

**FONTES E DOSES DE SILÍCIO NA
INTENSIDADE DA ANTRACNOSE DO
FEIJOEIRO**

SYLVIA RAQUEL GOMES MORAES

2004

58511

049962

SYLVIA RAQUEL GOMES MORAES

FONTES E DOSES DE SILÍCIO NA INTENSIDADE DA ANTRACNOSE DO FEIJOEIRO

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitopatologia, área de concentração Fitopatologia, para a obtenção do título de "Mestre".

[Redacted area]

Orientador

Prof. Dr. Edson Ampélio Pozza

LAVRAS
MINAS GERAIS BRASIL

[Redacted area]
UFLA
N.º CLAS. 1233/3091
REGISTRO 58511
DATA 11.01.1985

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Moraes, Sylvia Raquel Gomes

Fontes e doses de silício na intensidade da antracnose do feijoeiro /
Sylvia Raquel Gomes Moraes. -- Lavras : UFLA, 2004.
89 p. : il.

Orientador: Edson Ampélio Pozza.
Dissertação (Mestrado) – UFLA.
Bibliografia.

1. Feijão. 2. Doença fungica. 3. Antracnose. 4. Silício. I. Universidade
Federal de Lavras. II. Título.

CDD-635.65294

SYLVIA RAQUEL GOMES MORAES

**FONTES E DOSES DE SILÍCIO NA INTENSIDADE DA ANTRACNOSE
DO FELJOEIRO**

**Dissertação apresentada à Universidade Federal de
Lavras como parte das exigências do Programa de
Pós-graduação em Agronomia/Fitopatologia, área
de concentração Fitopatologia, para a obtenção do
título de "Mestre".**

APROVADA em 13 de agosto de 2004

Profa. Dra. Janice Guedes de Carvalho

UFLA/DSC

Prof. Dr. Eduardo Alves

UFLA/DFP



**Prof. Dr. Edson Ampélio Pozza
(Orientador)**

**LAVRAS
MINAS GERAIS-BRASIL**

2004

Aos meus pais Lúcia e José Osório,

minha fonte de amor, confiança e humildade

As minhas irmãs Silmara e Sandra,

pelo amor que nos une

Ao Bruno,

pelo carinho, incentivo e apoio nos momentos difíceis

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Deus, por ter me permitido alcançar mais uma meta.

À Universidade Federal de Lavras, pela oportunidade de realização do curso.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro.

Ao professor Edson Ampélio Pozza, pela valiosa orientação, confiança e incentivo na realização do presente trabalho.

Ao professor Mário Lúcio Vilela de Rezende e seus ex-orientados, Jane Perez e Gutemberg Barone, pela amizade e incentivo nos primeiros trabalhos científicos..

Ao professor Igo Fernando Lepsch, pela amizade, pela paciência e pelas sugestões apresentadas.

Ao professor Eduardo Alves, pela amizade e ensinamentos transmitidos.

À Adélia Aziz Alexandre Pozza, pela valiosa ajuda na redação do trabalho.

Aos professores das disciplinas cursadas durante minha formação acadêmica, pelos conhecimentos transmitidos e pelos exemplos de profissionais comprometidos com a pesquisa e educação.

Aos funcionários do Departamento de Fitopatologia e do Departamento de Solos, em especial a Rute, Eloísa e Renata.

Aos colegas do Departamento de Fitopatologia, Daniel, Pedro, Igor, Elisandra, Deila, Jadir, Fred, Fábio, Josimar, Dejânia, Val, Enia, Júlio, Alessandra, Nilvanira, Juliana, Patrícia, Carol e Cassinha.

Aos estagiários Paulo e Alex, pela ajuda na condução dos experimentos.

As amigas Karina e Anastácia, pela agradável convivência e companheirismo.

Aos meus sobrinhos, Talyta, Bruno, Tayrine, Ana Carolina e Beatriz, por cada sorriso de alegria.

Muito Obrigada!

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
CAPITULO 1: Fontes e doses de silício na intensidade da antracnose do feijoeiro.....	1
1 Introdução geral	2
2 Referencial teórico	5
2.1 A antracnose do feijoeiro	5
2.2 O silício no solo	6
2.3 O silício e a planta	7
2.4 O silício no controle de doenças	8
2.5 Modo de ação do silício	10
2.6 O cobre	13
3 Referências bibliográficas	15
CAPITULO 2: Interação do silício e do cobre na intensidade da antracnose do feijoeiro	21
1 Resumo	22
2 Abstract	23
3 Introdução	24
4 Material e métodos	26
4.1 Implantação do experimento	26
4.2 Obtenção e preparo do inóculo de <i>Colletotrichum lindemuthianum</i>	28
4.3 Avaliação da intensidade da antracnose	28
4.4 Determinação do teor de lignina nas plantas	29
4.5 Matéria seca e análise nutricional das plantas	30
4.6 Espodograma	30
4.7 Análise estatística	31
5 Resultados e discussão	32
5.1 Avaliação da intensidade da antracnose	32
5.1.1 Incidência	32
5.1.2 Severidade	33
5.2 Índice de área foliar (LAI) e duração da área foliar sadia (HAD)	35
5.3 Matéria seca	35
5.4 Lignina	36
5.5 Teores de nutrientes na parte aérea	38
5.5.1 Nitrogênio, fósforo, boro, cobre, ferro e manganês.....	38
5.5.2 Potássio, cálcio, enxofre, magnésio e zinco	39
5.6 Silício	46
5.7 Temperatura e umidade relativa do ar	48
6 Conclusões	50
7 Referências bibliográficas	51

CAPÍTULO 3: Efeito do silício na redução da intensidade da antracnose do feijoeiro submetido a diferentes fontes e concentrações de inóculo	55
1 Resumo	56
2 Abstract	57
3 Introdução	58
4 Material e métodos	60
4.1 Instalação dos experimentos	60
4.2 Experimento 1 e 2: Diferentes concentrações de inóculo de <i>C. lindemuthianum</i> em plantas suplementadas com silicato de cálcio e o efeito de fontes de silício na intensidade da antracnose do feijoeiro	61
4.2.1 Delineamento experimental e análise estatística	61
4.2.1.1 Experimento 1	61
4.2.1.2 Experimento 2	62
4.2.2 Preparo do inóculo e inoculação	62
4.2.3 Avaliação da doença e de caracteres agronômicos	63
4.3 Experimento 3: Efeito do silício na resistência de folhas de feijoeiro a <i>C. lindemuthianum</i>	64
4.3.1 Montagem, inoculação e coleta	64
4.3.2 Preparo das amostras para observação em microscópio eletrônico de varredura (MEV)	65
4.3.3 Preparo das amostras para microanálise de raio-X	65
5 Resultados e discussão.....	67
5.1 Diferentes concentrações de inóculo de <i>Colletotrichum lindemuthianum</i> em plantas suplementadas com silicato de cálcio	67
5.2 Efeito de fontes de silício na intensidade da antracnose do feijoeiro	70
5.3 Temperatura e umidade relativa do ar	73
5.4 Efeito do silício na resistência de folhas de feijoeiro a <i>C. lindemuthianum</i> .	74
6 Conclusões	77
7 Considerações finais	78
8Referências bibliográficas	79
ANEXOS	82

RESUMO

MORAES, Sylvia Raquel Gomes. Fontes e doses de silício na intensidade da antracnose do feijoeiro. UFLA, 2004. 89p. (Dissertação – Mestrado em Fitopatologia)¹.

