocamento da população polinésia. A África Ocidental recebeu suas primeiras mudas cultivadas há mais de três mil anos, apesar de ainda não haver consenso com relação aos responsáveis por este transporte (DE LANGHE, 1996).

Na Europa, permaneceu razoavelmente desconhecida até o século X. Relatos sobre a fruta na literatura greco-romana (como no famoso compêndio de Plínio, o Velho – *Historia Naturalis*) são esparsos.

As navegações portuguesas e espanholas no século XV foram as responsáveis pela rápida disseminação da bananeira na América, onde encontrou condições climáticas notáveis para seu desenvolvimento (MORTON, 1987).

No Brasil, o cultivo se espalhou rapidamente por entre as comunidades indígenas. Em pouco tempo, passou a ser parte integrante de um número significativo de pratos tradicionais. Também se mostrou excelente matéria-prima para a produção de artefatos de uso diário, como cestos e balaios. Os métodos de preparo do material foram gradualmente desenvolvidos e passados de geração em geração, sendo utilizados até hoje na elaboração de peças de artesanato.

## 1.2. Classificação Botânica

Descrita no século XVIII pelo botânico sueco Lineu, a bananeira pertence à classe das Monocotyledoneae, ordem Scitaminales, família Musaceae, da qual fazem parte as subfamílias Heliconioideae, Strelitzioideae e a Musoideae. Esta última com dois gêneros, o gênero *Musa*, onde se encontram os frutos comestíveis e de interesse tecnológico e o gênero *Ensete* com frutos ornamentais (DANTAS; SOARES FILHO, 2000).

A planta se caracteriza por apresentar caule suculento e subterrâneo (rizoma), cujo "falso" tronco é formado pelas bases superpostas das folhas. O sistema radicular é fasciculado, podendo atingir horizontalmente até 5 m; no entanto, em geral atinge de 1 a 2 m horizontalmente, dependendo da cultivar e das condições do solo. É também superficial, com cerca de 40% na profundidade de 10 cm e de 60% a 85% das raízes concentrando-se na camada de 30 cm (BORGES et al., 2000)

O pseudocaule é formado por bainhas foliares, terminando com uma copa de folhas compridas e largas, com nervura central desenvolvida. Uma planta pode emitir de 30 a 70 folhas, com o aparecimento de uma folha a cada 7 a 11 dias. A inflorescência sai do centro da copa, apresentando brácteas ovaladas, de coloração geralmente roxo-avermelhada, de cujas axilas nascem as flores. De cada conjunto de flores formam-se as pencas (7 a 15), apresentando número variável de frutos (40 a 220), dependendo da cultivar (BORGES; SOUZA, 2004).

## 1.3 Importância Econômica

A banana é uma fruta consumida por todas as classes sociais, destacando-se entre as fruteiras, em relação ao seu potencial como alimento e valor nutricional. Além disso, é fonte de emprego e renda para milhares de brasileiros, exercendo ainda papel fundamental na fixação do homem no campo e na geração de emprego no meio rural.

A cultura da banana, entre as fruteiras ocupa o segundo lugar em volume de frutas produzidas no Brasil, perdendo apenas para a laranja (FAO, 2010).

A produção brasileira de banana está distribuída de Norte a Sul do País. Entre as regiões produtoras, o destaque maior é para a Região Nordeste a qual é responsável por 40,78% da produção nacional, seguida das Regiões Sudeste com 30,15%, Sul com 13,47%, Norte com 12,31%, e Centro-Oeste com 3,28% (IBGE, 2010).

A produtividade média brasileira em 2008 foi em torno de 13,86 t ha<sup>-1</sup> (Tabela 1) em uma área de 513.656 hectares, muito abaixo das 35,87 t ha<sup>-1</sup> observadas na Índia (FAO, 2010). A baixa produtividade está associada à incidência de pragas e doenças mas, principalmente, ao baixo nível de tecnologia que é dispensado ao cultivo da bananeira na maior parte das áreas produtoras, levando à constatação de bananeais mal manejados, mal nutridos e com alta incidência de pragas e doenças. Aliado a isto, as cultivares tipo prata (Prata, Pacovan e Prata Anã) são responsáveis por aproximadamente 60% da área cultivada no Brasil apresentando a produtividade menor do que as variedades do subgrupo Cavendish cultivadas nos demais países.

**Tabela 1.** Área, produção e rendimento de banana no mundo, em 2008

Países	Área colhida (ha)	Produção (t)	Rendimento (t ha <sup>-1</sup> )
Índia	646.900	23.204.800	35,87
Filipinas	438.593	8.687.624	19,81
China	311.106	8.042.702	25,85
Brasil	513.656	7.116.808	13,86
Equador	215.521	6.701.146	31,09
Outros	2.691.775	36.952.842	13,73
<b>Mundo</b>	<b>4.817.551</b>	<b>90.705.922</b>	<b>18,83</b>

Fonte: FAO, 2010

Dentre as doenças mais importantes que atacam a bananeira destacam-se a Sigatoka-negra causada por *Mycosphaerella fijiensis*, a Sigatoka-amarela, causada por *Mycosphaerella musicola*, e o mal-do-Panamá, causada por *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (*Foc*) que é reconhecida como uma das doenças mais destrutivas da bananeira no mundo (CORDEIRO et al., 2005; PLOETZ, 1994, 2006).

#### 1.4 Etiologia e sintomatologia de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* da bananeira.

O mal-do-Panamá, também conhecido como fusariose ou simplesmente murcha de *Fusarium* da bananeira, causada pelo fungo *Fusarium oxysporum* Schlecht f. sp. *cubense*, (E.F.Smith), Snyd & Hans., é considerada uma das doenças mais destrutivas da bananicultura mundial (MATOS et al., 2001; PLOETZ, 2006; VILJOEN, 2002).

O primeiro relato da doença ocorreu em 1874 na Austrália (BANCROFT, 1878). A denominação mal-do-Panamá é devida a destruição que a doença causou em bananais da cultivar Gros Michel no Panamá, onde cerca de 40.000 hectares foram destruídas pela doença.

No Brasil, a primeira constatação da doença ocorreu em Piracicaba, no estado de São Paulo, por volta de 1930, atacando a cultivar Maçã (KIMATI; GALI, 1980).

Distribuída de forma endêmica em todo o território nacional, a doença causou problemas principalmente nas variedades AAB dos tipos Prata e Maçã. Muito apreciadas no mercado brasileiro, essas variedades vem perdendo espaço, gradativamente, para as bananas do grupo Cavendish, como as variedades Nanica (AAA), e Nanicão (AAA) que são resistentes a doença (CORDEIRO; MATOS, 2003).

*Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* é um fungo de solo que pertence à classe dos Deuteromicetos, ordem Moniliales, família Tuberculariaceae, cuja forma perfeita não é conhecida (CORDEIRO; MATOS, 2003). O patógeno produz microconídios, macroconídios e os clamidósporos que são estruturas de resistências de elevada longevidade. Estas estruturas germinam com o estímulo de exsudatos radiculares e penetram na planta através dos pêlos absorventes e/ ou ferimentos. Existem relatos da permanência no solo por mais de 20 anos, na ausência do hospedeiro (STOVER, 1972).

Quatro raças fisiológicas de Foc com especificidade patogênica distinta tem sido reportadas. As raças 1, 2 e 4 afetam a bananeira. Enquanto a raça 3 afeta *Heliconia* spp (CORDEIRO; MATOS, 2003). De acordo com o sistema de

classificação de raças, a raça 1 afeta Gros Michel, a raça 2 a variedades do tipo Bluggoe e a raça 4 as variedades do subgrupo Cavendish (STOVER, 1972; SUN et al., 1978). A constatação da raça 4 infectando Cavendish, é altamente preocupante uma vez que as variedades pertencentes a este grupo são a mais cultivadas mundialmente. A raça 4 está presente em países asiáticos e ainda não foi relatada na América Latina. Esta raça foi dividida em raça 4 subtropical (ST4) e raça 4 tropical (TR4). Porém, enquanto isolados de ST4 causam doença em Cavendish nos subtropicos, principalmente quando as plantas são expostas a estresses abióticos, isolados da TR4 afetam Cavendish tanto em condições tropicais quanto subtropicais (BUDDENHAGEN, 2009). Desde o seu aparecimento, TR4 causou severos danos na Malásia, Indonésia, Sul da China, Filipinas e no norte de Austrália, nas cultivares do subgrupo Cavendish (PLOETZ, 2006; MOLINA et al., 2008; BUDDENHAGEN, 2009). As estratégias para o controle de TR4 estão principalmente centradas nos princípios de exclusão (evitar sua entrada) e erradicação (eliminar focos de infecção para evitar sua disseminação).

Plantas afetadas pelo mal-do-Panamá apresentam externamente um amarelecimento progressivo que inicia na folhas mais velhas para as mais novas. O amarelecimento começa pelos bordos foliares evoluindo para nervura central, posteriormente com o progresso da doença, as folhas murcham, o pecíolo das folhas mais velhas quebram junto ao pseudocaule, dando a planta o aspecto de guarda-chuva fechado. Internamente, por meio de corte transversal ou longitudinal do pseudocaule, observa-se uma descoloração pardo-avermelhada provocadas pela presença do patógeno nos vasos. No rizoma, o processo de descoloração é mais intensificado na região de vascularização mais densa (CORDEIRO; MATOS, 2000; 2003).

### **1.4.1. Epidemiologia e controle**

A manifestação dos sintomas numa fase adiantada do desenvolvimento da cultura, a capacidade do fungo em produzir estruturas de sobrevivência e principalmente o fato de ser um patógeno do solo dificultam enormemente o controle. A textura e estrutura do solo e os fatores químicos como pH, cálcio, magnésio, alumínio e potássio trocáveis, e matéria orgânica tem sido relacionados como fatores importantes para ocorrência da doença no campo (VENTURA; HINZ, 2002; MATOS et al., 2001).

Entre as diversas formas de disseminação da doença (água de irrigação, drenagem, pela ação antrópica, por animais e equipamentos) a principal é através do contato do sistema radicular de plantas saudáveis com os esporos liberados de plantas doentes (CORDEIRO; KIMATI, 1997; CORDEIRO; MATOS, 2000).

A aplicação de agrotóxicos, implementação de rotação de culturas e inundação do solo não tem se mostrado práticas efetivas de controle do mal-do-Panamá. Os principais métodos utilizados são a exclusão do patógeno em áreas livres da doença e o cultivo de variedades resistentes (CORDEIRO; MATOS, 2003). A agricultura moderna busca a produção de alimentos sem impactos negativos ao meio ambiente, sem contaminar o trabalhador rural e com segurança alimentar ao consumidor. Uma das estratégias que pode ser utilizada para o controle do mal-do-Panamá seria o uso do silício que é considerado uma tecnologia limpa e sustentável, tendo o potencial para diminuir o uso de agrotóxicos e aumentar a produtividade por meio de uma nutrição mais equilibrada e fisiologicamente mais eficiente.

## **2.0. Aspectos gerais do Silício**

O silício (provém do latim *sílex*) é um elemento com propriedades elétricas e físicas de um semimetal, de símbolo Si, isolado pelo sueco Jöns Jacob Berzelius, em 1824, não é normalmente encontrado em estado puro na natureza. Em combinação com outros elementos, constitui 27% da crosta terrestre, é o elemento mais abundante depois do oxigênio (JACKSON, 1964).

A ação benéfica do Si tem sido associada a diversos efeitos indiretos, dentre os quais; pode estimular o crescimento e a produção vegetal através de várias ações indiretas, como a diminuição do auto-sombreamento, deixando as folhas mais eretas; decréscimo na suscetibilidade ao acamamento, maior rigidez estrutural dos tecidos; proteção contra estresses abióticos, como a redução da toxidez de Al, Mn, Fe e Na; diminuição na incidência de patógenos e aumento na proteção contra herbívoros, incluindo os insetos fitófagos (EPSTEIN, 1994; MARSCHNER, 1995).

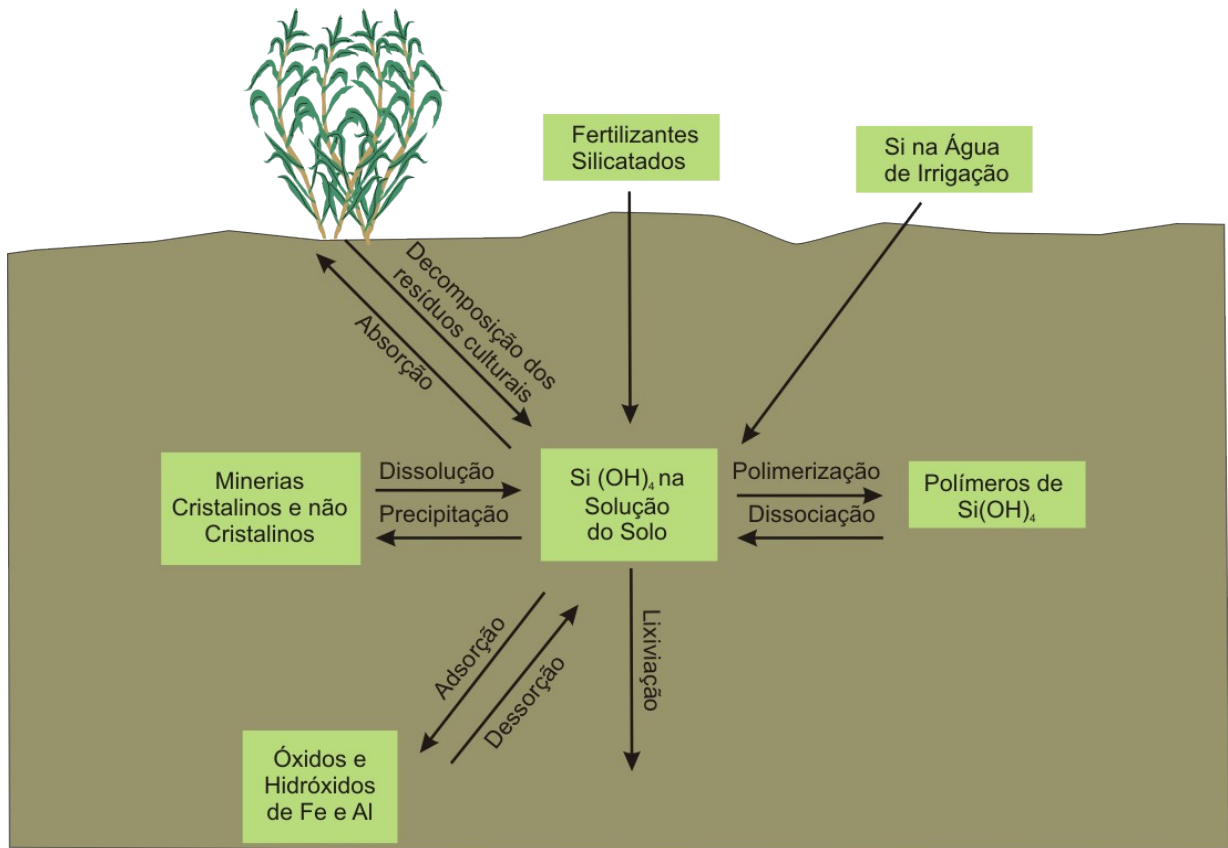
## 2.1. Silício no solo

O Si está presente na solução do solo na forma de ácido monossilícico ( $\text{H}_4\text{SiO}_4$ ) a maior parte na forma não dissociada, o qual é prontamente absorvido pelas plantas (RAVEN, 1983; TAKAHASHI, 1995). A concentração de  $\text{H}_4\text{SiO}_4$  na solução do solo pode variar entre 0,01 e 1,99 mM (KARATHANASIS, 2002), sendo mais comum em torno de 0,1 a 0,6 mM (FAURE, 1991).

Em pH próximo da neutralidade, o ácido silícico tem solubilidade de 2mM. Acima desta concentração ocorre policondensação, produzindo ácido silícico oligomérico e, eventualmente, partículas coloidais de sílica hidratada ( $\text{SiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ ).

As principais fontes de ácido silícico presentes na solução do solo são: decomposição de resíduos vegetais, dissociação do ácido silícico polimérico, liberação de Si dos óxidos e hidróxidos de Fe e Al, dissolução de minerais cristalinos e não cristalinos, adição de fertilizantes silicatados e a água de irrigação (WERBER; ROTH, 1983; TAKAHASHI, 1995). Os principais drenos incluem a precipitação do Si em solução, formando minerais; a polimerização do ácido silícico; lixiviação; adsorção em óxidos e hidróxidos de Fe e Al; e a absorção pelas plantas (Figura 1).



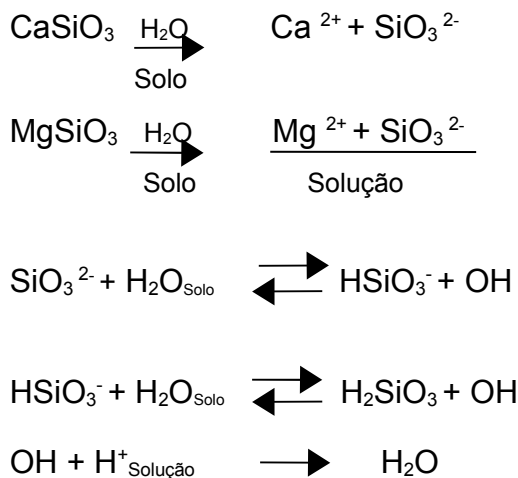


**Figura 1.** Transformações e processos mais importantes que influenciam a concentração de Si na solução do solo. Fonte: (SAVANT et al., 1997).

As fontes de Si normalmente utilizadas em pesquisas são os metassilicatos de sódio e potássio, além do ácido silícico, com efeitos semelhantes (BÉLANGER et al., 1995). Além dos produtos especialmente desenvolvidos para aplicações foliares, termofosfatos e diferentes escórias industriais são aplicados ao solo, adicionando quantidades significativas de silício, juntamente com outros nutrientes (LIMA FILHO et al., 1999).

Na agricultura existe uma grande diversidade de fontes de silício usadas. Os silicatos ( $\text{CaSiO}_3$ ) constituem as principais fontes de Si empregadas para este fim. Sendo sais nos quais a sílica é combinada com oxigênio ou outros elementos como Al, Mg, Ca, Na, Fe e K em mais de 95% das rochas terrestres, meteoritos, em todas as águas, atmosfera (na forma de pó silicoso) vegetal e animal (SAVANT et al., 1997.; JACKSON, 1964). Para que sejam utilizados é necessária a retirada dos metais pesados, algumas vezes em alta concentração, que podem provocar sérios problemas ambientais.