A antracnose é uma das doenças de maior importância na cultura do feijoeiro, podendo resultar em perdas de até 100%. A utilização de fertilização silicatada demonstrou efeito promissor na redução da intensidade da doença em várias culturas, apesar do silício não ser considerado elemento essencial. Portanto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito do silício na redução da área abaixo da curva de progresso da antracnose do feijoeiro, cultivar 'Carioca', bem como os mecanismos de resistência associados ao silício. Foram realizados experimentos em casa de vegetação na Universidade Federal de Lavras, onde foram avaliadas doses, fontes e a associação do silício com sulfato de cobre. A proteção conferida pelo silício contra *Colletotrichum lindemuthianum* foi significativamente maior em relação à testemunha. Observou-se decréscimo linear da área abaixo da curva de progresso da incidência (AACPI) e da área abaixo da curva de progresso da severidade (AACPS) com o aumento das doses de silicato de cálcio e doses de sulfato de cobre, respectivamente. No entanto, a interação desses fatores não foi significativa. Pode-se observar redução de 62,4% na área abaixo da curva de progresso de lesões em plantas tratadas com silicato de sódio via foliar em relação à testemunha. Em plantas adubadas com silicato de cálcio em relação àquelas adubadas com óxido de cálcio observou-se que a redução da doença não é afetada pelo teor de cálcio presente no solo e sim pelo silício. Em estudos com diferentes concentrações de inóculo de *C. lindemuthianum*, mantendo a dose 1,89 g de SiO₂ por quilo de substrato, observou-se o efeito linear positivo da AACPI e AACPS com o aumento das concentrações de inóculo, levando a conclusão de que a redução do inóculo inicial tem influência direta na intensidade da doença.

¹Comitê de Orientação: Dr. Edson Ampélio Pozza (Orientador), Dr. Mário Lúcio Vilela de Resende.

ABSTRACT

MORAES, Sylvia Raquel Gomes. Sources and doses of silicon related to anthracnose intensity on beans. UFLA, 2004. 89p. (Dissertation – Master Degree in Phytopathology)¹.

Anthracnose is one of the most important diseases of beans, resulting in losses up to 100%. The use of silicon fertilization demonstrated to have a promising effect on the reduction of the disease intensity in many crops, although silicon is not considered an essential element. The present work had as objective to evaluate silicon effect on the reduction of the area under disease progress curve (AUDPC) on bean cultivar “Carioca”, as well as the activated mechanisms of defense. The experiments were carried out in greenhouse conditions at the Federal University of Lavras, where doses, sources and the association of silicon with copper sulfate were evaluated. The protection conferred by silicon against *Colletotrichum lindemuthianum* was significantly higher when compared to the control treatment. A linear decrease was observed at the area under disease progress curve of incidence (AUDPCI) and area under disease progress curve of severity (AUDPCS) with an increase of calcium silicate doses and copper sulfate doses, respectively. In the other hand, the interaction of those factors was not significant. A reduction of 62,4% could be observed in the area below the wound progress curve in plants treated with sodium silicate by leaf application in relation to the control treatment. On plants fertilized with calcium oxide, it was observed that the reduction of the disease was not affected by the content of calcium present in the soil but by silicon. In studies with different concentrations of *Colletotrichum lindemuthianum* inoculum, keeping the doses of 1,89g of SiO₂ per kilo of substract, the positive linear effect of the AUDPCS and AUDPCS was observed with the increase of inoculum concentrations concluding that the reduction of the initial inoculum has direct influence on the disease intensity.

¹Adviser Committee: Dr. Edson Ampélio Pozza (Advisor), Dr. Mário Lúcio Vilela de Resende (Co-advisor).

CAPÍTULO I

FONTES E DOSES DE SILÍCIO NA INTENSIDADE DA ANTRACNOSE DO FEIJOEIRO

1 INTRODUÇÃO GERAL

O feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é cultivado em todo o Brasil e constitui a principal fonte protéica da população. O consumo per capita dessa importante leguminosa é de 15,8 kg/ha/ano, porém acredita-se que nos próximos anos haverá um aumento devido à ênfase na reeducação alimentar, maior conscientização sobre a necessidade da ingestão de proteína vegetal e a expansão dos setores de alimentação fora de casa. A produção nacional é de 3.178.200 toneladas, em 4.291.300 ha, com produtividade média de 740 kg/ha. Entre os principais estados produtores, destaca-se Minas Gerais, com 430.700 ha de área cultivada e produção de 507.300 t (Agrianual, 2004). Porém, vários fatores são responsáveis por reduzir a produtividade dessa leguminosa, como o manejo inadequado da lavoura, o desbalanço nutricional e os problemas fitossanitários. Dentre estes destacam-se as doenças, sendo a antracnose a de principal importância, principalmente no Sul de Minas Gerais, onde são freqüentes as condições climáticas favoráveis à doença, ou seja, elevada umidade relativa associada a temperaturas amenas (15-22°C). Quanto mais precoce o início da doença, maiores serão as perdas, podendo chegar a 100% (Chaves, 1980). A qualidade dos grãos e das vagens também pode ser bastante depreciada pela doença (Bianchini et al., 1997).

As principais alternativas no manejo da antracnose, para minimizar as perdas, são o uso de variedades resistentes ou de defensivos. Entretanto, a utilização de resistência genética, prioritária nos programas de melhoramento, é de difícil implantação, devido à grande variabilidade de *Colletotrichum lindemuthianum*, com mais de 30 raças identificadas na América Latina. No estado de Minas Gerais, as cultivares de feijão extensivamente plantadas, como Carioca, Pérola, Aporé e Rudá, são suscetíveis para a maioria das raças

testadas por Lanza et al. (1997). A aplicação de fungicidas é uma das principais táticas de controle para reduzir perdas, no entanto, seu uso intensivo e indiscriminado causa diversos problemas ao meio ambiente, como a contaminação de água, de solo, de animais e de alimentos, intoxicação de agricultores, eliminação de importantes microrganismos e, além disso, novas raças ou isolados resistentes a *C. lindemuthianum* podem ser selecionados.

Em consequência, outras estratégias de controle de doenças são necessárias. O emprego da nutrição mineral é um método alternativo no manejo de doenças, por ser um fator ambiental passível de ser manipulado com relativa facilidade e utilização como complemento (Marschner, 1995). Entre os elementos estudados destaca-se o silício (Si), apesar de não ser considerado parte do grupo de elementos essenciais ou funcionais para o crescimento das plantas, pois suas características não se enquadram nos conceitos de essencialidade estabelecida por Arnon & Stout (1939). No entanto, alguns autores como Malavolta et al. (1997) já consideram o silício como essencial, por já ter satisfeito o critério direto de essencialidade. O elemento é importante na ativação de genes responsáveis por produzir enzimas relacionadas com os mecanismos de defesa da planta, além do aumento na taxa fotossintética, melhoria da arquitetura foliar e de outros processos no metabolismo vegetal, resultando em maior qualidade dos alimentos e no aumento da produção (Lima Filho et al., 1999).