Os silicatos possuem efeito corretivo, isto é, têm a capacidade de neutralizar a acidez do solo e produzir o ácido monossilícico, que é a principal forma de Si absorvida pelas plantas (ALCARDE, 1992). Com a sua aplicação no solo, o pH aumenta, os teores de  $Al^{+3}$  diminuem, a Saturação por Bases aumenta e a Saturação por Al diminui. Isto acontece porque os silicatos promovem a reação dos ânions  $SiO_3^{2-}$  com os prótons de  $H^+$  na solução do solo (KORNDÖRFER, 2007), como mostrado no esquema abaixo:



A ação neutralizante é devido à base forte  $OH^-$  e a base fraca  $SiO_3^{2-}$ .

## 2.2. Silício na planta

A absorção ativa de Si pelas raízes é de fundamental importância para a defesa das plantas e que uma pequena quantidade de silício absorvida é requerida para aumentar a resistência a patógenos. A absorção de silício está relacionada a alguma forma de defesa da planta, seja contra estresse abiótico ou biótico (DALLAGNOL et al, 2009).

O silício é absorvido pelas raízes das plantas na forma de ácido monossilícico ( $H_4SiO_4$ ) juntamente com a água por fluxo de massa e se acumula principalmente nas áreas de máxima transpiração como ácido silícico polimerizado por transporte passivo e ativo (MA et al., 2006). O processo de absorção do ácido monossilícico, que possui carga neutra, ocorre na membrana das células epidérmicas, de um local

de alta concentração para baixa concentração, pela dissolução através da membrana, podendo ocorrer por apoplasto e simplasto.

Após ser absorvido juntamente com a água, a mesma é evaporada e o silício é depositado no tecido da planta na forma de sílica gel, não ocorrendo translocação para os tecidos mais novos da planta (EPSTEIN, 1994).

As plantas diferem bastante na sua capacidade de absorver o Si, até mesmo entre genótipos de uma mesma espécie como o arroz (DEREN et al., 1994). A distribuição dos depósitos de Si nas plantas é influenciada pela idade da planta, tipo e localização dos tecidos envolvidos e pela absorção através das raízes, além da transpiração. Esta ampla variação das concentrações de Si no tecido vegetal é resultado, tanto da fisiologia das diferentes espécies, quanto do ambiente, onde as plantas se desenvolvem (GALLO et al., 1974).

De acordo com a capacidade de absorver e acumular silício as plantas podem ser classificadas em três grupos: As acumuladoras de silício em geral as monocotiledôneas (Gramineae), que tem processo ativo de absorção de silício possuindo teor foliar acima de  $10,0 \text{ g kg}^{-1}$  de silício na matéria seca; as intermediárias na acumulação de silício, o teor foliar é entre 5 e  $10,0 \text{ g Kg}^{-1}$ ; e as não acumuladoras, em geral leguminosas, o teor foliar menor que  $5,0 \text{ g kg}^{-1}$  de silício na matéria seca (TAKAHASHI et al., 1990).

A bananeira é uma planta acumuladora de silício (GODOY, et al., 2006). Em plantas jovens de banana cultivadas em sistema hidropônico com diferentes níveis de silício, observou-se concentrações médias deste nutriente nas folhas variando de 0 a  $14 \text{ g kg}^{-1}$  (HENRIET et al., 2006). Em outro estudo verificou-se concentrações médias de silício em folhas de plantas de banana cultivadas em solos vulcânicos em Guadalupe de  $2,73\text{--}9,64 \text{ g kg}^{-1}$  de Si (HENRIET et al., 2008).

Nas culturas acumuladoras de silício a concentração deste elemento químico é maior na parte aérea do que na raiz, com maior concentração nas folhas mais velhas do que nas folhas mais novas e maiores na parte basal (mais velhas) do que na apical (mais nova) em folhas de gramíneas (WIESE, et al., 2007). Em geral, o conteúdo médio de silício das raízes é menor se comparado com o caule e folhas, entretanto, em alguns casos, como por exemplo a soja, o teor de Si na raiz é maior do que nas folhas.

A redistribuição que é o movimento de um elemento do seu local de residência para outro qualquer, o local de residência que pode ser a folha, ramo ou a própria raiz, o outro órgão que funciona com um dreno pode ser a folha ou o ramo novo ou uma raiz nova (MALAVOLTA, 2006).

A redistribuição de silício tem sido estudada através da análise deste elemento em diferentes partes e posições das folhas e os resultados obtidos indicaram baixa mobilidade de silício em diferentes posições e partes das folhas em plantas de arroz e cana de açúcar e imobilidade em pepino. (YOSHIDA. et al., 1962; FOX et al., 1969; SAMUELS et al., 2001).

O Si pode elevar os conteúdos de hemicelulose e lignina, aumentando ainda mais a rigidez da parede celular (ADATIA; BESFORD, 1986). As células epidérmicas ficam mais grossas e com maior grau de lignificação e /ou silificação, formando uma barreira mecânica que apresenta a função de limitar a perda de água e de impedir a entrada de hifas de fungos e o ataque de insetos. Isso ocorre pela associação da sílica com constituintes da parede celular, tornando-a menos acessível às enzimas de degradação. É devido a este acúmulo na epiderme das folhas que aumenta a rigidez da parede celular, proporcionando melhor arquitetura da planta, deixando as folhas mais eretas e aumentando assim a interceptação da luz solar e da taxa fotossintética (MARSCHNER, 1995).

### **2.3. Os benefícios do silício na nutrição de plantas**

O silício promove melhoria na nutrição da planta por afetar a compartimentação de elementos importantes como manganês e boro (HORST; MARCHNER, 1978).

A utilização dos silicatos como fertilizantes favorece o aproveitamento do fósforo em solos ácidos. Isto ocorre pelo efeito indireto do aumento do pH e pelo bloqueamento dos sítios de adsorção ou pela redução na adsorção de fosfato, pois há evidência de que competem pelo mesmo sítio de adsorção (SAVANT et al., 1999). A interação silício- fósforo em um Cambissolo demonstrou otimizar o ganho em fósforo pelas plantas, quando o silício foi aplicado no solo numa etapa posterior à adubação fosfatada (CARVALHO, 1999). A aplicação de escória de siderurgia (~

20% de  $\text{CaSiO}_3$ ) em solos ácidos do Havaí (EUA), cultivados com cana-de-açúcar, reduziu em até 47% a demanda por P, notadamente em ambientes caulíníticos (ROY et al., 1971; SILVA, 1971).

O efeito do Si na diminuição da toxidez do Al, em plantas, ocorre devido à sua menor absorção por elas. Alguns autores afirmam que a atenuação da toxidez de Al, induzida pelo Si, pode ser devido ao aumento do pH, e não a um efeito direto do Si em solução (GALVEZ et al., 1987; LI et al., 1996). Vários trabalhos, entretanto, demonstram que o Si solúvel pode formar compostos inertes com o Al na solução do solo. Baylis et al. (1994) observaram que os efeitos benéficos do Si foram independentes dos efeitos do metassilicato de sódio sobre o pH. Outros trabalhos dão suporte à hipótese de que a interação Si-Al no tecido vegetal tem um papel significativo na diminuição da toxicidade do Al (HODSON; WILKINS, 1991; HODSON ; SANGSTER, 1993; CORRALES et al., 1997).

O silício tem sido demonstrado como elemento útil para o arroz, capaz de aumentar o rendimento desta cultura através da diminuição da toxidez de Fe e Mn e do aumento da disponibilidade de P, devido a sua liberação dos fosfatos de Fe (OKUDA; TAKAHASHI, 1965; JONES; HANDRECK, 1967; LIAN, 1976; MA & TAKAHASHI, 1990).

O uso de Si em diversas culturas pode diminuir o uso de fungicidas, contribuindo para reduzir os riscos de contaminação tanto da água quanto do solo. Além disso, os fungicidas são responsáveis por acrescentam elevados custos na produção. Assim, o manejo do silício na nutrição de plantas pode contribuir de forma significativa para uma agricultura mais sustentável e limpa.

#### **2.4. O silício no controle de doenças**

Mesmo sendo controladas geneticamente, a resistência e a tolerância das plantas são influenciadas por fatores ambientais. Destacando –se a nutrição mineral de plantas como um fator ambiental que pode ser facilmente manipulado, tornando-se componente importante de controle de doenças (MARSCHNER, 1995).

Um benefício atribuído ao silício é o controle de importantes doenças fúngicas em culturas economicamente importantes, sendo evidente o decréscimo da severidade da doença em culturas tais como o arroz, pepino, café, feijão, trigo, soja, e uva (MORAES, 2004; BÉLANGER et al, 2003, NOLLA et al., 2004; BOWEN et al., 1992). Os mecanismos de resistência conferidos pelo Si permanecem em discussão pela comunidade científica. Anteriormente o Si era visto apenas como uma barreira mecânica passiva de defesa da planta contra o estresse ambiental.

O primeiro estudo relacionado ao modo de ação do silício sobre a redução da severidade de uma doença foi datado em 1940. Verificou-se uma relação direta entre a deposição  $H_4SiO_4$  nos sítios de infecção de oídio e o grau de resistência da planta ao patógeno. A constatação da silificação das células epidérmicas permitiu inferir que a penetração do tubo infectivo foi impedida pelo silício, agindo como barreira física (WAGNER, 1940). O efeito da proteção mecânica é atribuído, principalmente, ao depósito de Si na forma de sílica amorfa ( $SiO_2 \cdot nH_2O$ ) na camada epidérmica podendo ser barreiras físicas efetivas na penetração da hifa (EPSTEIN, 1994; MARSCHNER, 1995). Assim, o Si agiria de modo semelhante à lignina ou à suberina de algumas plantas, que são depositadas em paredes primárias, ligando-se aos polissacarídeos, para bloquear o avanço do patógeno (FOSKET, 1994).

Na cultura da soja observa-se que apesar da deposição de Si na folha ser normalmente inferior a 0,5%, isto é, mesmo sem haver a formação da barreira mecânica, o Si absorvido pelas plantas pode contribuir de forma significativa para a redução da cercosporiose. Por outro lado, a aplicação de calcário não resultou em redução na incidência de *Cercospora sojina* (NOLLA et al., 2004).

De modo geral é observado acúmulo de silício nas células próximas ao sítio de infecção formando um material osmofílico de composição granular, havendo redução na quantidade de tecido infectado e no número de haustórios na lesão (RODRIGUES et al, 2003). Entretanto, a proteção mecânica, já não é a única hipótese para a explicação da função do Si na planta.

Estudos envolvendo plantas de bananeira produzidas por cultura de tecido tratadas com silício estão sendo realizados, e verificou-se que estas plantas podem se apresentar como resistentes a murcha de *Fusarium* até vários meses depois de terem sido tratadas com silício. Estudos atuais estão sendo desenvolvidos visando

investigar qual seria a melhor forma para usar o silício em cultura de tecido e em casa-de-vegetação, visando prolongar o efeito benéfico do silício (AITKEN, 2010).

A ação do silício sobre diversos fungos fitopatogênicos, incluindo espécie de *Fusarium* tem sido relatada. Por exemplo, LOPES (2006) verificou o efeito de fontes de silício na indução de resistência do tomateiro a *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* constatando que a severidade da doença foi reduzida em 27,3%. A redução da severidade da doença observada em plantas tratadas com silício pode ter ocorrido devido à formação de barreiras estruturais, que diminuíram a eficiência da penetração do fungo. Observações ultraestruturais sugerem que a silicificação das paredes celulares agiriam como barreira física na contenção do patógeno, (HEATH & STUMPF, 1986).

Pesquisas desenvolvidas na Universidade de Queensland usando microscopia eletrônica para estudo do processo de infecção do fungo da murcha de *Fusarium* de Foc em raízes de bananeira, comparando plantas tratadas com silício e não tratadas, revelaram diferença na estrutura fúngica tais como redução da parede celular do fungo até mesmo no ponto de infecção na raiz (AITKEN, 2010).

Por outro lado, a barreira física proporcionada pelo silício nas células epidérmicas não é o único mecanismo de defesa à penetração de fungos. Outro mecanismo que pode estar associado é a defesa induzida pelo silício solúvel, o qual pode agir como ativador de resistência a patógenos (FAWE et al., 2001; KAUSS et al., 2007; RODRIGUES et al., 2004; HAMMERSCHIDT et al., 2005; GUÉVEL; MENZIES; BÉLANGER et al., 1995; CÔTÉ-BEAULIEU et al., 2009). Nesse sentido há indicações que o silício está envolvido dentro deste sistema de defesa de forma que quando as plantas de bananeiras tratadas com silício são infectadas por *Foc* podem agir mais rapidamente e com uma maior intensidade para reduzir o avanço do patógeno (AITKEN, 2010). O silício nesse caso agiria como ativador de genes e sinalização de biossíntese de compostos de defesa (FAWE et al., 2001).

O Si parece, ainda, ativar mecanismos de defesa nas plantas em resposta ao ataque de patógenos, como o aumento na síntese de compostos fenólicos e das enzimas peroxidase, polifenoxidase, quitinase e beta-glicosidase (LIMA FILHO et al., 1999).

Compostos fenólicos exerceram efeito tóxico que impediram o ingresso de *Phythium ultimum* no sistema vascular das raízes do pepineiro. Sendo que nas

plantas que receberem silício esses compostos acumularam em maior quantidade e velocidade (CHÉRIF et al., 1992). Posteriormente, Chérif et al. (1994) afirmaram que o silício é mediador de mecanismos de defesa, uma vez que plantas recebendo Si e inoculadas com o fungo *P. ultimum* tiveram atividade de enzimas (quitinases, peroxidases e polifenoloxidase) relacionadas com a patogênese e a quantidade de compostos fenólicos aumentadas em planta de pepineiro ao contrário do observado em plantas que não receberam Si e inoculadas com o patógeno.

Marschner (1995) observou, também em soja, que acumula quantidades pequenas de silício (< de 5 g kg<sup>-1</sup>) no tecido vegetal, que não houve formação de uma camada de silício abaixo da cutícula, o que dificulta fisicamente a penetração de hifas de fungos no tecido vegetal. No entanto, a resistência das plantas às doenças pode ser aumentada pela alteração das respostas da planta à infecção do parasita, aumentando a síntese de fitoalexinas e /ou enzimas importantes para a defesa, que podem agir como substâncias tóxicas, inibidoras ou repelentes, promovendo a formação de barreiras mecânicas e químicas.

Fawe et al. (1998) identificaram uma proteção ativa induzida pelo Si dentro das células vegetais. Estes autores demonstraram que o Si inicia uma seqüência de reações que formam mecanismos de defesa bioquímica em planta de pepino infectada.

Bélanger et al. (2003) constataram uma ampla deposição de fenóis glicolizados, após marcação citoquímica com sonda específica, na parede das células da epiderme de trigo recebendo Si e colonizadas por *Blumeria graminis* f. sp. *tritici*, inclusive envolvendo a membrana extra-haustorial do fungo, o qual teve a absorção de nutrientes comprometida.

As propriedades dos ativadores de resistência sistêmica adquirida e da resistência estimulada pelo Si foram comparadas por Fawe et al. (2001), ficando evidente a semelhança entre os efeitos da aplicação do Si e do uso de indutores de resistência no surgimento de reações de defesa em plantas. Fawe et al. (1998) relatam que o papel protetor do Si pode ser semelhante em mono e dicotiledôneas, sendo que nestas últimas o modo de ação do Si na resistência ainda não foi bem esclarecido, embora sugira classificar o Si como mediador de resposta de defesa similar ao da resistência sistêmica adquirida.



Uma terceira hipótese para redução da severidade da doença seria o efeito conjunto de mecanismos de defesa mecânicos e químicos. Após a infecção do patógeno a deposição de sílica sobre e no interior das paredes das células do mesofilo pode ser ativada como uma resposta à infecção, gerando assim um aumento do conteúdo de silício nas paredes celulares (HEATH, 1980; MENZIES et al., 1991; SNYDER et al., 2007).

### 3.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADATIA, M.H.; BESFORD, R.T. The effects of silicon on cucumber plants grown in recirculating nutrient solution. **Annals of Botany**, v.58, p.343-351, 1986.
- AITKEN, E. The battle against *Fusarium* wilt fungus. **Australian Bananas**. p.1-2. 2010.
- ALCARDE, J.C. Corretivo de acidez dos solos: características e interpretações técnicas. São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos e Corretivos Agrícolas, 1992.26p. (Boletim Técnico, 6).
- BANCROFT, J. Report of the board appointed to inquire into the cause of disease affecting livestock on plants. Queensland, **Votes and Proceedings**, v.3, p 1011-1038, 1878.
- BAYLIS, A.D.; GRAGOPONLON, C.; DAVIDSON, K.J. Effects of silicon on the toxicity of aluminium to soybean. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.25, p.537-546,1994.
- BÉLANGER, R. R.; BOWEN, P. A.; EHRET, D. L.; MENZIES, J. G. Soluble silicon – its role in crop and disease management of greenhouse crops. **Plant Disease**, St. Paul, v. 79, n. 4, Apr. 1995.
- BORGES, A. L., SOUZA, L. da S., ALVES, E. J. Exigências Edafoclimáticas. In **Banana Produção: Aspectos Técnicos**. Ed. Embrapa, 17-23p, 2000.
- BORGES, A. L.; SOUZA, L. da S. Exigências Edafoclimáticas. In: **O cultivo da Banana**. Ed. Embrapa.15-23p, 2004.
- BOWEN, P., MENZIES, J., EHRET, D., SAMUELS, L., GLASS, A. D. M. Soluble silicon sprays inhibit powdery mildew development on grape leaves. **Journal of the American Society for Horticulture Science** 117:906-912, 1992
- BUDDENHAGEN I. W. 2009. Understanding strain diversity in *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense and history of introduction of 'tropical race 4' to better manage banana production. In: Jones D, Van Den Bergh I, eds. Proceedings of the International Symposium on Recent Advances in Banana Crop Protection for Sustainable Production and Improved Livelihoods, White River, South Africa. **ISHS Acta Horticulturae** 828, 193–204.
- CARVALHO, R. Interações silício-fósforo em latossolo vermelho-escuro e cambissolo cultivados com mudas de eucalipto. 1999. **Tese (Doutorado)** – Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- CHÉRIF, M., BENHAMOU, N., MENZIES, J. G., BÉLANGER, R. R. Silicon induced resistance in cucumber plants against *Pythium ultimum*. **Physiological and Molecular Plant Pathology** 41:411-425, 1992.
- CHÉRIF, M.; ASSELIN, A.; BÉLANGER, R. R. Defense responses induced by soluble silicon in cucumber roots infected by *Pythium* spp. **Phytopathology**, St. Paul, v. 84, n. 3, p. 236-242, Mar. 1994.
- CORDEIRO, Z. J. P.; DANTAS, J. L. L. Rating bananas reaction to fusarium wilt in Brazil. proceeding, **International symposium on recent developments in banana cultivation technology**, Taiwan. 1993. p. 85-88.

CORDEIRO, Z. J. M.; KIMATI, H. **Doenças das bananeiras**. In: Kimati, H, F. Manual de Fitopatologia. 1. ed São Paulo: Agronômica Ceres, 1997.p v.2, cap. 13, 112-136p.

CORDEIRO, Z. J. M.; MATOS, A. P. **Banana Fitossanidade**. In Doenças Fúngicas e Bacterianas. Ed. Embrapa, 36-50 p, 2000.

CORDEIRO, Z. J. M.; MATOS, A. P. **Doenças da bananeira**. In Doenças de fruteiras tropicais de interesse agroindustrial, Eds F C Freire, J E Cardoso and F M P Viana. 323-390p. Embrapa Informação Tecnológica, 2003.

CORDEIRO, Z. J. M., MATOS, A. P.; KIMATI, H. 2005. **Doenças da bananeira** (*Musa* spp.). In: Manual de Fitopatologia: Doenças das plantas cultivadas, Eds H Kimati, L Amorin, J A M Rezende, A Bergamin Filho and L E A Camargo. pp 99-117. Editora Agronômica Ceres, São Paulo

CORRALES, I.; POSCHENRIEDER, C.; BARCELÓ, J. Influence of silicon pretreatment on aluminium toxicity in maize roots. **Plant and Soil**, v. 190, p.203-209, 1997.

CÔTÉ- BEAULIEU, C.; CHAIN, F.; MENZIES, J. G.; KINRADE, S. D.; BÉLANGER, R. R. Absorption of aqueous onorganic and organic silicon compounds by wheat and their effect on growth and powdery mildew control. **Environmental and experimental Botany**, Oxford, v. 65, p. 155-161, 2009.

DALLAGNOL, L. J.; NELWAMONDO, F. Á.; MIELLI, M. V. B.; MA, J.F.; DANTNOFF, L.E. Defective active silicon uptake affects some components of rice resistance to brown spot. **Phytopathology**, St. Paul, v.99, n. 1, p.116-121, 2009.

DANTAS, J. L.; SOARES FILHO, W. dos S. 2000. Aspectos Socioeconômicos. In **Banana Produção: Aspectos Técnicos**. Ed. Embrapa, 10-11p, Brasília, DF.

DEREN, C.W.; DANTNOFF, L.E.; SNYDER, G.H. & MARTIN, F.G. siliococcentration, disease response, and yield components of rice genotypes grown on flooded organic histosols. **Crop Sci.**, 34: 733-737,1994.

DE LANGHE, Edmond. Banana and plantain: the earliest fruit crops? In: INIBAP (International Network for the Improvement of Banana and Plantain). Networking banana and plantain: annual report 1995– focus paper 1. Montpellier (FR): **INIBAP**, 1996, p. 6-8.

DESLANDES S, J. **Doenças da bananeira**. Rio de Janeiro, RJ: Ministério da agricultura Departamento de Produção Vegetal-Serviço de defesa Sanitária, 1938. 96p. (Publicação 10).

EPSTEIN, E. The anomaly of silicon in plant biology. **Proceedings Natural Academy Science**, [S.I.], v.91, p.11-17, 1994.

EPSTEIN, E. Silicon. **Annual Review in Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v.50, p. 641-664, 1999

FAO. Food and agriculture organization of the united nations. Acessado em: Acessadoem: 05/01/2010.Disponível em: [www.faostat.fao.org/site/340/default.aspx](http://www.faostat.fao.org/site/340/default.aspx)

FAURE G (1991) Principles and application of inorganic geochemistry. MacMillan, New York, 626 p

FAWE, A et al. Silicon- mediated accumulation of flavonoid phytoalexins in cucumber. **Biochemistry and Cell Biology**, Ottawa, v. 88, n. 5, p. 39-401,1998.

FAWE, A. et al. Silicon and disease resistance in dicotyledons. In: DATNOFF, L. E.;SNYDER, G.H.; KORNDORFER, G.H. (Ed.). **Silicon in agriculture**. Amsterdam: Elsevier Science Publishing, 2001.p.159-169.

FOSKET, D. E. **Plant growth and development: a molecular approach**. San Diego: Academic Press, 1994. 580 p.

FOX, R. L.; SILVA., PLUCKNETT,D.L.; TERANISHI, D. Y. Soluble and total silicon in sugar cane .**Plant and Soil**, Dordrecht, v. 30, n. 1, p.81-92,1969.

GALLO, J. R.; FURLANI, P. R.; BATAGLIA, O.C.; HIROCE, R. Teores de Si em gramíneas cultivadas e forrageiras. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 26, n. 3, 1974. p. 286-292.

GALVEZ, L.; CLARK, R.B.; GOURLEY, L.M.; MARANVILLE, J.W. Silicon interactions with manganese and aluminum toxicity in sorghum. **Journal of Plant Nutrition**, v.10, p.1139-1147, 1987

GUÉVEL, M.H.; MENZIES, J. G.; BELANGER, R.R. Effect of root and foliar applications of soluble silicon on powdery mildew control and growth of wheat plants. **European Journal of plant pathology**, Dordrecht, v. 119, p.429-436, 2007

GODOY, L. J. G. de; NOMURA, E. S; MORAES, W da S. Nutrição da bananeira.**Informações Agronômicas N° 116** – Dezembro/2006.

HAMMERSCHIDT, R. Silicon and plant defense: the evidence continues to mount. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, St Paul, v. 66, n.4, p. 117-118, 2005.

HEATH, M.C.; Reactions of nosuscepts to fungal pathogens. **Annual review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 18, 211-236, 1980.

HEATH, M.C.; STUMPF, M.A. Ultrastructural observations of penetration sites of the cowpea rust fungus in untreated and silicon depleted French bean cells. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v.29, n.1, p.27-39, 1986.

HENRIET C, DRAYE X, OPPITZ I, SWENNEN R, DELVAUX B (2006) Effects, distribution, and uptake of silicon in banana (*Musa spp.*) under controlled conditions. **Plant Soil** 287:359–374.

HENRIET C, BODARWÉ L, N, DOREL M, DRAYE X, DELVAUX B (2008).Leaf silicon content in banana (*Musa spp.*) revealsthe weathering stage of volcanic ash soils in Guadeloupe. **Plant Soil** 313:71–82.

HODSON, M.J.; WILKINS, D.A. Localization of aluminium in the roots of Norway spruce [*Picea abies* (L.) Karst.] inoculated with *Paxillus involutus* Fr. **New Phytologist**, v.118, p.273-278, 1991

HODSON, M.J.; SANGSTER, A.G. The interaction between silicon and aluminium in *Sorghum bicolor* (L.) Moench: growth analysis and x-ray microanalysis. **Annals of Botany**, v.72, p.389-400, 1993.

HORST, W. J.; MARCHNER, H. Effect of silicon in manganese tolerance of bean plants (*Phaseolus vulgaris* L.). **Plant and Soil**, Dordrecht, v.50, n. 1. P.287-3. 1978.

IBGE 2010 - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/cgi-bin/prtabl>. Acessado em: 05/01/2010.

JACKSON, M. L. Chemical composition of soils. In F. E. Bear (ed.) **Chemistry of the soil**. 2. ed. New York: Reinhold Publishing Corporation, 1964. p. 71-141.

JONES, L. H. P.; HANDRECK, K.A. Silica in soils, plants and animals. **Advances in Agronomy**, New York, v.19, p.107-149, 1967.

KARATHANASIS AD (2002) Mineral equilibria in environmental soil systems. In: Dixon JB, Weed SB (eds) Soil mineralogy with environmental applications. **Soil Science Society of America**, Madison, USA, pp 109–151

KAUSS, H.; SEEHAUS, K.; FRANKE, R.; GIBERT, S.; DIETRICH, R.A.; KRÖGER, N. silica deposition by a strongly cationic proline-rich protein from systemically resistant cucumber plants. **Plant Journal**, Oxford, v.33,p. 87-95, 2003.

KIMATI, H; GALLI, F. IN: GALLI, F. Doenças das plantas cultivadas. In: GALLI, F. **Manual de Fitopatologia**. Doenças das plantas cultivadas. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 1980. v.7,87-101p.

KORNDÖRFER, G. H. Otimização da Produção. **Informações Agronômicas**, n. 117, mar.2007, 1-3p.

LI, Y.C.; SUMMER, M.E.; MILLER, W.P.; ALVA, A.K. Mechanism of silicon induced alleviation of aluminum phytotoxicity. **Journal of Plant Nutrition**, v.19, p.1075-1087, 1996.

LIAN, S. Silica fertilization of rice. In: FOOD AND FERTILIZER TECHNOLOGY CENTER. **The fertility of paddy soils and fertilizer applications for rice**. Taiwan, 1976. p.197-220.

LIMA FILHO, O. F.; LIMA, M. T. G.; TSAI, S. M. O silício na agricultura. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 87, p. 1-7, set. 1999a.

LIMA FILHO, O.F. de; LIMA, M.T.G. de; TSAI, S.M. Supressão de patógenos em solos induzida por agentes abióticos: o caso do silício. **Informações Agronômicas**, v.87, p.8-12, 1999b.

LOPES, F. C.de A. Efeito de fontes de silício no controle de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* em tomateiro (*Lycopersicon esculentum* mill.). Universidade Federal de Lavras. 2006 p.78. (**Dissertação de mestrado**).

MA, J.F.; TAKAHASHI, E. Effect of silicon on growth and phosphorus uptake of rice. **Plant and Soil**, The Hague, v.126, p.115-119, 1990.

MA JF, Tamai K, Yamaji N, Mitani N, Konishi S, Katsuhara M et al (2006) A Silicon transporter in rice. **Nature** 440:688– 691

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Editora Ceres, 2006 .443 p.

- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2 ed. New York: Academic Press, 1995. 887p.
- MATOS, A. P; CORDEIRO, Z. J. M, SILVEIRA; J. S; FERREIRA, D. M. V. O Mal-do-Panamá ou Murcha de Fusarium da Bananeira. **In: Simpósio Norte Mineiro sobre a cultura da banana**, 1. 2001, Nova Porteirinha, MG. *Anais...* Nova Porteirinha: EPAMIG, 2001 p. 38-51.
- MENZIES, J. G. et al. Effects of soluble silicon on the parasitic fitness of *Sphaerotheca fuliginea* on *Cucumis sativus*. **Phytopathology**, St. Paul, v. 81, n. 2, p. 84-99, Feb. 1991.
- MOLINA, A. B.; FABREGAR, E. G.; SINOHIN, V.; FOURIE, G.; VILJOEN, A.; 2008. Tropical race 4 of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* causing new Panama wilt epidemics in Cavendish varieties in the Philippines. **Phytopathology** 98 (Suppl.), S108.
- MORAES, S.R.G. Fontes e doses de silício na intensidade da antracnose do feijoeiro. 2004.89p. **Dissertação** (Mestrado em Fitopatologia)- Universidade Federal de Lavras
- MORTON, Ivo, 1987, op. cit., p. 29-46.
- NOLLA, A.; KONRDÖRFER, G.H.; ARRUDA, D.G.. Eficiência de silicato de cálcio e calcário no controle de *cercospora sojina* na cultura da soja. **In: Simpósio sobre silício na agricultura**, 3., 2004, Uberlândia. Resumos expandidos Uberlândia: Grupo de Pesquisa Silício na Agricultura, 2004 (CD ROM).
- OKUDA, A., TAKAHASHI, E. The role of silicon. **In: the mineral nutrition of the rice plant**. Baltimore: Johns Hopkins, 1965. p.126-146.
- OLIVEIRA, L. A. & CASTRO, N. M. Ocorrência de Sílica nas Folhas de Curatella americana L. e de Davilla elliptica St. Hil. **Rev. Horizonte Científico**, 2002.
- PLOETZ, R.C. Panama disease - Return of the fi26rst banana menace. **International Journal of Pest Management** 40, 326-336, 1994.
- PLOETZ, R.C. 2006. Fusarium wilt of banana is caused by several pathogens referred to as *Fusarium oxysporum* fsp. *cubense*. **Phytopathology**. 96, 653-656
- RAVEN, J. A. The transport and function of silicon in plants. **Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society**, v. 58, p. 179-207, 1983.
- RAVEN JA (2001) Silicon transport at the cell and tissue level. In: Datnoff LE, Snyder GH, Korndörfer GH (eds) **Silicon in agriculture**. Elsevier, The Netherlands, pp 41–55.
- RODRIGUES, F. Á., BENHAMOU, N., DATNOFF, L. E., JONES, J. B., BÉLANGER, R. R. Ultrastructural and cytochemical aspects of silicon-mediated rice blast resistance. **Phytopathology** 93:535-546, 2003.
- RODRIGUES, F. DE A. MCNALLY, DJ.; DATNOFF, L.E.; JONES, J.B.; LABBE, C.; BENHAMOU, N.; MENZIES, J.G. Silicon enhances the accumulation of diterpenoid phytoalexins in Rice: a potencial mechanism for blast resistance. **Phytopathology**, St. Paul, v. 94, n.2, p. 177-1983, 2004.

- ROY, A.C.; ALI, M.V.; FOX, R.L.; SILVA, J.A. Influence of calcium silicate on phosphate solubility and availability in Hawaiian Latosols. In: **Symposium on soil fertility and evaluation**, Honolulu, 1971. Proceedings. New Delhi, 1971. p.756-765.
- SAMUELS, A.L.; GLASS, A.D.M.; EHRET, D. L.; MENZIES, J.G. Distribution of silicon in cucumber leaves during infection by powdery mildew fungus (*Sphaerotheca fuliginea*). Canadian Journal of Botany, Ottawa, v.69,n.1,p.140-146, 2001.
- SAVANT, N.K.; SNYDER, G.H.; DATNOFF, L.E. Silicon management and sustainable rice production. **Advances in Agronomy**, v.58, p.151-199, 1997a.
- SAVANT, N. K.; DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H. Depletion of plantavailable silicon in soils: a possible cause of declining rice yields. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 28, n. 13/14, p. 1245-1252, 1997b.
- SILVA, J.A. Possible mechanisms for crop response to silicate applications. In: SYMPOSIUM ON SOIL FERTILITY AND EVALUATION, Honolulu, 1971. Proceedings. New Delhi, 1971. p.805-815.
- SNYDER, G.H.; MATICHENKOV, V.V.; DANTNOFF, L.E Silicon. In: BARKER, A.V.; PILBEAN, D. J. (Ed.). **Handbook of plant nutrition**. Boca raton: CRC Press, 2007. p. 551-566.
- STOVER, R. H. **Banana, plantain and abaca diseases**. England: Commonwealth Mycological Institute, Kew, Surrey, 1972. 316p.
- SUN, E.J.; SU, H.J.; KO, W.H. Identifications of *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense* race 4 from soil or host tissue by cultural characters. **Phytopathology**, v.68, p. 1672-1673, 1978
- TAKAHASHI, E.; MA, J.F.; MIYAKE, Y. The possibility of silicon as an essential element for higher plants. **Comments on Agricultural and Food Chemistry**, London, v. 2, p.99-122.1990.
- TAKAHASHI, E. Uptake mode and physiological functions of silica. In: Matsuo, T. et al. (Ed). Science of the Rice plant: physiological. TOKYO: **Food and Agriculture Policy Research Center**, 1995.cap.5,p. 420-433.
- VENTURA, A. J.; HINZ, R. H. Controle das doenças da bananeira. In: ZAMBOLIM, L.; et al. **Controle de doenças de plantas. Fruteiras**. v. 2. Viçosa: 2002. p 839- 938.
- VILJOEN, A. 2002. The status of Fusarium wilt (Panama disease) of banana in South Africa. **South African Journal Of Science** 98, 341-344.
- WAGNER, F. Die bedeutung der kieselsäure für das wachstum einiger kulturpflanzen, ihren nährstoffgehalt und ihre anfälligkeit gegen echte mehltäupilze. **Phytopathologische Zeitschrift**, Berlin, v.12, p. 427-479, 1940.
- WERNER, D.; ROTH, R. Silica metabolism. In: LÄUCHLI, A.; BIELESKI, R.L. (ed.). **Encyclopedia of plant physiology. New Series**, Berlin: Springer-Verlag, v.15B, p.682-694, 1983.
- WIESE, H.; NIKOLIC, M.; RÖMHELD, V. **Silicon in plant nutrition**- Effects on Zinc, manganese and boron leaf concentrations and compartmentation. In: SATTELMACHER, B.; 2007.

YOSHIDA, S.; OHNISHI, Y.; KITAGISHI, K. Histochemistry of silicon in rice plant. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, V. 8, p. 107-111, 1962.