Numerosos casos evidenciam o efeito do Si na redução da intensidade de doenças, como, por exemplo, a queima das bainhas e a brusone em arroz (Rodrigues et al., 2001; Berne & Prabhu, 2003), o oídio e a podridão do colo em pepino (Menzies et al., 1991; Chérif et al., 1994; Schuenger & Hammer, 2003), a queima das folhas em cenoura (Ramos et al., 2003) e a requeima em batata (Carneiro et al., 2003). Entretanto, pesquisas recentes demonstraram a

maior eficiência do silício no controle de doenças quando combinado com fungicida (Datnoff e Snyder, 1994; Brecht et al., 2004).

Outro elemento mineral de destaque no controle de doenças, além de ser um fungicida, é o cobre (Cu). Este participa como ativador enzimático de diversas enzimas, em várias rotas metabólicas (Marschner, 1995), desempenhando funções estruturais na planta, como a lignificação (Turvey et al., 1992) e a abertura e fechamento de estômatos (Graham, 1976). Além do mais, inúmeros fungicidas à base de cobre são utilizados no controle de doenças de plantas desde o século XIX. Em 1807, Coube e Prévost verificaram o efeito do sulfato de cobre sobre a germinação de esporos de carvão em cereais. Dessa forma, dependendo da dose, o elemento cobre pode ser utilizado como fungicida e ou para suprir as necessidades minerais da planta.

Portanto, diante do exposto, os objetivos deste trabalho foram avaliar o efeito de silicatos e sulfato de cobre na redução da intensidade da antracnose do feijoeiro e verificar os mecanismos de resistência associados ao silício.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A antracnose do feijoeiro

A antracnose do feijoeiro tem como agente etiológico o fungo *Colletotrichum lindemuthianum* (Sacc. et Magn.) Scrib. Este fungo é mitosporico, pertencente à classe Coelomycetes, ordem Melanconiales, o qual produz conídios em acérvulos (Alexopoulos et al., 1996). De distribuição ampla, já foi constatado em vários países da Europa, África, Ásia, Austrália e América. No Brasil, ocorre nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Minas Gerais, Espírito Santo, Bahia, Pernambuco, Alagoas, Paraíba e Sergipe (Rava & Sartorato, 1994). Essa abrangência é devido à sobrevivência do patógeno de uma estação para outra em restos culturais e sementes, sendo essas o principal veículo de disseminação a longas distâncias ou entre gerações do fungo (Vieira, 1967; Pri et al., 1999).

A antracnose afeta toda a parte aérea do feijoeiro em todos os estádios de desenvolvimento. Os sintomas são lesões necróticas, de cor marrom-escuro nas nervuras da face inferior da folha, podendo ocorrer na face superior. Estas lesões dão origem a regiões cloróticas, tornando as folhas curvadas para baixo. Em altos níveis de severidade, as lesões estendem-se ao limbo foliar ao redor das áreas afetadas nas nervuras, resultando em necrose de parte do tecido foliar. Lesões produzidas no caule e nos pecíolos são alongadas, escuras e, às vezes, deprimidas. Nas vagens, são geralmente circulares e deprimidas, de cor marrom, com os bordos escuros e salientes, circundados por um anel pardo-avermelhado, podendo apresentar centro mais claro ou rosado, devido à esporulação do fungo. As lesões podem coalescer e cobrir parcialmente as vagens. Sementes infectadas são geralmente descoloridas e podem aparecer lesões levemente deprimidas e de cor marrom (Bianchini et al., 1997).

2.2 O silício no solo

O Si é o segundo elemento mais abundante na crosta terrestre, 27% em massa, superado apenas pelo oxigênio. Apesar dessa abundância esse elemento nunca aparece na forma livre, estando sempre combinado com oxigênio e outros elementos, principalmente na forma de sílica e silicatos. A maior parte dessas sílicas e silicatos do solo são insolúveis ou de solubilidade muito baixa e, portanto, em forma não disponível para as plantas. Quanto ao Si solúvel, os três principais grupos de compostos ricos em Si presentes no solo são os compostos organo-silícicos, o ácido monossilícico e o ácido polissilícico (Camargo, 2003).

Na solução do solo, as principais fontes de ácido monossilícico presentes são a 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. Os principais drenos são a precipitação em solução, formação de minerais, polimerização do ácido monossilícico, lixiviação, adsorção em óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio e a adsorção pelas plantas (Lima Filho, 1999a).

As fontes de silício geralmente utilizadas na agricultura são as escórias de siderurgia, wollastonita, subprodutos (escórias) da produção de P elementar em fornos elétricos, metassilicatos de cálcio, sódio e potássio, cimento, termofosfato, silicato de magnésio, silicato de cálcio, entre outras (Pereira & Korndorfer, 2003). As escórias de siderurgia são formadas, principalmente, de silicato de cálcio e magnésio contendo impurezas como P, S, Fe, Zn, Cu, B, Mo, Co, porém, são as fontes mais abundantes e de baixo custo. A Wollastonita (CaSiO_3) é um silicato de cálcio livre de contaminantes como o ferro e o fósforo, sendo muito empregado em experimentos.

2.3 O silício e a planta

O silício é absorvido pelas plantas na forma de ácido monossilício (H_4SiO_4) (Jones e Handreck, 1967). A absorção de Si da solução do solo se dá de forma preferencialmente passiva, com o elemento acompanhando o fluxo de massa da água que penetra pelas raízes das plantas e, após a perda de água por transpiração, o Si fica retido nos tecidos das plantas (Korndorfer & Nolla, 2003).

A capacidade de absorver Si é diferente entre plantas e até mesmo em plantas da mesma espécie. De acordo com Miyake e Takahashi (1985) as plantas são classificadas em três grupos: a) acumuladoras, com teor elevado de Si, sendo a absorção ligada à respiração aeróbica; arroz e a cana-de-açúcar são exemplos desse grupo; b) não acumuladoras, com baixo teor de Si, mesmo com altos níveis no meio, indicando um mecanismo de exclusão; exemplo típico é o tomateiro; c) intermediárias, com quantidade considerável de Si, quando a concentração no meio é alta. As cucurbitáceas e a soja enquadram-se neste tipo, pois translocam o Si livremente das raízes para a parte aérea.

Na cultura da soja, a cultivar Savana apresentou maior teor de silício acumulado na parte aérea (folha e haste), quando comparada às cultivares UFV-15, Cristalina e FT-Estrela (Juliatti et al., 2003). A concentração de Si também pode variar entre as diferentes partes da planta e ao longo das folhas como foi observado em plantas de trigo, cevada e arroz, as quais apresentaram maior concentração de Si nas folhas mais altas (Jones e Handreck, 1967).

Contudo, o silício torna os tecidos foliares mais rígidos, conseqüentemente mais resistentes às pragas e à maior intensidade da doença, ao acamamento e à perda de água. Plantas de pepino suplementadas com 100 mg/L SiO_2 ao meio nutritivo apresentaram aumento na rigidez das folhas mantendo-se mais horizontais, além de atraso na senescência, maior peso fresco e seco por unidade de área e o aumento no teor de clorofila (Adatia e Besford, 1986). Em estudo sobre o efeito de doses de silicato de potássio (0, 4,25, 8,5, 12,75 e 17

mM Si) em plantas de morango, verificaram-se mudanças no metabolismo, proporcionando maior desenvolvimento das plantas. Os autores observaram o aumento da clorofila e do conteúdo de ácidos orgânicos, porém, esse aumento diminuiu os carboidratos solúveis (Wang e Galletta, 1998).

2.4 O silício no controle de doenças

A associação entre o silício e a redução de doenças em monocotiledôneas é conhecida há bastante tempo, porém, pesquisas realizadas com dicotiledôneas demonstraram também o efeito significativo na redução da intensidade da doença.

Em trabalhos realizados com plantas de arroz pode-se observar a eficiência da fertilização silicatada na redução das principais doenças, como brusone, mancha parda e queima-das-bainhas. Datnoff et al. (1992), testando silicato de cálcio com diferentes tamanhos de partículas, verificaram menor severidade da mancha angular e brusone em até 80% e 50%, respectivamente. Estudando diferentes fontes de silício (rocha serpentinita, silicato de alto forno e wollastonita), os mesmos autores observaram que o silicato de alto forno e a wollastonita na dosagem de 4 Mg.ha⁻¹, sem tratamento de semente, apresentaram redução na severidade da brusone nas folhas de arroz no primeiro e segundo ano do experimento, em 29,4% e 19% para silicato de alto forno e 50,7% e 23,9% para wollastonita, respectivamente (Bémi e Prabhu, 2003). Também na cultura do arroz, seis cultivares crescidas em substrato com wollastonita apresentaram redução na área abaixo da curva do comprimento relativo de lesões totais (AACRILT), altura relativa de lesões (ARL), número total de lesões (NTL) e na severidade da queima-das-bainhas causada por *Rhizoctonia solani* (Rodrigues, 2000).

Entre as dicotiledôneas, as cucurbitáceas foram as mais estudadas, principalmente em relação ao oídio. Plantas de pepino, cultivadas em solução

nutritiva, apresentaram redução na intensidade de duas doenças, cujos agentes etiológicos foram *Sphaerotheca fuliginea* e *Pythium ultimum* (Menzies et al., 1991; Chérif et al., 1992). No caso de *S. fuliginea*, o silicato de sódio (Na_2SiO_3), nas concentrações estudadas (0,5, 0,95, 1,4, 1,85, 2,3, 3,2 e 4,1 mM de Si), proporcionou menor número de colônias por folha, menor área das colônias por folhas e menor porcentagem de germinação dos conídios com o aumento das doses. O silicato de potássio reduziu a mortalidade, podridão de raiz e perdas na produção atribuída ao *P. ultimum*, porém não houve diferença entre as duas doses estudadas (1,7 e 3,4 mM Si).

Em outras cucurbitáceas como a abobrinha, abóbora e melão, observou-se menor número de colônias de oídio nas três espécies tratadas com 1,7 mM Si por meio de solução nutritiva e pulverizadas com 17 e 34 mM Si, comparada com o controle. Os autores, estudando a relação entre o número de colônias e o intervalo entre a aplicação foliar e a inoculação com *S. fuliginea* (336, 168, 96, 72, 48 e 24 horas), observaram a relação positiva linear, isto é, com o aumento do intervalo de tempo, ocorreu maior número de colônias por folha (Menzies et al., 1992). Em trabalho realizado em campo com abóbora, a aplicação de CaSiO_3 via solo proporcionou redução de 5% na incidência do oídio em relação às plantas tratadas com CaCO_3 , aumentando a produção em 60% no primeiro experimento (Heckman, et al. 2003).

Em plantas de soja, as quais são classificadas como intermediárias em relação a resposta ao silício, Lima (1998) observou o aumento da resistência da soja ao cancro da haste (*Diaporthe phaseolorum* f. sp. *meridionalis*) quando cultivada em solução nutritiva com 40 mg/L de Si, ocasionando diminuição da lesão em até 90%. Juliatti et al. (2003) também relataram menor intensidade do cancro da haste com aplicações de silicato de cálcio via solo.

Resultados promissores foram observados em plantas classificadas como não acumuladoras avaliando o silício na intensidade da doença. Em

estudos com videira verificou-se o efeito não significativo da severidade do oídio (*Uncinula necator*) em plantas suplementadas com 1,7 mM de Si em solução nutritiva, porém, a pulverização com 17 mM Si proporcionou redução do número de colônias. Os autores observaram redução de 14% no primeiro experimento e 9% no segundo (Bower et al., 1992). Em mudas de café fertilizadas com silicato de cálcio e silicato de sódio via solo e inoculadas com *Cercospora coffeicola*, pôde-se observar a redução de 10,8% na área abaixo da curva de progresso do número de plantas doentes (AACPPD), com a maior dose de silício (1,26 g kg⁻¹ de substrato) utilizada (Santos, 2002). Pozza et al. (2004) estudando o efeito de 1 g de CaSiO₃ por quilo de substrato em três cultivares de café (Catuaí, Mundo Novo e Icatú), observaram redução de 63,2% na incidência e 43% na severidade na cultivar “Catuaí”, quando comparada à testemunha. As cultivares Catuaí e Mundo Novo apresentaram maior número médio de folhas doentes e lesões por planta quando comparada à “Icatú” devido à sua maior resistência à cercosporiose.

2.5 Modo de ação do silício

Ainda há controvérsia sobre o mecanismo pelo qual o Si influencia a resistência do hospedeiro contra o patógeno. Contudo, consideram-se duas diferentes hipóteses: a formação de barreira estrutural e a indução de resistência por barreira bioquímica.

A barreira estrutural fundamenta-se na forma em que o Si se acumula nos caminhos de infecção dos patógenos, sendo mais estudado em monocotiledôneas. Em arroz, observou-se a redução da severidade da queimada-bainhas causada por *Rhizoctonia solani*, em plantas crescidas em substrato com wollastonita. O autor atribuiu esse fato ao depósito de Si em torno do sítio de infecção, prevenindo a penetração do patógeno ou a expansão das lesões preestabelecidas (Rodrigues, 2000). Plantas de trigo tratadas com Si

apresentaram menor incidência da doença devido à restrição no crescimento das hifas de *Blumeria graminis* f. sp. *tritici* a algumas células epidérmicas devido à reação de defesa específica, incluindo a formação de papilas no local de penetração do apressório e a liberação de material fenólico. Na superfície de folhas não tratadas com silicato observou-se a formação do haustório em 90% das células observadas e em 10% das plantas tratadas com silício (Bélanger et al., 2003). Em estudos realizados no patossistema arroz - *Magnaporthe grisea*, pôde-se observar a resistência mecânica da célula epidérmica conferida pela polimerização do Si, impedindo a penetração do patógeno, porém, a redução no tamanho das lesões das folhas, crescimento e desenvolvimento do patógeno foi sistematicamente atribuída à resistência bioquímica (Rodrigues et al., 2003).