---

## Capítulo 2

### **USO DO SILÍCIO NA NUTRIÇÃO DA BANANEIRA E NO CONTROLE DO MAL-DO-PANAMÁ**

---

## RESUMO

Como qualquer espécie de planta cultivada em grandes áreas, a bananeira é afetada por diversos problemas fitossanitários, dentre os quais está o mal-do-Panamá. A busca de alternativas de controle que não agridam o meio ambiente de modo que viabilize o cultivo das variedades suscetíveis, é de grande importância para garantir aos produtores melhores índices de produtividade. A fertilização silicatada pode ser uma alternativa de controle do mal-do-Panamá, pois o silício é considerado como elemento benéfico para diversas culturas, agindo na redução da severidade de importantes doenças fúngicas. Este trabalho objetivou 1) avaliar a absorção e translocação de silício em bananeira e 2) Avaliar o efeito de doses crescentes de silicato em bananeira sobre a resistência de diferentes cultivares ao mal-do-Panamá. Os tratamentos constaram de 0, 250, 500, 750 e 1000 mg dm<sup>-3</sup> de Si, mais um tratamento adicional (testemunha absoluta - sem silício e sem a inoculação com *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*). O solo em cada vaso foi incubado por 15 dias, decorridos este período, plantas de bananeira das variedades Grande Naine, Tropical e Maçã, oriundas de cultura de tecidos, foram transferidas para vasos plásticos contendo 3 kg de solo. A inoculação com *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* procedeu-se 40 dias após o transplante das mesmas para os vasos. Foi determinado o índice de doença para as folhas (IDF) e para o rizoma (IDR); a produção da matéria seca da raiz (MSR) e da parte aérea (MSPA); e na parte aérea, foram determinados os teores totais de macronutrientes e silício. Os atributos químicos do solo foram influenciados indiretamente pela aplicação de doses crescentes de Si aumentando os teores de nutrientes como Ca<sup>+2</sup> e Mg<sup>+2</sup>, K<sup>+</sup> e também os teores de Si no solo. As produções de MSR e MSPA apresentaram aumento linear com o fornecimento de doses crescentes de Si. As plantas supridas com Si apresentaram incremento no acúmulo de K, Ca, Mg e Si e redução do N e do P na parte aérea. As plantas de bananeira absorveram e translocaram silício para a parte aérea comportando-se como uma planta acumuladora intermediária de Si. A redução da severidade do mal-do-Panamá observada neste estudo foi resultado da adição do Si ao solo.

**Palavras-chaves:** Adubação silicatada, *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*, Inóculo, *Musa spp.*

## ABSTRACT

Like any plant species grown in large areas, bananas are affected by several diseases such as Panama Disease. The search for alternative environmental friendly control methods which allows the cultivation of susceptible varieties is of great importance to producers to ensure best productivity rates. Silicon fertilization can be an alternative control of Panamá disease, because silicon is regarded as a beneficial element for many crops, reducing the severity of major fungal diseases. The aims of this study were: 1) to evaluate the absorption and translocation of silicon in bananas and 2) evaluate the effect of increasing concentration of silicate in bananas on the resistance of different cultivars to Panamá disease. The treatments were 0, 250, 500, 750 and 1000 mg dm<sup>-3</sup> of Si, and an additional treatment (control - no silicon and without inoculation with *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*). The soil in each pot was incubated for 15 days. After this period, bananas from the Grande Naine, Tropical and Silk varieties, derived from tissue culture, were transferred to plastic pots containing 3 kg of soil. The inoculation with *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* was held 40 days after transplanting them into pots. The disease index for the leaves (LDI) and the rhizome (RDI), the production of root dry matter (RDM) and shoot (SDM), were determined. The total concentration of macronutrients and silicon were also determined. The chemical properties of the soil were influenced indirectly by the application of increasing doses of Si increasing the concentrations of nutrients such as Ca<sup>+2</sup> and Mg<sup>+2</sup>, K<sup>+</sup> and also the content of Si in the soil. Productions MSR and DMAP showed linear increase with the provision of increasing doses of plants supplied with Si exhibited an increase in the accumulation of K, Ca, Mg and Si and reduction of N and P in the shoots. The banana plants absorbed and translocated silicon to the aerial part behaving as an intermediate Si accumulating plant. The reduction in the severity of the Panama disease observed in this study was due to the addition of Si to the soil.

**Keywords:** Silicon fertilization, *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*, Inoculate, *Musa spp.*

## 1.0 INTRODUÇÃO

Entre as fruteiras produzidas no Brasil, a bananeira ocupa lugar de expressão, tanto em volume de frutas produzido, quanto em importância sócio-econômica. Da mesma maneira que ocorre com qualquer espécie de planta cultivada em grandes áreas, a bananeira é afetada por diversos problemas fitossanitários, dentre os quais está o mal-do-Panamá. A busca de alternativas de controle que não agridam o meio ambiente de modo que viabilize o cultivo das variedades suscetíveis, é de grande importância para garantir a pequenos e grandes produtores, melhores índices de produtividade.

A fertilização silicatada pode ser uma alternativa de controle do mal-do-Panamá, pois o silício é considerado como elemento benéfico para as plantas. Sua absorção tem sido relacionada principalmente com o aumento na tolerância à toxidez por metais pesados, na resistência a pragas e doenças, a estresses hídricos e salinos, menor evapotranspiração, promoção de crescimento e nodulação em leguminosas, efeito na atividade de enzimas e na composição mineral, melhoria da arquitetura da planta, redução no acamamento e conseqüente aumento da taxa fotossintética. (EPSTEIN, 1999; CUNHA et al., 2008). O Si após ser absorvido e transportado até a parte aérea, passa por transformações e deposita-se, na forma de sílica amorfa hidratada, inicialmente nos tecidos mais jovens e posteriormente vai acumulando-se rapidamente nas células senescentes, sob a forma de sílica, também chamada de opala biogênica, fitólitos ou simplesmente corpos silicosos (DAYANANDAM et al., 1983).

Em geral, são consideradas plantas acumuladoras de silício, aquelas que possuem teor foliar acima de 1%, as acumuladoras intermediárias entre 0,5% e 1,0% e as não acumuladoras as plantas com teor de silício menor que 0,5% (MA, et al., 2001).

SOUZA JUNIOR et al., (2008) observaram no tecido de folhas de bananeira da variedade Prata Anã valores de 9,6 g Kg<sup>-1</sup> de Si na matéria seca. Os resultados obtidos demonstraram que a cultura da banana acumulou silício de forma intermediária nas folhas.

O presente trabalho teve como objetivos 1) avaliar a absorção e translocação de silício em bananeira e 2) Avaliar o efeito de doses crescentes de silicato sobre a resistência de diferentes cultivares de bananeira ao mal-do-Panamá.

## 2.0 MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação e nos Laboratórios de Fitopatologia e de Solos e Nutrição de Plantas da Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, no município de Cruz das Almas, Bahia.

O solo coletado foi classificado como Latossolo Amarelo Distrocoeso, proveniente do campo experimental da Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, apresentando textura franco argilo arenosa. Após a coleta, o solo foi passado em peneira de malha de 4 mm para o plantio, e homogeneizado, quando foram retiradas amostras para análises químicas e físicas conforme Embrapa (1997) e Embrapa (1999). As características químicas e físicas do solo utilizado no experimento encontram-se na Tabela 1.

**Tabela 1.** Propriedades químicas e físicas do solo utilizado no experimento

Propriedade	Valor
pH (em água 1:2,5)	4,6
Si (mg dm <sup>-3</sup> )	4,58
P (mg dm <sup>-3</sup> )	1,00
K <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,12
Na <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,02
Ca <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,7
Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,3
Al <sup>3+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1,0
H+Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>(1)</sup>	3,30
S (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>(2)</sup>	1,14
CTC (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>(3)</sup>	4,44
V (%) <sup>(4)</sup>	25,67
MO (g kg <sup>-1</sup> ) <sup>(5)</sup>	7,04
Areia total (g kg <sup>-1</sup> )	601
Silte (g kg <sup>-1</sup> )	77
Argila (g kg <sup>-1</sup> )	322
Dp (kg dm <sup>-3</sup> ) <sup>(6)</sup>	2,43
Retenção de Água – UG	
0,1 atm (%)	12,40
15 atm (%)	9,10
Água disponível (%)	3,31

H+Al<sup>(1)</sup> = Acidez potencial; S<sup>(2)</sup> = soma de base; CTC<sup>(3)</sup> = capacidade de troca de cátions potencial V<sup>(4)</sup> = saturação por bases; MO <sup>(5)</sup> = Matéria orgânica; Dp<sup>(6)</sup> = densidade das partículas.

Como fonte de Si foi utilizado o Agrosilício® (Recmix do Brasil S.A.). As características químicas desse produto são: poder relativo de neutralização total (PRNT) de 88%, teor total em SiO<sub>2</sub> de 23% e teor total em CaO de 36% e 9% de MgO . Os tratamentos constaram da aplicação de 0, 250, 500, 750 e 1000 mg dm<sup>-3</sup> de Si, mais um tratamento adicional (testemunha absoluta- sem silício e sem inoculação com *Fusarium oxysporum*. f. sp. *cubense*). A relação cálcio e magnésio foi mantida em 3:1. Para os tratamentos testemunha absoluta e o tratamento 0 mg dm<sup>-3</sup> de Si, a relação cálcio:magnésio foi mantida igualando-se com carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>) e óxido de magnésio (MgO). O solo em cada vaso foi incubado por 15 dias. Durante este período, a umidade nos vasos foi mantida constante, a 60% do volume total de poros. Após o período de incubação, foi feita a homogeneização do solo presente em cada vaso, e foram coletadas amostras simples, que foram submetidas à análise química conforme Embrapa (1997 e 1999). A análise de silício foi realizada por colorimetria, seguindo método de Korndörfer et al.(2004a).

Decorridos os 15 dias de incubação, plantas de bananeira das variedades Grande Naine (resistente ao mal-do-Panamá), Tropical (resistência intermediária ao mal-do-Panamá) e Maçã (suscetível ao mal-do-Panamá), oriundas de cultura de tecidos, foram transferidas para vasos plásticos contendo 3 kg de solo (Figura 1). Foi realizada a fertilização de plantio utilizando 300 mg dm<sup>-3</sup> de K; 238 mg dm<sup>-3</sup> de P; 44 mg dm<sup>-3</sup> de N e 50 mg dm<sup>-3</sup> de S. Oito dias após o plantio realizou-se adubação de cobertura utilizando 50 mg dm<sup>-3</sup> de N; 0,5 mg dm<sup>-3</sup> de B; 1,5 mg dm<sup>-3</sup> de Cu; 5 mg dm<sup>-3</sup> de Zn e 0,1 mg dm<sup>-3</sup> de Mo. Semanalmente as plantas foram adubadas via cobertura com 50 mg dm<sup>-3</sup> de N por vaso.

As fontes utilizadas foram KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>, ZnSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O; (NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub> MoO<sub>24</sub>.4H<sub>2</sub>O, H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>, CuSO<sub>4</sub>. 5H<sub>2</sub>O e Co(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>. Durante todo o experimento as plantas foram irrigadas diariamente com água destilada.



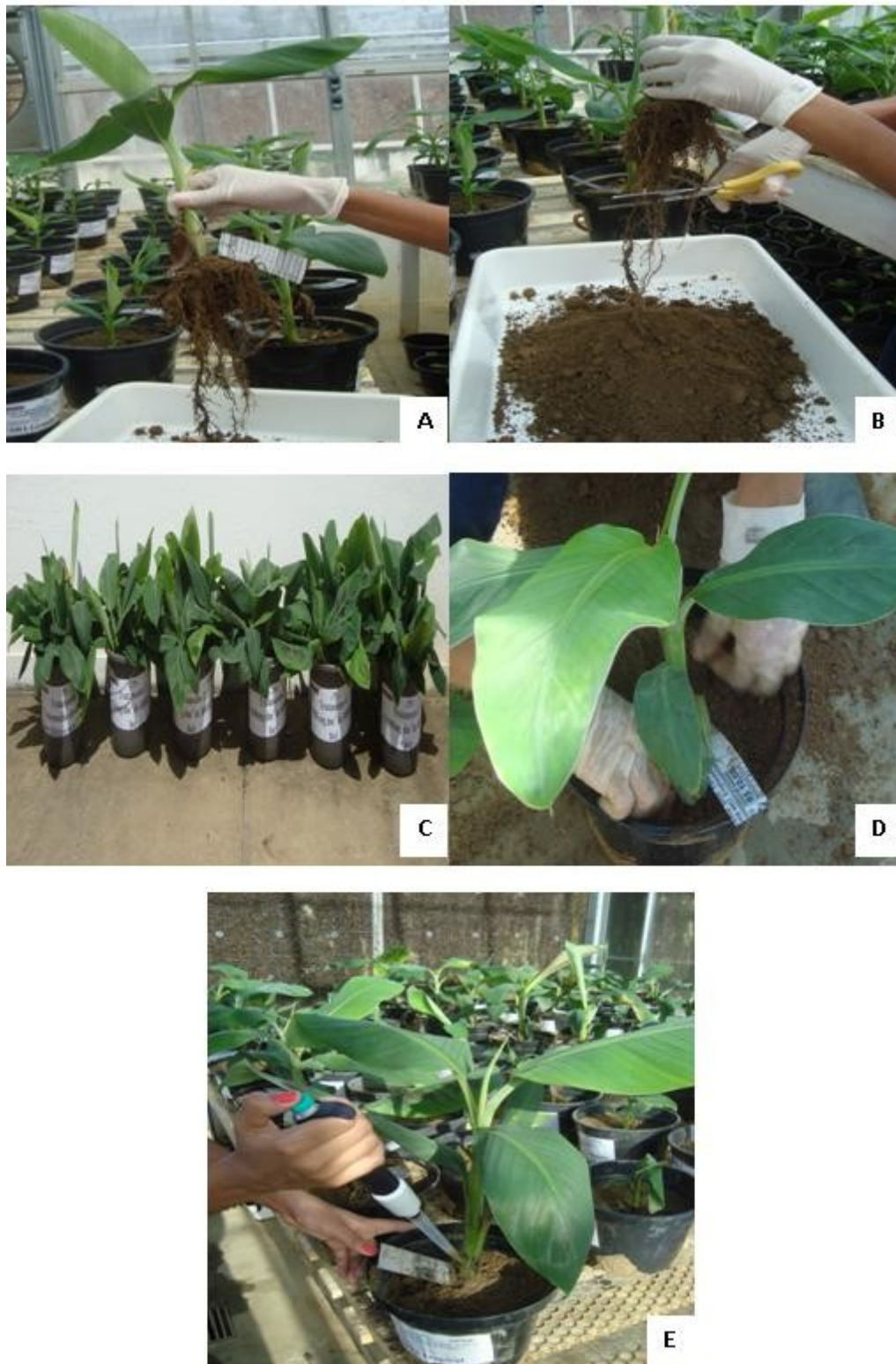
**Figura 1.** Transplântio de mudas de bananeira das variedades Grande Naine, Tropical e Maçã oriundas de cultura de tecidos para os vasos.

### **Preparo do inóculo e inoculação com *Fusarium oxysporum*. f. sp. *cubense***

Foi utilizado um isolado monospóricó de *Fusarium oxysporum*. f. sp. *cubense* (*Foc*) obtido da Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, comprovadamente patogênico em bananeira. O fungo foi multiplicado em meio de cultura batata-dextrose-ágar (BDA), a pH 6, sob fotoperíodo de 12 horas de luz/escuro e incubado em BOD à temperatura de 25°C ±2°C, durante 10 dias. Após esse período obteve-se uma suspensão conidial (macroconídios e microconídios), cuja concentração foi ajustada com auxílio do hemacitômetro para 2 x 10<sup>6</sup> conídios mL<sup>-1</sup>.

A inoculação foi realizada utilizando-se a metodologia descrita por Ribeiro et al., (2009), 40 dias após o transplântio das mesmas para os vasos. As plantas foram removidas cuidadosamente (Figura 2A) do solo e suas raízes cortadas a 7 cm da base (Figura 2 B). A inoculação foi realizada por imersão de raízes na suspensão conidial de 2 x 10<sup>6</sup> conídio mL<sup>-1</sup> durante 2 horas, (Figura 2C) quando foram transferidas novamente para os vasos (Figura 2D). Uma vez que as plantas estavam restabelecidas nos vasos, foi aplicado na base de cada uma delas 1 mL com a suspensão conidial (Figura 2E). Plantas usadas como testemunhas foram submetidas ao mesmo procedimento, porém utilizando água destilada.





**Figura 2.** Etapas da inoculação das plantas de bananeiras com o fungo *Fusarium oxysporum*. f. sp. *cubense*: (A) Remoção das plantas do solo, (B) corte das raízes a 7 cm da base, (C) Imersão de raízes na suspensão conidial de  $2 \times 10^6$  conídio  $\text{mL}^{-1}$  durante 2 horas , (D) plantas transferidas novamente para os vasos de origem e ,(E) Aplicação na base de cada planta de 1 mL com a suspensão conidial.

### **Avaliação da intensidade do mal-do-Panamá em plantas de bananeira**

Foram realizadas avaliações diariamente e até os 33 dias após a inoculação, quando todas as plantas foram colhidas. Foi avaliado o número de folhas com sintomas, e a severidade dessas folhas de acordo com a escala adaptada proposta por Mahomed et al, (1999); que consta de 5 classes (Figura 3). Na última observação foi avaliada a necrose do rizoma mediante a escala proposta Mahomed et al (1999), a qual consta de 8 classes (Figura 4). A área abaixo da curva de progresso da doença foi calculada pela expressão:  $AACPD = \sum (y_i + y_{i+1})/2 \cdot d_{ti}$ , onde  $y_i$  e  $y_{i+1}$  são os valores de severidade observados em duas avaliações consecutivas e  $d_{ti}$  o intervalo entre as avaliações (SHANER; FINNEY, 1977). A partir das notas obtidas, calculou-se o índice de doença (ID) para as folhas (ID-F) e para o rizoma (ID-R) de acordo com a fórmula proposta McKinney (1923) por onde:

$$ID (\%) = 100 \times \sum (f.v)/(n.x)$$

ID = índice de doença

f = número de plantas com a mesma nota atribuída

v = nota atribuída

n = número total de plantas avaliadas

x = nota máxima da escala



**Figura 3.** Escala diagramática para a avaliação da severidade dos sintomas externos causados por *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* em plantas de bananeiras 0-Plantas aparentemente saudias, 1- Pequenas estrias e/ou amarelecimento em algumas folhas inferiores, 2- Estrias e/ou amarelecimento na maioria das folhas inferiores, 3- Estrias extensivas e/ou amarelecimento na maioria ou em todas as folhas e 4- Plantas mortas.



**Figura 4.** Escala diagramática para a avaliação da severidade dos sintomas internos causados por *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* em plantas de bananeiras. 0- Nenhuma descoloração do rizoma. Plantas aparentemente saudias. 1 Região central do rizoma sem descoloração, descoloração na junção da raiz e o rizoma. 2. Até 5% da região central do rizoma com descoloração. 3. 6-20% da região central do rizoma com descoloração. 4. 21-49% da região central do rizoma com descoloração 5. Mais de 50% da região central do rizoma com descoloração. 6. Descoloração inteira do rizoma e murcha. 7. Planta morta.