Em dicotiledôneas, com o uso de técnicas como microscopia de eletrônica de varredura acoplada à análise de raios-X e análise de imagem das folhas doentes, foi observado o acúmulo de Si na superfície de folhas de videira e de pepino pulverizadas com 17 mM Si, impedindo o crescimento das hifas de *Uncinula necator* e *Sphaerotheca fuliginea*, respectivamente. Entretanto, também pôde-se observar o movimento lateral do Si, através das folhas, para o local de penetração de *U. necator*, circundando o apressório (Bowen et al., 1992; Samuels et al.; 1991).

Segundo Samuels et al. (1991a), é necessário um suprimento contínuo de Si para manter a resistência de plantas. Pôde-se observar, em plantas de pepino suplementadas com 100 ppm SiO₂, transferidas para meio pobre em Si, resíduo de Si na base do tricoma, porém, não se manteve a silicificação do tecido foliar ao redor da hifa. Plantas sem Si transferidas para meio com alta concentração de Si apresentaram rápida silicificação do tecido foliar na base do tricoma e ao redor dos pontos de infecção, proporcionando redução na intensidade do oídio.

Por meio de microscopia eletrônica de varredura (MEV), plantas de café suplementadas com 1 g de silicato de cálcio (CaSiO_3) por kg de substrato, apresentaram cutícula mais espessa na superfície inferior da folha, principalmente devido à camada de cera epicuticular mais desenvolvida, cobrindo parcialmente os estômatos (Pozza et al., 2004).

A barreira bioquímica fundamenta-se em estimular a produção de substâncias químicas relacionadas com a defesa do hospedeiro, como foi observado em plantas de arroz e trigo inoculadas com *Magnaporthe grisea* e *Blumeria graminis*, respectivamente. As hifas, o haustório do fungo e as células próximas foram cercados por material amorfo. Esse material reagiu com azul de toluidina e também se mostrou osmiofílico, indicando a presença de material fenólico em plantas tratadas com Si (Rodrigues et al., 2003 e Bélanger et al., 2003).

No patossistema pepino - *S. fuliginea*, o Si aumentou a resistência devido ao aumento dos metabólitos específicos antifúngicos em plantas infectadas. Um desses metabólitos foi descrito como fitoalexina pertencente ao grupo flavanóide (Fawe et al., 1998). Quando se estudou o mesmo efeito no patossistema pepino - *Pythium ultimum*, foi observado o estímulo da atividade da quitinase e a ativação da peroxidase e da polifenoloxidase (PPO), dois dias após a inoculação em plantas suplementadas com silicato de potássio (Chérif et al., 1994).

Em plantas de café com cercosporiose, cultivadas em solo com silicato de cálcio, verificou-se o aumento do teor de lignina até a dose 0,52g de SiO_2 /kg de substrato, reduzindo após. Nas doses menores, o silício, possivelmente, foi translocado para as folhas e estimulou a síntese de enzimas precursoras da lignina e, com o aumento do silício no caule, houve redução na translocação de Si para a folha e a síntese de lignina reduziu (Santos, 2002).

2.6 O cobre

O cobre (Cu) é um elemento essencial para o crescimento das plantas, sendo absorvido na forma de Cu^{2+} ou de quelatos. Devido à sua alta afinidade por vários íons, pode ser rapidamente complexado por aminoácidos, fenóis e quelantes sintéticos (Graham, 1981).

Esse elemento é fundamental na ativação de diversas enzimas, em várias rotas metabólicas, inclusive naquelas ligadas à patogênese, tornando-se evidente a atuação dessas substâncias no processo de defesa da planta (Marschner, 1995), além de desempenhar função estrutural, como a lignificação (Turvey et al., 1992; Marschner, 1995).

Como micronutriente, o cobre é exigido em pequenas quantidades pelas culturas, no entanto, esse elemento é largamente utilizado como fungicida, principalmente na forma de sulfato de cobre, oxicloreto de cobre, óxido cuproso, hidróxido de cobre, calda bordalesa ou calda viçosa.

Em estudos com plantas de feijão inoculadas com *Phaeoisariopsis griseola* e tratadas com 500 L de calda Viçosa por ha, formulação original (2 g/L $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ + 6 g/L $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ + 5 g/L $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ + 1 g/L H_3BO_3 + 4 g/L KCl + CaO), e calda Viçosa modificada pela retirada de magnésio, zinco e boro, observou-se redução na severidade da mancha angular em plantas tratadas com calda Viçosa completa e modificada. De acordo com o seu autor, essa redução foi devido ao efeito fungicida do sulfato de cobre, uma vez que este sal não esteve ausente na formulação modificada (Ferreira, 1998).

As aplicações de oxicloreto de cobre (0.3%) em plantas de macieira apresentaram redução no inóculo de *Colletotrichum* spp. em gemas (65% a 84%) e ramos (85,6% a 93,7%), porém, não houve redução no progresso inicial da doença (Crusius et al., 2002). Em estudos realizados com onze fungicidas no controle de *Colletotrichum acutatum*, no campo, o sulfato de cobre apresentou

redução de 45% no número de flores doentes em relação à testemunha (Kososki et al. 2001).

No entanto, a redução do uso de fungicida vem sendo buscada devido ao elevado custo de produção e à preocupação com o meio ambiente. Dessa forma, em trabalhos realizados com monocotiledôneas, verificou-se a associação do silicato de cálcio e chlorotalonil na redução da severidade de *Magnaporthe grisea* em diferentes localidades. Os autores observaram, nos tratamentos com silício (1.000 kg Si/ha), fungicidas e a associação de silício mais fungicida, a redução da área abaixo da curva de progresso da doença em 7%, 65% e 68% no local A, 28%, 34% e 59% no local B e 41%, 55% e 68% no local C, respectivamente (Brecht et al., 2004). Em estudos realizados na Colômbia observou-se a redução da intensidade da brusone com silicato de cálcio e fungicida. As plantas de arroz suplementadas com silício e com a combinação de silício e fungicida reduziram a severidade da doença em 22% e 75%, respectivamente (Seebold et al., 2004). Também em plantas de arroz, observou-se diminuição de 50% na incidência da brusone em plantas tratadas com silício, não diferindo estatisticamente dos tratamentos com benomyl. No mesmo estudo, a aplicação de silício combinado com benomyl reduziu a incidência da brusone em 80% (Datnoff e Snyder, 1994).

Em estudos com plantas de abóbora, verificou-se maior redução da intensidade do oídio em plantas suplementadas com silicato de cálcio combinado com o uso de fungicidas (chlorotalonil + myclobutanil alternado com maneb + hidróxido de cobre), comparado com plantas tratadas somente com silício ou fungicida (Heckman et al., 2003).

3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADATIA, M. H. ; BESFORD, R. T. The effects of silicon on cucumber plants grown in recirculating nutrient solution. *Annals of Botany*, London , 58, p.343-351, 1986.

AGRIFANUAL 2004. *Anuário da Agricultura Brasileira*. São Paulo, outubro 2003. 496p.

ALEXOPOULOS, C. J.; MIMS, C. W. & BLACKWELL, M. *Introductory Mycology*. 4th ed. New York, John Wiley, 1996.