## **Análises para Avaliação Nutricional**

Ao final do experimento as plantas foram colhidas cortando-se a parte aérea rente ao solo, a qual foi lavada com água deionizada. As raízes foram separadas do solo, lavadas em água corrente até a completa remoção do solo, e finalmente lavadas em água destilada. A parte aérea e as raízes foram secas em estufa com circulação forçada de ar a 60-70°C, até atingirem peso constante, para determinação do peso da matéria seca. Após determinação do peso da matéria seca, o material vegetal foi moído em moinho tipo Wiley.

Nos tecidos vegetais, na parte aérea, foram determinados os teores totais de macronutrientes e Si. Para a determinação de nitrogênio se procedeu a digestão sulfúrica, e para os demais elementos a digestão nitro-perclórica, com exceção do Si, que foi determinado conforme metodologia adaptada descrita por Leite (1997). Nos extratos, foram determinados os teores de nitrogênio pelo método de Kjeldahl, fósforo pelo método colorimétrico, potássio e sódio por fotometria de chama, e cálcio e magnésio por espectrofotometria de absorção atômica (MALAVOLTA, et al., 1989).

Com base nos teores de Si na parte aérea e raízes, e também na matéria seca das plantas, foram determinados os conteúdos desse elemento na parte aérea, nas raízes e o conteúdo total. A partir dos conteúdos foi determinado o índice de translocação (ABICHEQUER & BOHNEN, 1998), de acordo com a seguinte equação:

$$\text{Índice de translocação} = \frac{\text{Conteúdo na parte aérea} \times 100}{\text{Conteúdo total}}$$

### **Delineamento experimental e análise estatística**

O experimento foi instalado em delineamento blocos casualizados (DBC) num esquema fatorial  $5 \times 3 + 1$  tratamento adicional (testemunha absoluta) com 4 repetições. Os fatores estudados foram cinco doses de silício (0, 250, 500, 750 e 1000 mg Si dm<sup>-3</sup> solo) e três cultivares de banana (Grande Naine, Tropical e Maçã), e um tratamento adicional constando de testemunha absoluta, sem silício e sem inoculação com *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, teste de médias (Tukey) e análise de regressão utilizando o SAS (2003). Foi realizado teste t para comparação de contraste ortogonal entre a testemunha absoluta e a média dos tratamentos com silício.

Para o índice de doença no rizoma foi realizada à análise de regressão não paramétrica, pelo teste Rank Regression utilizando o programa SYSTAT 12.

### 3.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO

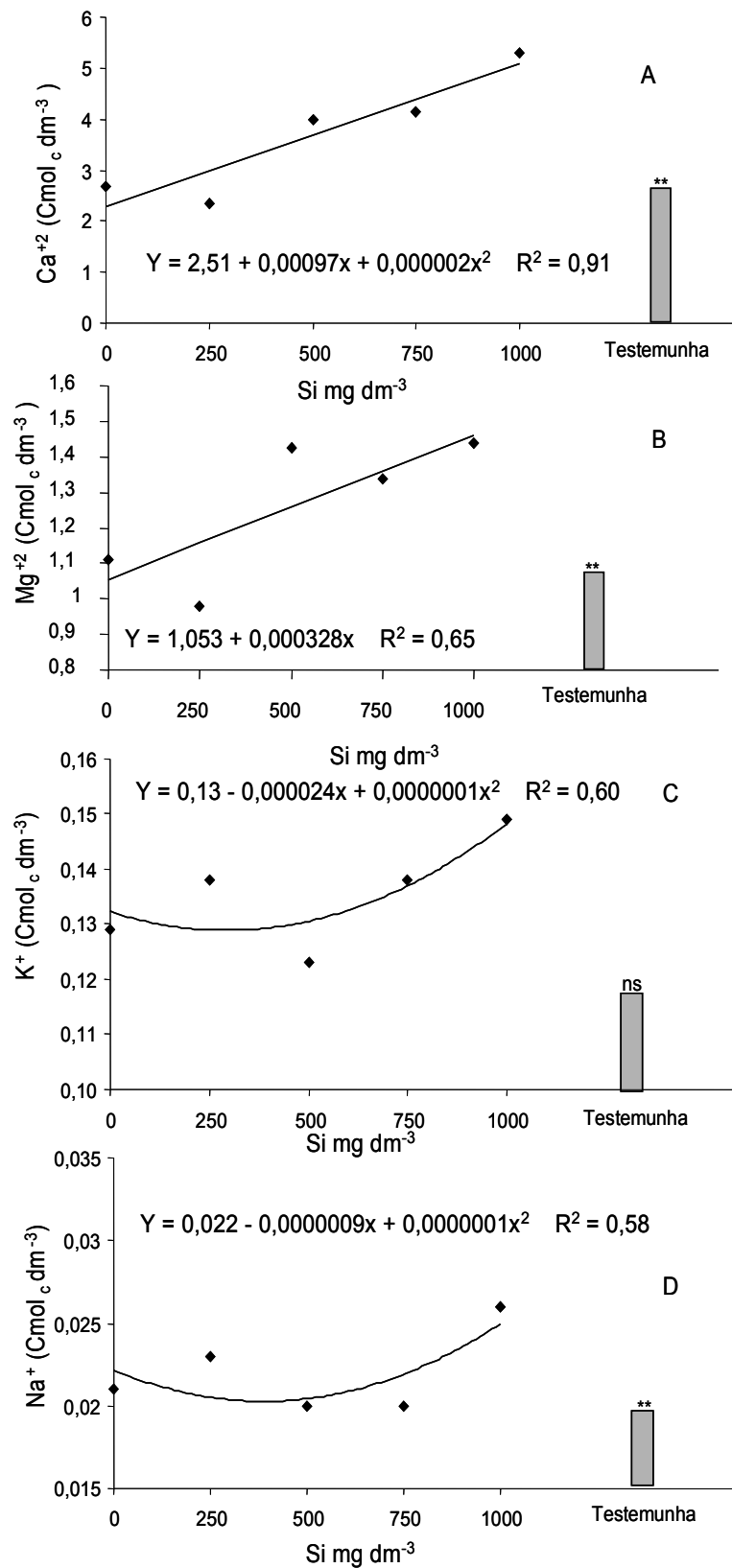
#### Efeitos do silício sobre os atributos químicos do solo após 15 dias de incubação

Com a aplicação de doses crescentes de Si no solo os atributos químicos pH, P,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ , H+Al, S, CTC, V e Si foram influenciados significativamente. Não foi verificada diferença significativa para a matéria orgânica do solo pela aplicação de silício.

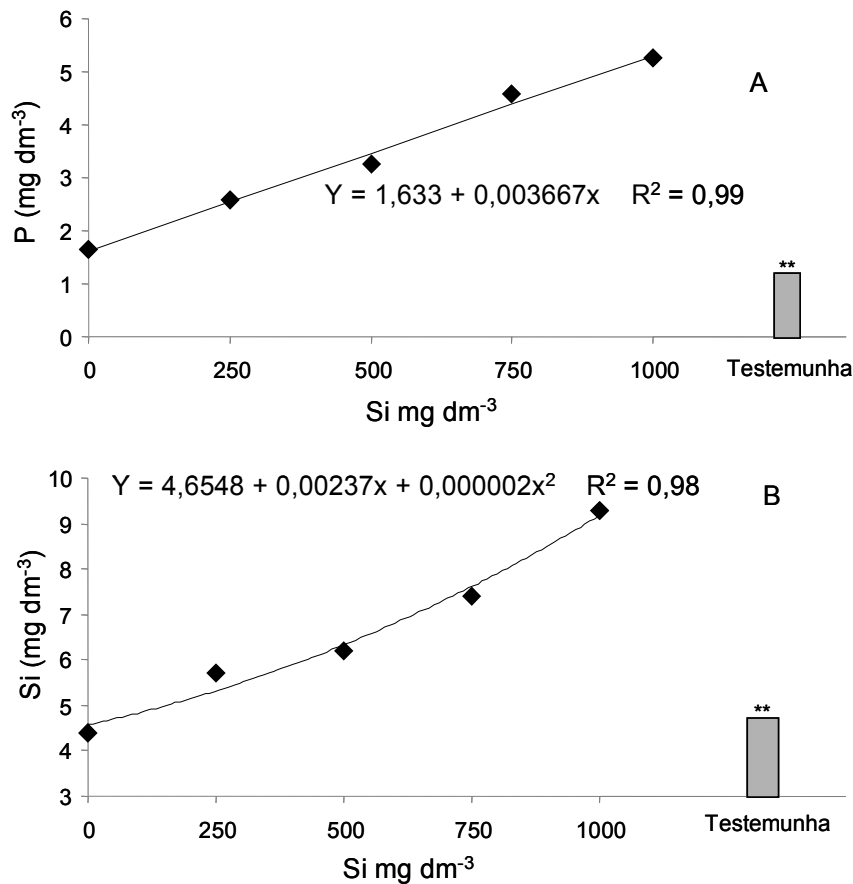
A adição de doses crescentes de Si, de maneira geral, proporcionou aumento de  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{K}^+$  e de  $\text{Na}^+$  no solo (Figuras 5A, 5B, 5C e 5D). O silício e o fósforo aumentaram com a adição das doses de silicato ao solo (Figuras 6A e 6B). O cálcio foi elevado de 2,53 a 5,33  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , o magnésio de 0,98 a 1,54  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , o potássio de 0,13 a 0,15  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , o sódio de 0,20 a 0,25  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , o fósforo de 1,50 a 5,25  $\text{mg dm}^{-3}$  e o silício no solo variou de 4,58 a 9,3  $\text{mg dm}^{-3}$ .

Na avaliação dos contrastes foram observados efeitos significativos para o  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Na}^+$ , P e Si, quando o teste t revelou para estes atributos químicos que os tratamentos que receberam silício foram superiores a testemunha absoluta (Figuras 5A a D e 6 A e B). Este resultado demonstra que a fonte de silício utilizada foi eficiente reagindo no solo disponibilizando silício, cálcio e magnésio. Além de ter diminuído a fixação do fósforo no solo, o que leva a maior disponibilidade para as plantas. Esse aumento era esperado pelo fato do produto reagir rápido no solo e possuir na sua composição química 23% de  $\text{SiO}_2$ , 36% de  $\text{CaO}$  e 9% de  $\text{MgO}$ , o que favorece o incremento destes elementos na solução do solo.

Segundo Korndörfer et al. (2004b), a aplicação de silicatos de cálcio e magnésio ( $\text{CaSiO}_3$  e  $\text{MgSiO}_3$ ) promove benefícios ao solo. Esses silicatos estão associados ao aumento na disponibilidade de Si, elevação do pH e aumento do Ca e Mg trocável do solo, indiretamente propiciando incremento na disponibilidade de fósforo e podendo, ainda, atuar na redução da toxicidade de Fe, Mn e Al para as plantas (PRADO et al., 2002).



**Figura 5.** Teores de cálcio (A), magnésio (B), potássio (C) e sódio trocáveis (D) no solo em função de doses crescentes de Si. <sup>ns</sup> e <sup>\*\*</sup> - não significativo e significativo a 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste de t.



**Figura 6.** Teores de fósforo (A) e silício (B) no solo em função de doses crescentes de Si. \*\* significativo a 1% de probabilidade pelo teste de t.

Korndörfer et al (2010), observaram o efeito da aplicação de silício aumentando o teor de  $\text{Ca}^{+2}$  no solo, passando de  $0,4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  no tratamento testemunha, a  $0,9 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  na dose máxima de silicato utilizada.

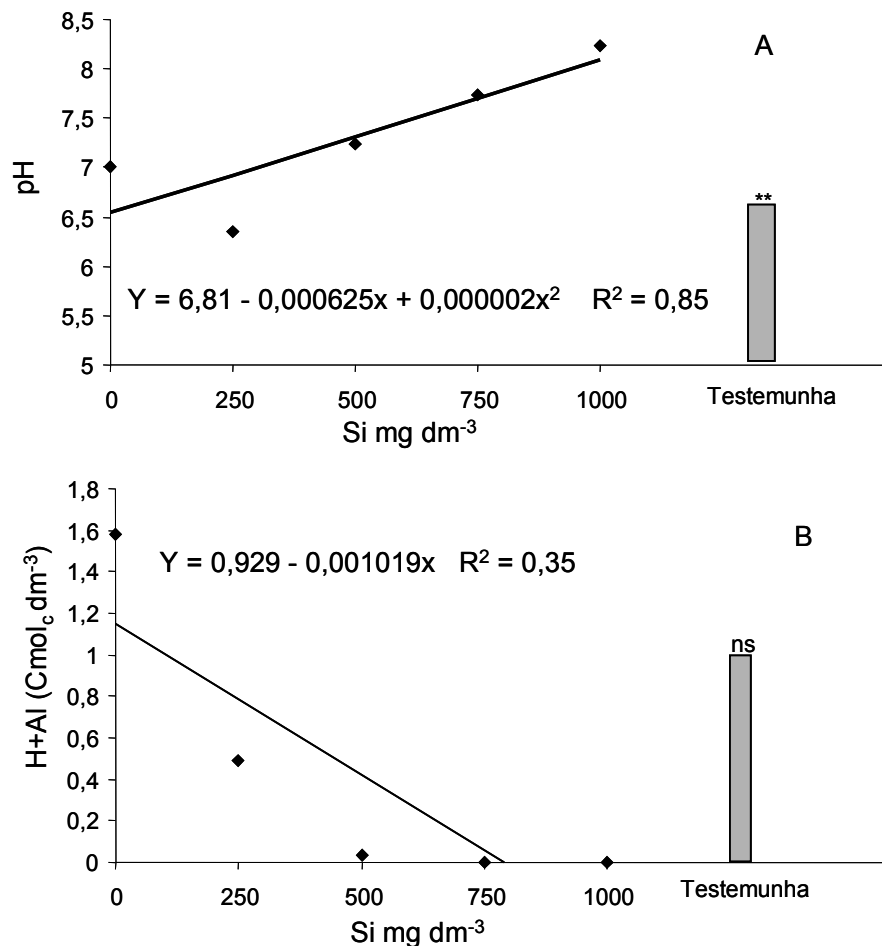
Ramos et al (2009), verificaram uma relação direta entre o aumento nas doses de Wollastonita (silicato de cálcio) e o teor de silício no solo.

A dose  $1000 \text{ mg dm}^{-3}$  de Si foi a que promoveu maiores alterações na acidez do solo repercutindo diretamente na disponibilização dos nutrientes às plantas. Com a adição de Si ao solo o pH (Figura 7A), a soma de bases (Figura 8A), a capacidade de troca de cátions (Figura 8B) e a saturação por bases (Figura 8C) foram significativamente aumentados, enquanto que a acidez potencial (H+Al) reduziu (Figura 7B) com o aumento das doses de silício, apesar do modelo ajustado apresentar  $R^2$  muito baixo. Este comportamento pode ser explicado pelo fato dos silicatos serem conhecidos como um material corretivo (ALCARDE, 1992), de forma

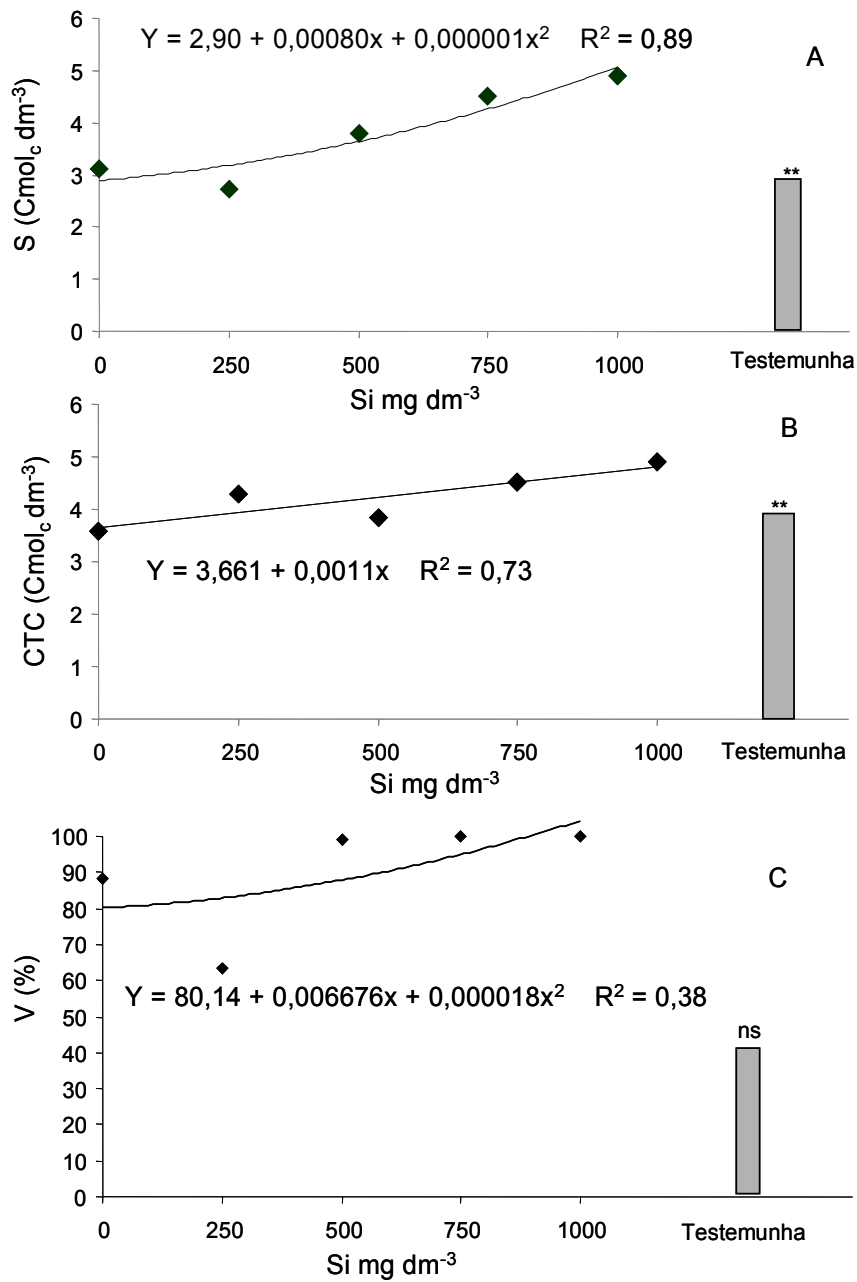


que apresentam características de correção da acidez, por meio da elevação do pH e redução dos teores de H+Al; neutralizando o Al trocável e ainda estão associados ao aumento da disponibilidade de Si solúvel e dos teores de Ca e Mg trocáveis (EPSTEIN, 1999).