ARNON, D. I.; STOUT, P. R. The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to copper. *Plant Physiology*, Lancaster, v.14, p.371-375, Apr.1939.

BÉLANGER, R. R.; BENHAMOU, N.; MENZIES, J. G. Cytological evidence of an active role of silicon in wheat resistance to powdery mildew (*Blumeria graminis* f. sp. *tritici*), *Phytopathology*, St. Paul, v.93, n.4, p.402-412, April, 2003.

BERNI, R. F.; PRABHU, A. S. Eficiência relativa de fontes de silício no controle de brusone nas folhas em arroz. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.38, n.2, p. 195-201, 2003.

BEANCHINI, A.; MARINGONI, A. C.; CARNEIRO, S. M. T. P. G. *Doenças do feijoeiro*. In: KIMATI, H.; AMORIM, L.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L. E. A.; REZENDE, J. A. M. *Manual de Fitopatologia*, São Paulo: Agronômico Ceres, 3 ed., v.2, p.376-399, 1997.

BOWER, P.; MENZIES, J.; EHRET, D. Soluble silicon spray inhibit powdery mildew development on grape leaves. *Journal of the American Society for Horticultural Sciences*, Alexandria, v. 117, n.6, p.906 – 912, Nov. 1992.

BRECHT, M. O.; DATNOFF, L. E.; KUCHARSKY, T. A. NAGATA, R. T. Influence of silicon and chlorothalonil on the suppression of gray leaf spot and increase plant growth in St. Augustinegrass. *Plant Disease*, St. Paul, Abril v.88, n.4, p.338-344, 2004.

CAMARGO, M. S. de. Silício no solo: avaliações e interações. In: SIMPÓSIO SOBRE SILÍCIO NA AGRICULTURA, 2., 2003, Lavras. Anais... Lavras: UFLA, 2003. 1CD-ROM.

CARNEIRO, L. M.; JULIATTI, F. C.; OLIVEIRA, R. G.; KORNDORFER, G.; AMADO, D. F.; RAMOS, H. F. Uso da argila silicatada na redução da severidade de *Phytophthora infestans* em batateira. *Fitopatologia Brasileira*, 28 (suplemento), p.347-348, 2003.

CHAVES, G. Antracnose. In: SHWARTZ, H. F.; GALVEZ, G. E. (Ed). Bean production problems: disease, insect, soil and climatic of *Phaseolus vulgaris*. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1980. 424p.

CHÉRIF, M.; ASSELIN, A.; BÉLANGER, R. R. Defense responses induced by soluble silicon in cucumber roots infected by *Pythium* spp. *Phytopathology*, St. Paul, Mar., v.84, n.3, p.236-242, 1994.

CHÉRIF, M.; BÉLANGER, R. R. Use of potassium silicate amendment in recirculating nutrient solutions to suppress *Pythium ultimum* on long english cucumber. *Plant Disease*, St. Paul, oct., v.76, n.10, p.1008-1011, 1992.

CRUSIUS, L. U.; FORCELINI, C. A.; SANHUEZA, R. M. V.; FERNANDES, J. M. C. Epidemiology of apple leaf spot. *Fitopatologia Brasileira*, v.27, n.1, p.65-70, 2002.

DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; DEREN, C. W. Influence of silicon fertilizer grades on blast and brown spot development and on rice yields. *Plant Disease*, St. Paul, oct., v.76, n.10, p.1011-1013, 1992.

DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H. Comparison of silicon and benomyl alone and in combination for reducing blast incidence. *Biology and Cultural Tests*, 9:113, 1994.

FAWE, A.; ABOU-ZAID, M.; MENZIES, J. G.; BÉLANGER, R. R. Silicon-mediated accumulation of flavonoid phytoalexins in cucumber. *Phytopathology*, v. 88, n.5, p. 396-401, 1998.

FERREIRA, G. S.; Efeito da calda viçosa na nutrição do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) e no controle da mancha-angular (*Phaeoisariopsis griseola* (Sacc.) Ferraris). 1998. 49p. Dissertação – (Mestrado em Fitotecnia). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

- GRAHAN, R. D. A nomadous water relations in copper deficient wheat plant. *Australian Journal of Plant Physiology*, Melbourne, v.3, p.229-236, 1976.
- GRAHAM, R. D. Absorption of copper by plants roots. In: LONEGARAM, J. F.; ROBSON, A. D.; GRAHAM, R. D. *Copper in soil and plant*. London: Academic. p.141-163, 1981.
- HECKMAN, J. R.; JOHNSTON, S.; COWGILL, W. Pumpkin yield and disease response to amending soil with silicon. *HortScience*, Alexandria, july, v. 38, n.4, p.552-554, 2003.
- JONES, L. H. P.; HANDRECK, K. A. Silica in soils, plants, and animals. *Advances in Agronomy*, New York, v.19, n.1, p.107-149, 1967.
- JULIATTI, F. C.; KORNDORFER, G. H. Uso do silício no manejo integrado de doenças de plantas: experiência brasileira. *Fitopatologia Brasileira*, v.28(Suplemento), p. 45-52, 2003.
- KORNDORFER, G. H.; NOLLA, A. Efeito do silício no crescimento e desenvolvimento de plantas. In: SIMPÓSIO SOBRE SILÍCIO NA AGRICULTURA, 2., 2003, Lavras. *Anais... Lavras: UFLA, 2003. 1CD-ROM.*
- KOSOSKI, R. M.; FURLANETTO, C.; TOMITA, C. K.; CAFÉ FILHO, A. C. Efeito de fungicidas em *Colletotrichum acutatum* e controle da antracnose do morangueiro. *Fitopatologia Brasileira*, v.26, n.3, p.662-666, 2001.
- LANZA, M. A.; PAULA JÚNIOR, T. J.; VINHADELLI, W. S.; MORANDI, M. A. B.; BARROS, E. G.; MOREIRA, M. A. Resistência à antracnose em cultivares de feijoeiro comum recomendadas para Minas Gerais. *Fitopatologia Brasileira*, n. 22(4), p. 560-562, dez. 1997.
- LIMA FILHO, O. F. de; LIMA, M. T. G. de; TSAI, S. M. O silício na agricultura. *Informações agronômicas*, v.87, p. 1-7, set. 1999a.
- LIMA FILHO, O. F. de; LIMA, M. T. G. de; TSAI, S. M. Supressão de patógenos de solos induzida por agentes abióticos: o caso do silício. *Informações agronômicas*, v.87, p. 8-12, set. 1999.
- LIMA, M. T. G. de. Interrelação Cancro da haste (*Diaporthe phaseolorum* f. sp. *meridionalis*), nodulação (*Bradyrhizobium japonicum*) e silício em soja [*Glycine Max* (L.) Merrill. 1998. 58p. Tese – (Doutorado em Energia Nuclear na Agricultura). Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Piracicaba.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2 ed. ver. e atual. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.

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

MENZIES, J. G.; EHRET, D. L.; GLASS, A. D. M.; HELMER, T.; KOCH, C. SEYWERT, F. Effects of soluble silicon on the parasitic fitness of *Sphaerotheca fuliginea* on *Cucumis sativus*. **Phytopathology**, jan, v.81, n.1, p. 84-88, 1991.