Estes resultados corroboram com Korndörfer et al (2010), que relataram alterações químicas do solo, promovidas pela aplicação de silicato de cálcio, como o aumento dos valores de pH do solo, que provoca maior concentração de oxidrilas, as quais são capazes de precipitar o  $Al^{3+}$ , reduzindo seu teor em solução além de aumentar a saturação por bases do solo.



**Figura 7.** Valores de pH (A) e acidez potencial (B) no solo em função da aplicação de doses crescentes de Si. ns e \*\* - não significativo e significativo a 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste de t.



**Figura 8.** Soma de Bases (A), capacidade de troca de cátions (B) e saturação por bases (C) no solo em função da aplicação de doses crescentes de Si. <sup>ns</sup> e <sup>\*\*</sup> - não significativo e significativo a 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste de t.

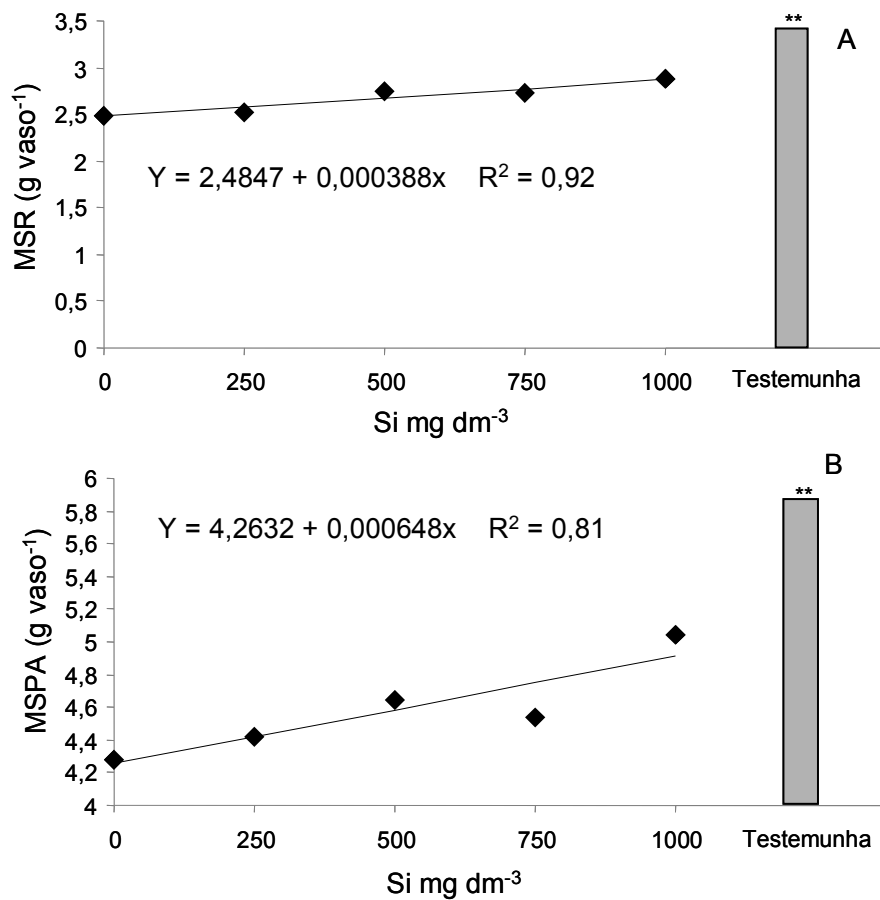
## **Efeitos do silício sobre o desenvolvimento da bananeira; Produção de matéria seca de raiz e de parte aérea.**

Foi observado efeito significativo das doses de Si e das variedades sobre a produção de matéria seca de raízes (MSR) e da parte aérea (MSPA). Não foram observados efeitos significativos para a interação doses de Si x variedades.

As doses de Si proporcionaram aumento linear positivo na produção de matéria seca de raízes (Figura 9A) e de parte aérea (Figura 9B). Diversos autores relataram efeitos positivos no incremento da produção de matéria seca com aplicação de silício (PRADO e NATALE, 2004; ZÃNAO JUNIOR, 2007; SOUZA et al., 2009; FERREIRA, 2009). Este efeito positivo observado no incremento MSR e MSPA da banana deu-se, possivelmente, pelo acúmulo do Si sob forma de sílica gel nos tecidos de suporte do caule e folhas. Este acúmulo faz com que as folhas fiquem mais eretas, com maior rigidez, além de apresentarem uma melhor arquitetura, o que promove maior interceptação de luz solar com conseqüente redução da quedas de folhas, aumento na taxa fotossintética e no crescimento (MARSCHNER, 1995).

Na avaliação dos contrastes observou-se efeitos significativos para a produção da matéria seca da parte aérea e de raízes, sendo que o teste t revelou que a testemunha absoluta foi superior aos tratamentos com silício. Este comportamento se deve a ausência do *Foc* nas plantas da testemunha absoluta o que leva a uma maior produção de MSPA e MSR por não haver ação negativa do fungo. Tendo em vista ainda, que mesmo com o aumento do silício no solo e conseqüente incremento no tecido vegetal, as plantas que foram inoculadas com o *Foc* apresentaram produção de MSPA e MSR inferior à testemunha.

As diferenças observadas na produção da MSPA (Tabela 4) entre as variedades podem ser atribuídas a mecanismos genéticos próprios de cada variedade. Plantas de banana Maçã (variedade suscetível ao mal-do-Panamá) mesmo favorecidas com os benefícios proporcionados pelo silício não produziram maior MSR E MSPA que as plantas da banana Tropical (variedade com resistência intermediária ao mal-do-Panamá) e a Grande Naine (variedade com resistência ao mal-do-Panamá).



**Figura 9.** Produção de matéria seca de raiz e parte aérea de plantas de bananeira crescidas em solo com aplicação de diferentes doses de Si. \*\* significativo a 1% de probabilidade pelo teste de t.

**Tabela 4.** Produção de matéria seca da raiz (MSR) e da parte aérea (MSPA) de variedades de bananeira crescidas em solo suplementado com silício.

Variedades	MSR (g vaso <sup>-1</sup> )	MSPA (g vaso <sup>-1</sup> )
Maçã	2,26 C	4,12 C
Tropical	2,78 B	4,76 B
Grande Naine	3,36 A	5,49 A
Cv (%)	14,45	15,14

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

## **Efeitos do silício na nutrição da bananeira; Teores de macronutrientes e de silício.**

Verificou-se diferenças significativas ( $P \leq 0,01$ ) para os teores de N, P, K, Ca, Mg e Si na parte aérea das plantas de banana com aplicação das doses de Silício. Houve diferença significativa ( $P \leq 0,05$ ) em função das variedades estudadas para o potássio, cálcio e magnésio. Já para interação doses de Si X variedades apenas notou-se efeito significativo para o teor de fósforo na parte aérea.

Observou-se um decréscimo linear na concentração do nitrogênio (Figura 10A) e do fósforo (Figura 10B) e um aumento linear para o Potássio (Figura 10C), cálcio (Figura 11A), magnésio (Figura 11B) e para silício um aumento quadrático (Figura 12A) com aplicação de doses crescentes de Si no solo. Possivelmente, a redução no teor de N na parte aérea se deve a efeito de diluição, ou seja, com maior crescimento da planta, os nutrientes ficaram diluídos. Pulz et al. (2008) também constataram redução no teor de N nas folhas de batata no tratamento com silício em relação ao teor das folhas com tratamento no qual foi utilizado calcário, sendo associado o menor teor no tratamento que recebeu silicato ao efeito diluição, já que as plantas deste tratamento apresentaram maior altura, provavelmente em função de maior alongamento celular. Por outro lado a redução observada do fósforo, possivelmente foi devido ao P presente na solução do solo, não se encontrar numa forma disponível para que as plantas tenham absorvido por conta do pH do solo ter apresentado valores acima de 7,0 o que dificulta assimilação deste elemento pelas plantas por estar ligado ao cálcio. Este efeito foi observado nos teores foliares e não no solo, que apresentou aumento com as doses de Si, fato que pode ser explicado pelo extrator utilizado, Mehlich 1, que extrai o fósforo por dissolução seletiva das frações mais lábeis em função da redução do pH.

Os incrementos observados dos teores de K, Ca, Mg e Si na parte aérea, possivelmente foram devidos ao aumento observado destes elementos no solo. Na avaliação dos contrastes foram observados efeitos significativos para o N, P, K, Mg e Si, na qual o teste t revelou que a testemunha foi superior em relação aos tratamentos com silício para N, P e K, e inferiores aos teores de Mg e Si observados nas plantas que cresceram com a adição do silicato. Este comportamento possivelmente foi devido alguma resposta da planta à presença do *Foc*, tendo em

vista que os nutrientes atuam de forma muito variada na resposta da planta ao ataque de patógenos. Os nutrientes atuam como cofatores enzimáticos, ativadores, inibidores e moduladores de vários processos metabólicos e, adicionalmente, a nutrição mineral contribui com a composição da organização estrutural, ou seja, a anatomia dos órgãos da planta, que por efeito secundário pode auxiliar a planta em sua resistência a pragas e a doenças (DATNOFF et al., 2007; ZANÃO JÚNIOR, 2007).

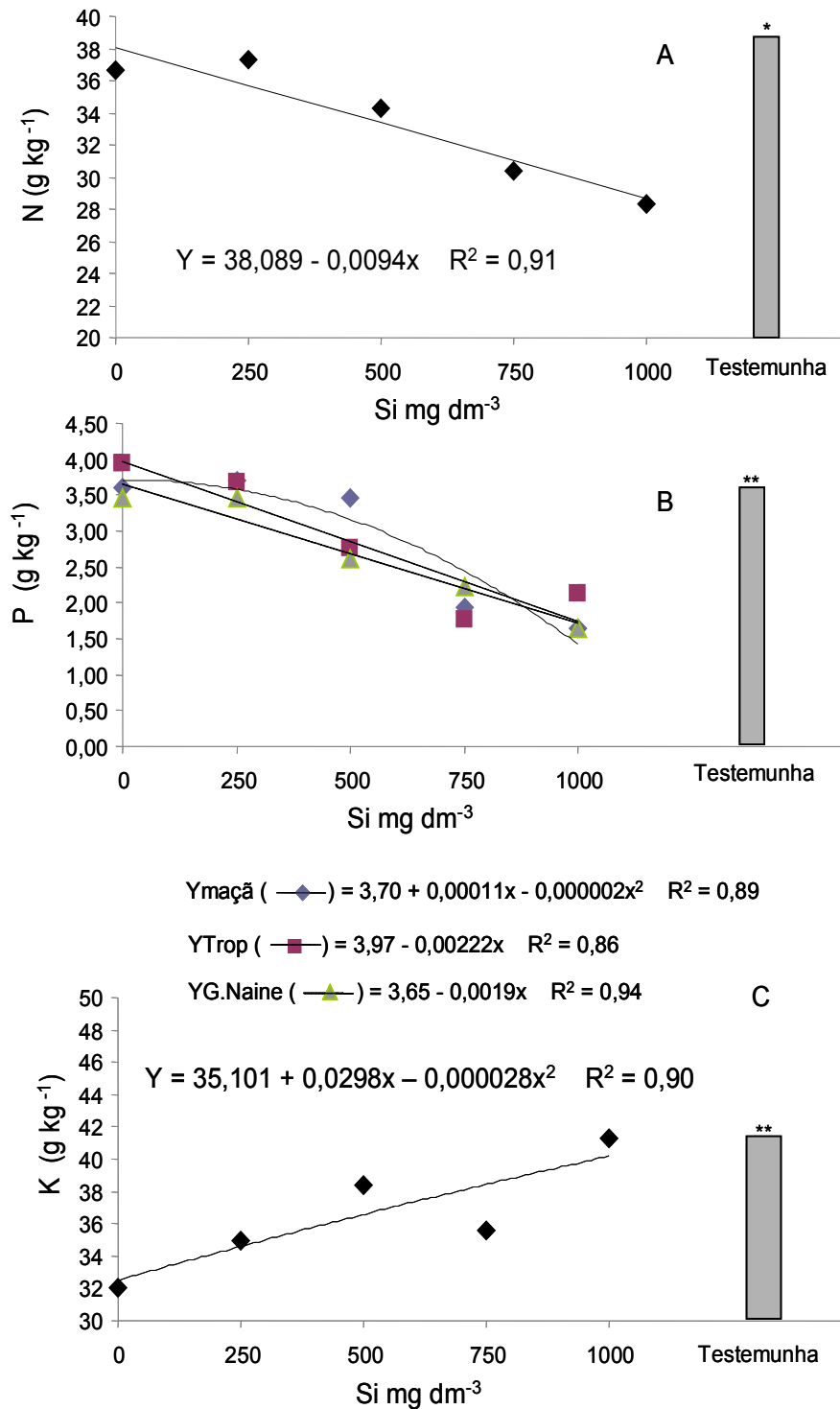
As diferenças observadas nos teores de potássio, cálcio e magnésio da parte aérea das plantas de banana (Tabela 5) entre as variedades podem ser atribuídas a mecanismos genéticos próprios de cada variedade. Mesmo plantas da mesma espécie podem apresentar diferenças na capacidade de absorver os nutrientes.

Os teores de macronutrientes na parte aérea, tanto para plantas inoculadas como para as não inoculadas (testemunha absoluta) com o *Foc* estão dentro das faixas consideradas adequadas para a cultura da banana de acordo com BORGES et al. (2002) e SILVA et al. (2002). Esse fato é indicativo de que os elementos estavam de forma disponível para absorção pelas plantas, não estando precipitados ou adsorvidos no solo. O Si influencia a absorção e translocação de vários macro e micronutrientes (EPSTEIN, 1994). A concentração de silício na parte aérea variou de 2,13 a 8,84 g kg<sup>-1</sup>. O maior acúmulo de silício foi observado na parte aérea das plantas de bananeira indicando alta translocação desse elemento. Os teores de Si nas folhas quadruplicaram quando comparou-se a testemunha com a dose de 1000 mg dm<sup>-3</sup> de Si. O aumento da concentração de Si na parte aérea indica que a fonte de silício utilizada foi reativa e bastante eficiente na disponibilidade de Si para o solo e para a planta.

Camargo et al 2007, estudando o efeito da reação do solo sobre a disponibilidade de silício para a cultura do arroz constatou que a absorção de Si pela parte aérea foi linearmente crescente com aplicação de doses de wollastonita, seguidas do silicato de cálcio e magnésio, ácido silícico e calcário.

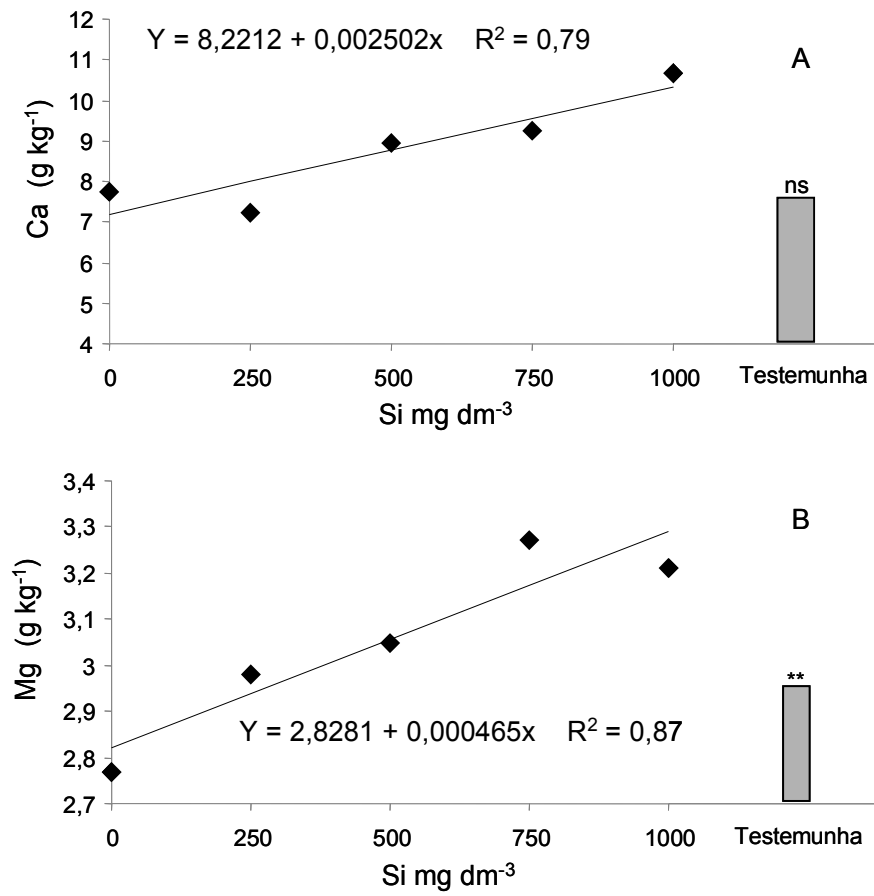
A partir da dose de 250 mg dm<sup>-3</sup> de Si as plantas de bananeira apresentaram concentração de Si entre 5 e 10 g kg<sup>-1</sup>, comportando-se como uma planta acumuladora intermediária de silício concordando com Souza Júnior et al., 2008 e em parte com as informações de Moraes et al., 2006 confirmando assim que a banana absorve e transloca Si para a parte aérea, como pode ser observado pelo

índice de translocação do Si na Figura 13. Por outro lado, isto possivelmente pode ter acontecido devido aos baixos teores de silício no solo. O acúmulo de silício em plantas novas de banana da variedade Grande Naine em sistema hidropônico é controlado pela concentração de Si na solução (HENRIET et al. 2006). Ou seja, quanto maior o teor de silício no solo a planta poderia ter uma melhor resposta na absorção deste elemento.