MENZIES, J.; BOWEN, P.; EHRET, D.; GLASS, A. D. M. Foliar applications of potassium silicate reduce severity of powdery mildew on cucumber, muskmelon, and zucchini squash. **J. Amer. Soc. Hort. Sci. Alexandria**, nov., 117, v.6, p.902-905, 1992.

MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Effect of silicon on the growth of soybean plants in a solution culture. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, dec., v.31, p.625-636, 1985.

PEREIRA, H. S.; KORNDORFER, G. Fontes de Si nas plantas. In: SIMPÓSIO SOBRE SILÍCIO NA AGRICULTURA, 2., 2003, Lavras. **Anais... Lavras: UFLA**, 2003. 1CD-ROM.

POZZA, A. A.; ALVES, E.; POZZA, E. A.; CARVALHO, J. G. de; MONTANARI, M.; GUIMARÃES, P. T. G.; SANTOS, D. M. Efeito do silício no controle da cercosporiose em três variedades de cafeeiro. **Fitopatologia Brasileira**, v.29, n.2, p.185-188, 2004.

PRI, M. D.; SILVA, O. C. da; COSTA, J. L. S. da; SOUZA, E. D. T. de; BERNI, R. F. **Diagnose das doenças**. In: CANTERI, M. G.; PRI, M. D.; SILVA, O. C. (ed.) **Principais doenças fúngicas do feijoeiro**. UEPG, Ponta Grossa-Paraná p.17-34, 1999.

RAMOS, H. F.; JULIATTI, F. C.; KORNDORFER, G.; OLIVEIRA, R. G.; AMADO, D. F.; CARNEIRO, L. M. Controle da queima da folhas da cenoura pelo uso do silício. **Fitopatologia Brasileira**, 28(Suplemento), p.S359, 2003.

RAVA, C. A.; SARTORATO, A. **Antracnose**. In: SARTORATO, A.; RAVA, C. A. **Principais doenças do feijoeiro comum e seu controle**. Brasília EMBRAPA-SPI, p.17-39, 1994.

- RODRIGUES, F. A. **Fertilização silicatada na severidade da queima-das-bainhas (*Rhizoctonia solani* Kuhn) da arroz.** 2000. 100p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- RODRIGUES, F. A.; DATNOFF, L. E.; KORNDORFER, G. H.; SEEBOLD, K. W.; RUSH, M. C. Effect of silicon and host resistance on sheath blight development in rice. *Plant Disease*, aug., v.85, n.8, p. 827-832, 2001.
- RODRIGUES, F. A.; BENHAMOU, N.; DATNOFF, L. E.; JONES, J. B.; BÉLANGER, R. R. Ultrastructural and Cytochemical Aspects of Silicon-Mediated Rice Blast Resistance. *Phytopathology*, St. Paul, may., v.93, n.5, p.535-546, 2003.
- SAMUELS, A. L.; GLASS, A. D. M.; EHRET, D. L.; MENZIES, J. G. Mobility and deposition of silicon in cucumber plants. *Plant, Cell and Environment*, Oxford, june, v.14, p.485-492, 1991a.
- SAMUELS, A. L.; GLASS, A. D. M.; EHRET, D. L.; MENZIES, J. G. Distribution of silicon leaves during infection by powdery mildew fungus (*Sphaerotheca fuliginea*). *Can. J. Bot.* jan, v.69, p.140-146, 1991.
- SANTOS, D. M. **Efeito do silício na intensidade da cercosporiose (*Cercospora coffeicola* Berk. & Cooke) em mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.).** 2002. 43p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- SCHUERGER, A. C.; HAMMER, W. Suppression of powdery mildew on greenhouse-grown cucumber by addition of silicon to hydroponic nutrient solution is inhibited at high temperature. *Plant Disease*, St. Paul, feb., v.87, n.2, p.177-185, 2003.
- SEEBOLD, K. W. Jr.; DATNOFF, L. E.; CORREA-VICTORIA, F. J.; KUCHAREK, T. A.; SNYDER, G. H. Effects of silicon and fungicides on the control of leaf and neck blast in upland rice. *Plant Disease*, St. Paul, mar., v.88, n.3, p.253-258, 2004.
- TURVEY, N. D.; CARLYLE, C.; DOWNES, G. M. Effects of micronutrients on the growth form of two families of *Pinus radiata* (D. Don) seedlings. *Plant and Soil*, Netherlands, v.139, p.59-65, jan 1992.
- VIEIRA, J. **O feijoeiro-comum: cultura, doença e melhoramento.** Viçosa, Imprensa Universitária da UREMG, 220p. 1967.

WANG, S. Y.; GALLETTA, G. J. Foliar application of potassium silicate induces metabolic changes in strawberry plants. *Journal of Plant Nutrition*, v.21, n.1, p.157-167, 1998.

CAPÍTULO II

INTERAÇÃO DO SILÍCIO E DO COBRE NA INTENSIDADE DA ANTRACNOSE DO FEJJOEIRO

1 RESUMO

MORAES, Sylvia Raquel Gomes. Interação do silício e do cobre na intensidade da antracnose do feijoeiro. In: Fontes e doses de silício na intensidade da antracnose do feijoeiro. UFLA, 2004. 89p. (Dissertação – Mestrado em Fitopatologia)¹.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a intensidade da antracnose em plantas de feijão, cultivar 'Carioca', em função das doses de silicato de cálcio e sulfato de cobre. O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Fitopatologia/UFLA, utilizando delineamento experimental em blocos ao acaso com dezoito tratamentos, três repetições e quatro plantas por parcela, obedecendo ao arranjo fatorial 4 x 4 com quatro níveis de silicato de cálcio (0, 0,63, 1,26 e 1,89 g de SiO₂ por quilo de substrato) e quatro níveis de supercobre® (0, 19,5, 58,5 e 78 mg de Cu por litro de água) com dois tratamentos adicionais. Os tratamentos adicionais constituíram-se de plantas sem inoculação (testemunha absoluta) e plantas pulverizadas com Benomyl. As inoculações foram realizadas aos 30 dias após emergência das plântulas e foram feitas quatro avaliações da incidência e severidade da antracnose além do índice de área foliar (LAI) e duração da área foliar sadia (HAD) aos cinco dias após o aparecimento dos primeiros sintomas. Ao término das avaliações, foram mensuradas a matéria seca da parte aérea, a matéria seca da raiz e a matéria seca total e os dados de incidência e de severidade foram integrados ao longo do tempo, obtendo-se a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD). Foram determinados os teores de N, P, K, Ca, Mg, B, Cu, Fe, Mn, Zn, Si e lignina na parte aérea. Observou-se decréscimo linear da AACPI com o aumento das doses de silicato de cálcio, reduzindo a incidência em 7% na dose 1,89 g kg⁻¹ de SiO₂. A AACPS foi influenciada pelas doses de cobre, obtendo-se redução de 35% na maior dosagem. O LAI, HAD e matéria seca não apresentaram diferença significativa. O aumento linear no teor de SiO₂ na parte aérea verificou-se com o aumento das doses de silicato de cálcio.