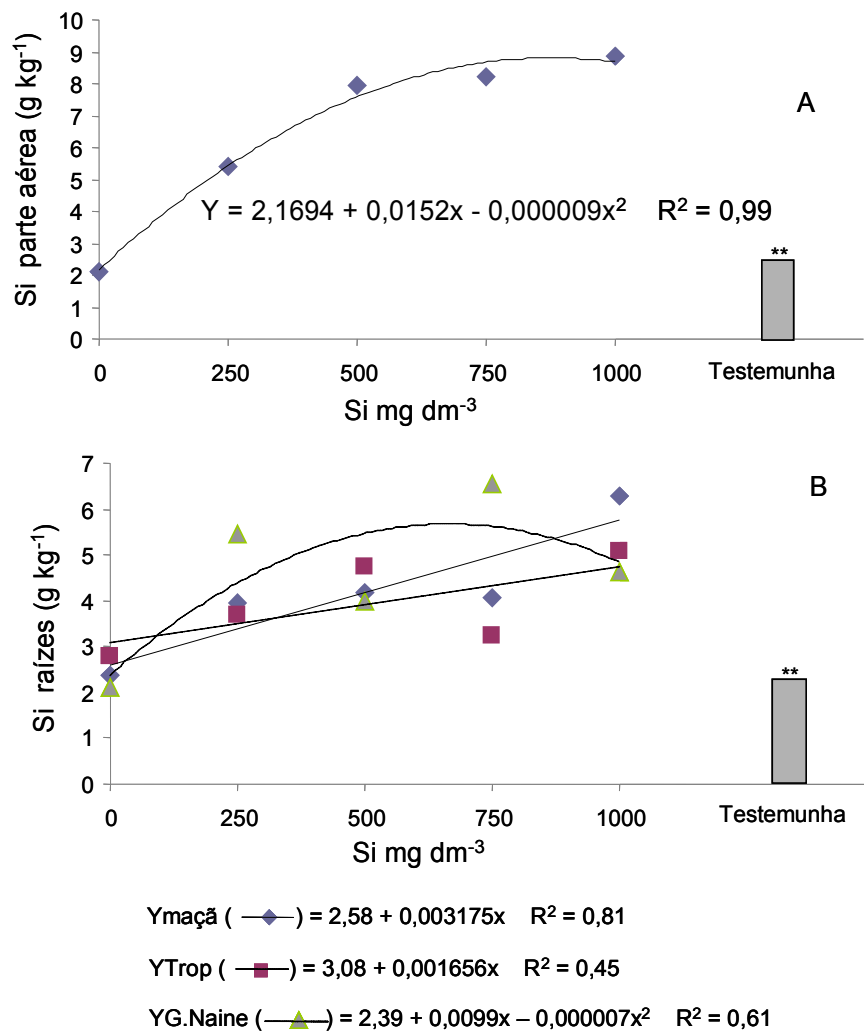


**Figura 10.** Teores de nitrogênio (A), fósforo (B) e potássio (K) na parte aérea de bananeiras crescidas em solos suplementados com silicato. <sup>ns</sup>, \*\* e \* - não significativo e significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste de t.





**Figura 11.** Teores de cálcio (A) e magnésio (B) na parte aérea de bananeiras crescidas em solos suplementados com silicato. <sup>ns</sup> e <sup>\*\*</sup> - não significativo e significativo a 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste de t.

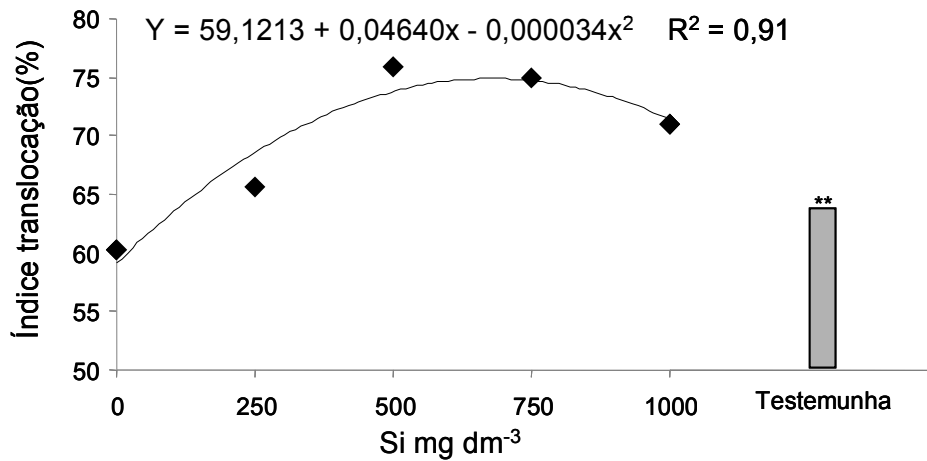


**Figura 12.** Teores de silício na parte aérea (A) e nas raízes (B) de bananeiras crescidas em solos suplementados com silicato. \*\* significativo a 1% de probabilidade pelo teste de t.

**Tabela 5.** Teores de potássio, cálcio e magnésio da parte aérea das plantas de variedades de bananeira crescidas em solo suplementado com silício.

Variedades	Potássio (g kg <sup>-1</sup> )	Cálcio (g kg <sup>-1</sup> )	Magnésio (g kg <sup>-1</sup> )
Maçã	37,40 B	8,28 B	2,81 B
Tropical	41,87 A	7,55 B	2,72 B
Grande Naine	40,19 A	11,64 A	3,50 A
Cv (%)		14,45	15,14

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



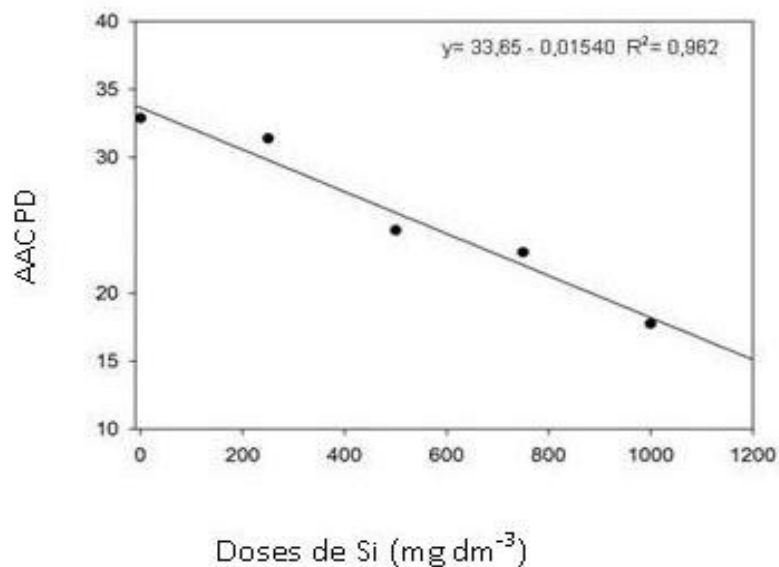
**Figura 13.** Índice de translocação de Silício em plantas de bananeira crescidas em solos suplementados com silicato. \*\* significativo a 1% de probabilidade pelo teste de t.

Verificou-se que os teores de silício encontrados na raiz (Figura 12B) foram inferiores aos encontrados na parte aérea, confirmando a eficiência das plantas de banana em absorver e translocar esse elemento. A bananeira é uma monocotiledônea, e em geral, o conteúdo médio de silício nas raízes é menor quando comparado com o caule e folhas. A maior parte do Si transportado das raízes pela corrente transpiratória é acumulado (precipitado) como  $\text{SiO}_2$  em órgãos da parte aérea, tornando-se imóvel e, portanto, não sendo redistribuído (Jones & Handreck, 1967).

## **Efeito do silício no controle do mal-do-Panamá**

Em várias pesquisas tem sido observado que a nutrição de plantas constitui-se, em grande parte, como uma importante ferramenta influenciadora na resistência ou susceptibilidade à doenças, na estrutura morfológica ou histológica da planta, na função de tecidos para rápida ou lenta patogênese, a agressividade e sobrevivência do patógeno (MARSCHNER, 1995). Dentre esses elementos minerais, o silício vem se destacando por reduzir a severidade de importantes doenças (EPSTEIN, 1999).

Com bases nos resultados encontrados a análise de regressão para o desdobramento de tratamento revelou que a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) para a variedade Maçã foi reduzida significativamente (Figura 14) com o aumento das doses de Si no solo, evidenciando ação positiva do Si no controle de Foc nesta cultivar. A AACPD expressa o progresso da doença nas folhas de banana ao longo do tempo e permitiu inferir que a expansão dos sintomas externos, e conseqüentemente, a severidade da doença para folhas, foi negativamente afetada pela presença do silício no solo. Nas variedades Tropical e Grande Naine não foi verificada diferença significativa na AACPD para o desdobramento dos tratamentos. Outros estudos também relataram redução na área abaixo do progresso da doença em plantas supridas com silício (FERREIRA, 2009; LIMA et al., 2010).



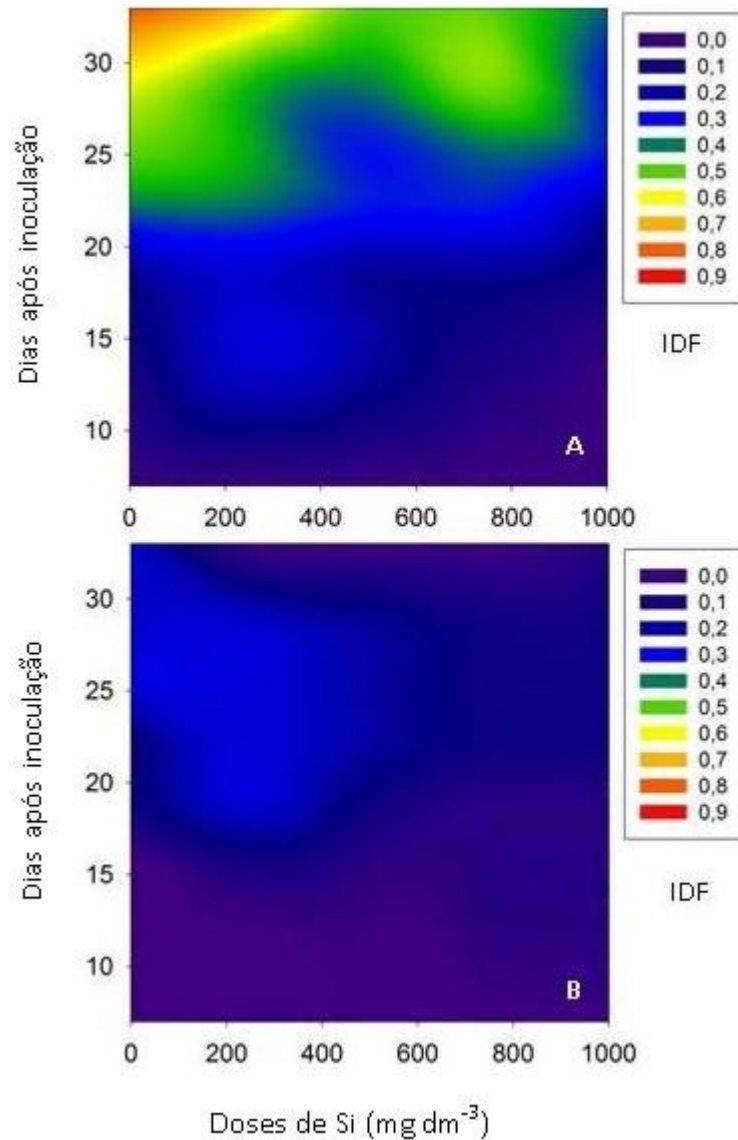
**Figura 14.** Área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) na variedade Maçã inoculada com *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense* em função de doses crescentes de silício aplicadas no solo.

A partir do índice da doença da folha (IDF) verificou-se as superfícies de repostas das variedades pela adição de silício no solo dias após a inoculação com Foc. O aparecimento dos sintomas externos na plantas inoculadas demonstrou que o método de inoculação foi eficiente. Resultados similares foram relatados por Ribeiro et al. (2009) utilizando este método de inoculação. As variedades diferiram quanto ao grau de severidade da doença para folha à medida que as doses de silício aumentaram (Figura 15).

A variedade Maçã teve decréscimo do IDF a partir da dose 250 mg. dm<sup>-3</sup> de Si acentuando-se com o aumento da doses de silício. Para a variedade Tropical também observou-se redução do IDF, sendo que a partir da dose 750 mg. dm<sup>-3</sup> de Si constatou-se a ausência de sintomas externos. Na variedade Grande Naine não foram observados sintomas externos. A aplicação de silício no solo não impediu o aparecimento dos sintomas, todavia influenciou, com a aplicação das doses mais elevadas, o progresso da doença nas variedades Maçã e Tropical.

O silício, apesar de não ser considerado elemento essencial, proporciona benefícios a várias espécies vegetais, incluindo redução da severidade de doenças em inúmeras culturas (BOWEN et al., 1992 ; DATNOFF et al., 1997; POZZA et al.,

2004; LIANG, et al., 2005; FERREIRA, 2009). Entretanto, ainda é escasso o conhecimento do efeito do silício no mal-do-Panamá e no crescimento da bananeira.



**Figura 15.** Superfícies de repostas do índice da doença para folha (IDF) das plantas de bananeira em função de doses de silício aplicadas no solo e dos dias após a inoculação com o *Fusarium oxysporum* f. sp. *cupense*: (A) Variedade Maçã e (B) Variedade Tropical. Para variedade Grande naine não foram observados sintomas externos.

Quando analisado o índice da doença no rizoma (IDR) constatou-se redução dos sintomas internos nas variedades Maçã e Tropical em função das doses de Si aplicadas no solo (Figura 16 e 17). O teste Rank Regression revelou diferença

significativa entre o IDR das variedades estudadas em função das doses de silício aplicadas no solo.

Foi observado nas plantas da variedade Maçã que a adição de doses crescentes de Si proporcionou uma redução linear (Figura 18) no IDR. Na variedade Tropical, de maneira similar ao observado em Maçã, o IDR também sofreu redução linear (Figura 19), sendo que a partir da dose  $750 \text{ mg dm}^{-3}$  o valor estagnou, conseqüentemente influenciando o progresso dos sintomas. Já para Grande Naine verificou-se sintomas internos (Figuras 20 e 21) apenas nas duas primeiras doses com valores baixos de Si. Nos demais tratamentos não foram constatados sintomas internos, conseqüentemente o IDR não saiu do grau zero. Este aparecimento de sintomas internos (Figura 20) do mal-do-Panamá na variedade Grande Naine pode ter ocorrido devido ao processo de inoculação que além de envolver corte do sistema radicular, as plantas são expostas à uma alta pressão de inóculo por um período longo o que as deixa sob um alto estado de estresse. Aliadas a isto as condições ambientais tais como temperatura do ambiente podem ter favorecido o ataque do patógeno no sistema radicular mesmo em uma variedade considerada como resistente.

Rodrigues 2007, também relatou uma redução drástica nos sintomas do mal-do-Panamá (escurecimento do rizoma em progressão ao pseudocaule) nas mudas das cultivares de bananeira Maçã e Grande Naine crescidas em solo contendo AgroSilício. Em outro estudo envolvendo banana em casa de vegetação foi indicado que a aplicação de silício pode reduzir níveis da murcha de *Fusarium* (AITKEN, 2010).

Nas plantas das três variedades no tratamento testemunha absoluta, sem silício e sem inoculação com Foc não foram observados sintomas externos e internos, do mal-do-Panamá.

Estudos futuros são necessários no intuito de elucidar os mecanismos pelos quais o silício influi na resposta de defesa no patossistema banana-Foc. Conhecimentos mais aprofundados sobre o efeito do silício na redução da severidade do mal-do-Panamá, bem como na nutrição da bananeira são necessários a fim de explorar o potencial do silício no controle desta doença.

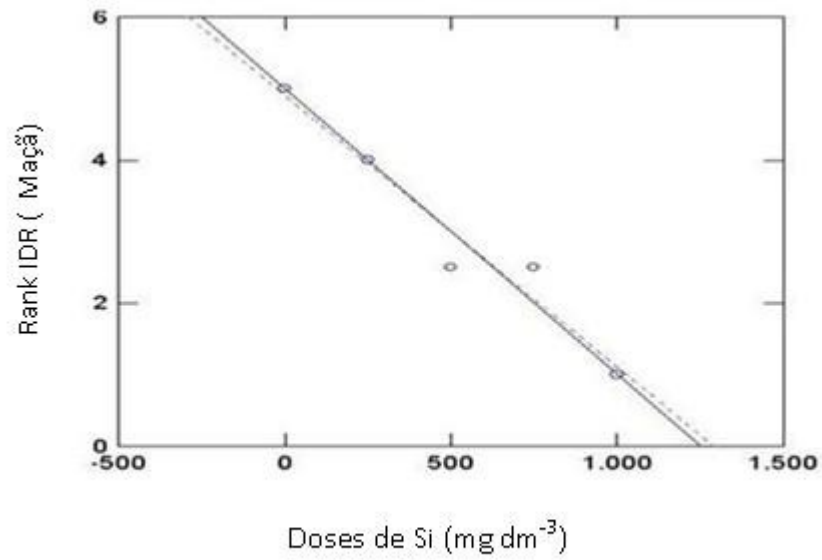


**Figura 16.** Reações das plantas de bananeira da variedade maçã a inoculação com Foc após serem tratadas com doses crescentes de silício: (A) Testemunha Absoluta, (B) Dose 0 mg dm<sup>-3</sup> de Si, (C) Dose 250 mg dm<sup>-3</sup> de Si, (D) 500 mg dm<sup>-3</sup> de Si, (E) 750 mg dm<sup>-3</sup> de Si, (F) 1000 mg dm<sup>-3</sup> de Si.

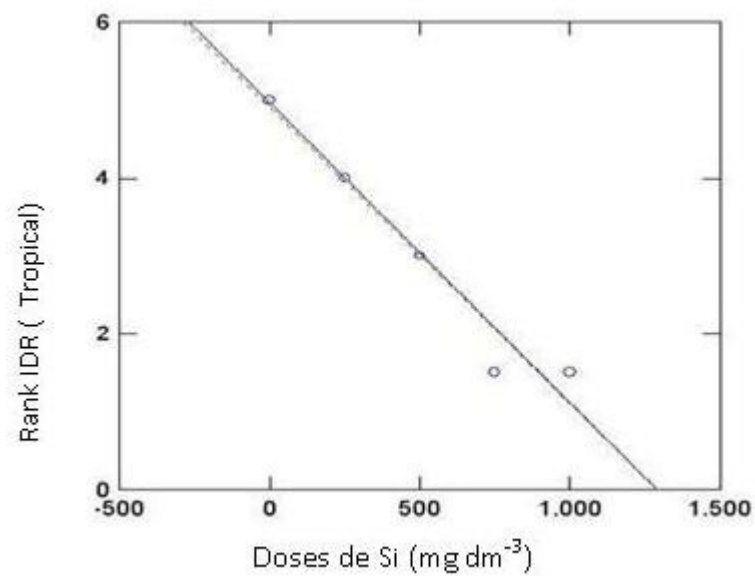


**Figura 17.** Reações das plantas de bananeira da variedade tropical a inoculação com Foc após serem tratadas com doses crescentes de silício: (A) Testemunha Absoluta, (B) Dose 0 mg dm<sup>-3</sup> de Si, (C) Dose 250 mg dm<sup>-3</sup> de Si, (D) 500 mg dm<sup>-3</sup> de Si, (E) 750 mg dm<sup>-3</sup> de Si, (F) 1000 mg dm<sup>-3</sup> de Si.





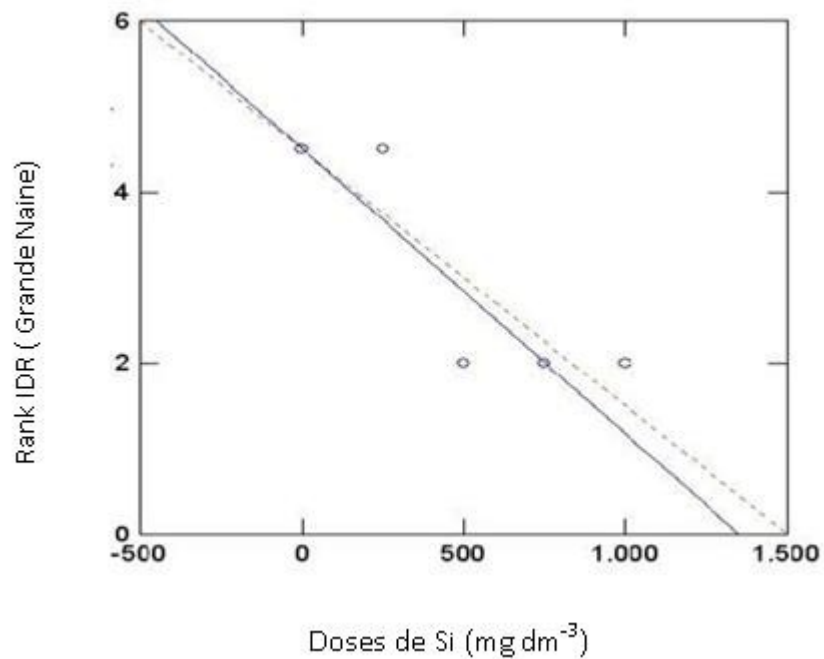
**Figura 18.** Efeito de doses crescentes de silício sobre a severidade da doença do rizoma em plantas de bananeira da variedade Maçã,



**Figura 19.** Efeito de doses crescentes de silício sobre a severidade da doença para o rizoma em plantas de bananeira da variedade Tropical.



**Figura 20.** Reações das plantas de bananeira da variedade Grande Naine a inoculação com Foc após serem tratadas com doses crescentes de silício: (A) Testemunha Absoluta, (B) Dose 0 mg dm<sup>-3</sup> de Si, (C) Dose 250 mg dm<sup>-3</sup> de Si, (D) 500 mg dm<sup>-3</sup> de Si, (E) 750 mg dm<sup>-3</sup> de Si, (F) 1000 mg dm<sup>-3</sup> de Si.



**Figura 21.** Efeito de doses crescentes de silício sobre a severidade da doença para rizoma em plantas de bananeira da variedade Grande Naine.

O uso dos silicatos na agricultura, mostra-se como uma excelente ferramenta melhorando as características químicas do solo de maneira geral, podendo ser utilizado no lugar dos corretivos convencionais tendo a vantagem de fornecer além de Ca e Mg, o Si, o qual tem sido associado no controle de pragas e doenças em diversas culturas.

Neste trabalho foi evidenciada a ação benéfica do silício sobre os atributos químicos do solo onde constatou-se a elevação dos valores do pH, aumento dos teores de Si, Ca e Mg trocáveis do solo, além de ter aumentado a disponibilidade do P no solo. Aliado a isto observou-se que a bananeira neste estudo comportou-se como uma planta acumuladora intermediária de Si, o que favoreceu no incremento da produção da matéria seca da raiz e da parte aérea, na absorção dos macronutrientes como Ca, K e Mg, além de ter contribuído na redução da severidade do mal-do-Panamá.

O uso do silício na cultura da banana se vislumbra como uma prática viável, por melhorar o estado nutricional da bananeira, além de ser uma alternativa promissora para os produtores de banana visando o manejo integrado do mal-do-Panamá.

#### 4.0 CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos, nas condições que foram realizadas o trabalho, pode-se concluir que:

1) A adição de doses crescentes de Si no solo promoveu alterações nos atributos químicos, aumentando o pH do solo, disponibilizando nutrientes como cálcio e magnésio, e silício.

2) Houve incremento da produção da matéria seca da raiz e da parte aérea das plantas de bananeiras com o aumento das doses de silício fornecidas via solo.

3) As plantas de bananeiras absorveram e translocaram silício para a parte aérea comportando-se como uma planta acumuladora intermediária de Si.

4) A aplicação de silicato ao solo favoreceu a redução da severidade do mal-do-Panamá.

## 5.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABICHEQUER, A.D.; BOHNEN, H. Eficiência de absorção, translocação e utilização de fósforo por variedades de trigo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, n.1,p.21-26, jan./mar. 1998.
- ADATIA, M. H.; BESFORD, A. T. The effects of silicon on cucumber plants grown in recirculating nutrient solution. **Annals of Botany** 58:343-351, 1986.
- AITKEN, E. The battle against *Fusarium* wilt fungus. **Australian Bananas**. p.1-2. 2010.
- ALCARDE, J.C. Corretivo de acidez dos solos: características e interpretações técnicas. São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos e Corretivos Agrícolas, 1992.26p. (Boletim Técnico, 6).
- BÉLANGER, R. R.; BOWEN, P.A.; EHRET, D.L.; MENZIES, J. G. Soluble silicon: its role in crop and disease management of greenhouse crops. **Plant disease**, St. Paul, v. 79, n.4 p. 329-336, 1995.
- BORGES, A. L.; RAIJ, B. van; MAGALHÃES, A. F. de; BERNANARDI, A.C. DE. **Nutrição e adubação da bananeira irrigada**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2002. 8p. (EMBRAPA-CNPQ. Circular Técnica, 48).
- BOWEN, P.; MENZIES, J. G.; EHRET, D. L.; Soluble silicon sprays inhibit powdery mildew development on grape leaves. **Journal of the American Society Horticultural Science**, Alexandria, v.117, n. 6, p. 906-912, 1992.
- CAMARGO, M.S. de; PEREIRA, H. S.; KORNDÔNFER.; QUEIROZ, A. A.; REIS, C.B.DO. Soil reaction and absorption of silicon by rice. **Sci. Agric.** (Piracicaba, Braz.), v.64,n.2, p.176-180, March/April 2007.
- CÔTÉ- BEAULIEU, C.; CHAIN, F.; MENZIES, J. G.; KINRADE, S. D.; BÉLANGER, R. R. Absorption of aqueous inorganic and organic silicon compounds by wheat and their effect on growth and powdery mildew control. **Environmental and experimental Botany**, Oxford, v. 65, p. 155-161, 2009.
- CUNHA, K.P.V. et al. Disponibilidade, acúmulo e toxicidade de Cádmi e Zinco em Milho (*Zea mays* L.) cultivado em solo contaminado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 32, p. 1319-1328, 2008
- DATNOFF, L. E.; ELMER, W. H.; HUBER, D. M. Mineral nutrition and plant disease. St Paul: **The American Phytopathological Society Press**, 2007. 278 p.
- DATNOFF, L. E.; DEREN, C. W.; SNYDER, G. H. Silicon fertilization for disease management of rice in Florida. **Crop Protection**, London, v.16, n. 6, p. 525-531,1997
- DAYANANDAM, P.; Kaufman, p.b.; Frankin, C.I. detection of silica in plants **American Journal of Botany**, New York, v. 70, n. 10, p. 1079-1084, 1983.

DIXON, R.A. The phytoalexin response: elicitation, signaling and control of host gene expression. **Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society**, v.61, p.239-291, 1986

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e Abastecimento, 1997. 212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de análises química de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: EMBRAPA, 1999. 370p.

EPSTEIN, E. The anomaly of silicon in plant biology. **Proceedings Natural Academy Science**, [S.l.], v.91, p.11-17, 1994.

EPSTEIN, E. Silicon. **Annual Review in Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v.50, p.641-664, 1999.

FAWE, A. et al. Silicon and disease resistance in dicotyledons. In: DATNOFF, L. E.; SNYDER, G.H.; KORNDORFER, G.H. (Ed.). **Silicon in agriculture**. Amsterdam: Elsevier Science Publishing, 2001.p.159-169

FERREIRA, H. A. Silício no controle da mancha-aquosa em meloeiro( *Cucumis melo* L.). Universidade Rural Federal de Pernambuco 2009. p.82. (**Dissertação de mestrado**).

GUÉVEL, M.H.; MENZIES, J. G.; BELANGER, R.R. Effect of root and foliar applications of soluble silicon on powdery mildew control and growth of wheat plants. **European Journal of plant pathology**, Dordrecht, v. 119, p.429-436, 2007.

GODOY, L. J. G. de; NOMURA, E. S; MORAES, W da S. Nutrição da bananeira.**Informações Agrônomicas N° 116** – Dezembro/2006.

HAMMERSCHIDT, R. Silicon and plant defense: the evidence continues to mount. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, St Paul, v. 66, n.4, p. 117-118, 2005.

HAMMOND-KOSACK, K.; PARKER, J. Deciphering plant–pathogen communication: fresh perspectives for molecular resistance breeding. **Current Opinion in Bioechnology**, v. 14, n. 2, p. 177-193, 2003.

HEATH, M.C.; Reactions of nosuscepts to fungal pathogens. **Annual review of Phytophatology**, Palo Alto, v. 18, 211-236, 1980.

HEATH, M.C.; STUMPF, M.A. Ultrastructural observations of penetration sites of the cowpea rust fungus in untreated and silicon depleted French bean cells. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v.29, n.1, p.27-39, 1986.

HENRIET C, DRAYE X, OPPITZ I, SWENNEN R, DELVAUX B (2006) Effects, distribution, and uptake of silicon in banana (*Musa* spp.) under controlled conditions. *Plant Soil* 287:359–374

JONES, L. H. P.; HANDRECK, K. A. Silica in soils, plants and animals. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 19, p. 107-147, 1967.

KAUSS, H.; SEEHAUS, K.; FRANKE, R.; GIBERT, S.; DIETRICH, R.A.; KRÖGER, N. silica deposition by a strongly cationic proline-rich protein from systemically resistant cucumber plants. **Plant Journal**, Oxford, v.33,p. 87-95, 2003.

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S. Silicato de cálcio e magnésio na agricultura. Uberlândia:UFU/ICIAG, 2004a. (**Boletim técnico, 1**).

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; NOLLA, A. Correção da acidez do solo com a silicatagem. **Boletim Técnico nº 02**. MG., 1 ed., p. 13-15, 2004b.

KORNDÖRFER, P. H.; SILVA, G. C. DA.; TEIXEIRA, I. R.; SILVA, A. G. DA.; FREITAS, R. S. DE. Efeito da adubação silicatada sobre gramíneas forrageiras e características químicas do solo. **Pesq. Agropec. Trop.**, Goiânia, v. 40, n. 2, p. 119-125, abr./jun. 2010

LEITE, P. C. **Interação silício-fósforo em Latossolo Roxo cultivado com sorgo em casa de vegetação**. Viçosa: UFV. Imprensa Universitária, 1997. p.87. (Tese - Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas).

LIMA, L. M. de ; POZZA, E. A.; POZZA, A. A.; POZZA, A. FONSECA, T. A. DE P. S.; CARVALHO, J. G. de C. Quantificação da ferrugem asiática e aspectos nutricionais de soja suprida com silício em solução nutritiva. **Summa Phytopathologica**, v.36, n.1, p.51-56, 2010.

LIANG, Y. C.; SUN, W. C.; SI, J.; ROMHELD, V. Effects of foliar and root-applied silicon on the enhancement of induced resistance to powdery mildew in *Cucumis sativus*. **Plant Pathology**, Oxford, v.54, n.5, p. 678-685, 2005.

LOPES, F. C. de A. Efeito de fontes de silício no controle de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* em tomateiro (*lycopersicon esculentum* mill.). Universidade Federal de Lavras. 2006 p.78. (**Dissertação de mestrado**).

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Piracicaba: **POTAFÓS**, 1989. 201p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. New York: Academic Press, 1995. 887p.

MCKINNEY, H. H. 1923. Influencia of soil temperature and moisture on infection of wheat seedlings by *Helminthosporium sativum*. Journal of agricultural research, Washington, USA, v.26, 195-218, 1923. SAS INSTITUTE INC. SAS/STAT User's Guide. v. 8.0. Vols. I, II and III. Cary NC: **SAS Institute**, Inc., 2000

MENZIES, J.G.; EHRET, D.L.; GLASS, A.D.M.; SAMUELS, A.L. The influence of silicon on cytological interactions between *Sphaerotheca fuliginea* and *Cucumis sativus*. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v.39, p.403-414, 1991.

MOHAMED, A.A., MAK, C., LIEW, K.W. & HO, Y.W. Early evaluation of banana plants at nursery stage for Fusarium wilt tolerance. In Banana Fusarium Wilt Management: towards Sustainable Cultivation, Genting Highlands Resort, Malaysia, 18-20 October, 1999. Eds A B Molina, N K Masdek and K W Liew. pp 174-185, 1999.

MORAES, W. S. Nutrição mineral e sanidade na cultura da banana. In: GODOY, L. J. G.; NOMURA, E. S.; MORAES, W. S. **Nutrição e adubação da cultura da banana**. p.15-17, 2006. (Informações agrônômicas, 116).

POZZA, A. A. A.; POZZA, E.A.; BOTELHO, D.M.S. O silício no controle de doenças de plantas. **Revisão anual de patologia de plantas**, Passo Fundo, v. 12, p. 373- 402, 2004.

PRADO, R. M. et al. Avaliação da escória de siderurgia e de calcários como corretivos da acidez do solo no cultivo da alface. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 37, n. 4, p. 539-546, 2002. PRADO, R. de M. & NATALE, W. Aplicação do silicato de cálcio em Argissolo Vermelho no desenvolvimento de mudas de maracujazeiro. **Acta Scientiarum. Agronomy** .Maringá, v. 26, no. 4, p. 387-393, 2004

PULZ, A. L.; CRUSCIOL, C. A. C.; LEMOS, L. B.; SORATTO, R. P. Influência de silicato e calcário na nutrição, produtividade e qualidade da batata sob deficiência hídrica. **R. Bras. Ci. Solo**, 32:1651-1659, 2008

RAMOS, L.A.; KORNDÖRFER, G.H.; QUEIROZ, A. A. avaliação de fontes de silício em plantas de arroz do ecossistema de várzea. **Biosci. J.**, Uberlândia, v.25, n 2,p.10-16, mar./Apr.2009.

RIBEIRO L.R.; AMORIM, E.P.; CORDEIRO, Z. M.; SILVA, S.O.; DITA, M.A. Discrimination of Banana Genotypes for Fusarium Wilt Resistance in Greenhouse. **Promusa**. 2009.

RODRIGUES, F. DE A. MCNALLY, DJ.; DATNOFF, L.E.; JONES, J.B.; LABBE, C.; BENHAMOU, N.; MENZIES, J.G. Silicon enhances the accumulation of diterpenoid phytoalexins in Rice: a potencial mechanism for blast resistance. **Phytopathology**, St. Paul, v. 94, n.2, p. 177-1983, 2004.

RODRIGUES, F. de A. **Relatório confidencial**: Uso do AgroSilício no Controle do Mal-do-Panamá (*Fusarium oxysporum* f.sp *cubense*) em bananeira. 2007. 30p.<http://www.todafruta.com.br/arquivos/1846.pdf>.

SAS INSTITUTE. **The SAS-system for windows: release 9.1 (software)**. Cary:Statistical Analysis System Institute, 2003.

SHANER, G.; FINNEY, R.E. The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow-mildewing resistance in knox wheat. **Phytopathology**, St.Paul, v.67, n.8, p.1051-1056, 1977.

SILVA, S. DE O. E.; FLORES J. C.; LIMA NETO, F. P. avaliação de cultivares e híbridos de bananeira em quatro ciclos de produção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, V.37, n.11, p. 1567-1574, 2002.

SNYDER, G.H.; MATICHENKOV, V.V.; DANTNOFF, L.E Silicon. In: BARKER, A.V.; PILBEAN, D. J. (Ed.). **Handbook of plant nutrition**. Boca raton: CRC Press, 2007. p. 551-566.

SOUZA, E. A, de; MORAES, J. C. de; AMARAL, J. L. do; LIBERATO, R. D.; BONELLI, E. A.; LIMA, L. R. Efeito da aplicação de silicato de cálcio em *Brachiaria brizantha* cv.marandu sobre a população de ninfas do percevejo castanhodas raízes *scaptocoris carvalhoi* becker, 1967, características químicas do solo, planta e produção de matéria seca. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 33, n. 6, p. 1518-1526, nov./dez., 2009

SOUZA JÚNIOR, S. F. DE ; ANDRADE, A. L. DE ; ALMEIDA, P. S. G.; MARCÍLIO, H. C.; FOLMAN, R.; BEZERRA, F. F.; VILALBA, R.; SCHERER, S. Acúmulo de silício em folhas de bananeira (*musa* sp.). In: **XX Congresso Brasileiro de Fruticultura 54th Annual Meeting of the Interamerican Society for Tropical Horticulture** Vitória/ES,2008.



SYSTAT. Systat 12. Statistics I, II, III,IV. San Jose: **Systat Software**. 2007

ZANÃO JUNIOR, L. A. Resistência do arroz à mancha-parda mediada por silício e manganês. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa. 2007. p.107. (**Dissertação de mestrado**).