¹Comitê de Orientação: Dr. Edson Ampélio Pozza (Orientador), Dr. Mário Lúcio Vilela de Resende.

2 ABSTRACT

MORAES, Sylvia Raquel Gomes. Interaction of silicon and copper related to anthracnose intensity on beans. In: Sources and doses of silicon related to anthracnose intensity on beans. UFLA, 2004. 89p. (Dissertation – Masters Degree in Phytopathology)¹.

The objective of this work was to evaluate the anthracnose intensity in bean plants, “Carioca” cultivar, according to the doses of calcium silicate and copper sulfate. The experiment was conducted in a greenhouse at the Phytopathology Department/UFLA, using a randomized block design, with eighteen treatments, three replications and four plants per plot, following a 4 x 4 arrangement with four levels of calcium silicate (0 , 0.63 , 1.26 and 1.89 g of SiO₂ per kilo of substrate) and four levels of supa-cobre® (0 , 19.5 , 58.5 and 78.0 mg of Cu per liter of water) with two additional treatments. The additional treatments consisted of plants without inoculation (absolute control treatment) and plants sprayed with Benomyl. The inoculations were performed 30 days after the emergency of the seedlings and four evaluations of incidence and severity of anthracnose were done. The leaf area index (LAI) and healthy leaf area duration (HAD) were assessed five days after the first symptoms. At the end of the evaluations, the dry weight of the aerial part, dry weight of roots and total dry weight were measured and the data of incidence and severity were integrated along time, obtaining the area under disease progress curve (AUDPC). Contents of N, P, K, Ca, Mg, B, Cu, Fe, Mn, Zn, Si and lignin were determined for the aerial part. A linear decrease of the AUDPC for incidence was observed with the increase of the doses of calcium silicate, and at the highest dose of SiO₂ the incidence was reduced by 7%. The AUDPC for severity was influenced by doses of copper obtaining a reduction of 35% for the highest dose. LAI, HAD and dry weight did not show significant differences between the treatments. The linear increase of SiO₂ on the aerial part was verified with the increase of calcium silicate doses.

¹Adviser Committee: Dr. Edson Ampélio Pozza (Advisor), Dr. Mário Lúcio Vilela de Resende (Co-advisor).

3 INTRODUÇÃO

Entre as doenças do feijoeiro, a antracnose (*Colletotrichum lindemuthianum*) acarreta perdas significativas, causando inúmeros problemas econômicos. Essas perdas podem chegar a 100% se as sementes infectadas forem plantadas sob condições de alta umidade relativa e temperatura baixa a moderada (Chaves, 1980).

O principal método de controle dessa enfermidade é o uso de fungicidas, no entanto, métodos alternativos, como a nutrição mineral, podem auxiliar no manejo de doenças. Pesquisas recentes evidenciaram o silício no controle de doenças em várias culturas, bem como o aumento na taxa fotossintética, melhoria da arquitetura foliar e de outros processos no metabolismo vegetal, resultando em maior qualidade dos alimentos e no aumento da produção (Lima Filho et al., 1999).

Dessa forma, estudos foram realizados com plantas de café suplementadas com 1 g de silicato de cálcio incorporado a 1 kg de substrato, verificando redução de 43% no total de lesões por planta e de 63,2% nas folhas lesionadas pela cercosporiose, em relação à testemunha (Pozza et al. 2004). Em plantas de uva inoculadas com *Uncinula necator*, observou-se redução de 14% no número de colônias de oídio em plantas pulverizadas com 1,7 mM de silicato de potássio, 24 horas antes da inoculação. Os autores atribuíram esse efeito ao acúmulo de Si na superfície das folhas e no local de penetração do patógeno, impedindo o crescimento das hifas (Bower et al. 1992).

Entretanto, a fertilização silicatada pode associar-se à aplicação de fungicidas na redução da taxa de progresso da doença, como foi observado em estudos realizados em plantas de arroz. Verificou-se o efeito positivo na intensidade da brusone em plantas suplementadas com 1000 kg.ha⁻¹ de silicato de cálcio e com a combinação de silicato e fungicida (1000 mL.ha⁻¹ de

edifenphos). A severidade da doença reduziu em 22% e 75%, respectivamente (Seebold et al., 2004). Também em plantas de arroz tratadas com silício, observou-se diminuição de 50% na incidência da brusone, não diferindo estatisticamente dos tratamentos com benomyl. Porém, a aplicação de silício combinado com benomyl reduziu a incidência da doença em 80% (Datnoff e Snyder, 1994).

De modo geral, este trabalho objetivou testar métodos alternativos ao manejo integrado da antracnose do feijoeiro por meio do uso de silicato de cálcio e de calda preparada com a mistura de sulfato de cobre e hidróxido de cálcio. Os objetivos específicos foram:

- avaliar o efeito do silicato de cálcio e do sulfato de cobre, separadamente e sua interação na redução da intensidade da antracnose;
- verificar a formação de barreira estrutural, influenciando a resistência do hospedeiro contra o patógeno;
- analisar a influência de diferentes níveis de silício e cobre no teor nutricional de plantas de feijão.

sementes por vaso e após sete dias da emergência das plântulas, procedeu-se o desbaste permanecendo as duas plântulas mais vigorosas.

As mudas foram pulverizadas a cada 15 dias com sulfato de cobre, sendo a primeira pulverização aos três dias antes da inoculação. Para o preparo da suspensão água + sulfato de cobre, foi utilizada água destilada e o pH ajustado para cinco, utilizando ácido clorídrico (HCl). Na aplicação do sulfato de cobre foi utilizado pulverizador manual com capacidade para 0,5 L com as diferentes dosagens.

4.2 Obtenção e preparo do inóculo de *Colletotrichum lindemuthianum*

Para a obtenção do inóculo, uma população pura de *Colletotrichum lindemuthianum*, raça 81, crescida em meio M3, foi multiplicada em vagens de feijoeiro, em tubos de ensaio contendo meio ágar água e mantidos na BOD a $21^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, durante 10 dias. Esses tubos inicialmente, foram autoclavados por três dias consecutivos, durante 1 hora a 120°C e, no 4º dia, foi realizada a multiplicação para as vagens. Após o crescimento micelial, foi adicionada água destilada nos tubos para obter a suspensão de inóculo, que foi filtrado em gaze dupla. A quantificação foi realizada em hemacitômetro e ajustada para a concentração de 10^6 conídios/mL.

A inoculação foi realizada aos 30 dias após a semeadura (estádio V4, 3ª folha trifoliolada), utilizando-se pulverizador manual com capacidade para 0,5L, até o ponto de escorrimento. Em seguida, os vasos foram cobertos individualmente com saco plástico branco por 14 horas, para estabelecer condições favoráveis à penetração.

4.3 Avaliação da intensidade da antracnose

A incidência e a severidade da antracnose foram avaliadas a cada cinco dias, juntamente com a área foliar. A incidência será avaliada pela porcentagem

de plantas com sintomas de antracnose na parcela e número de folíolos por planta com sintomas.

A severidade da antracnose foi quantificada com a escala diagramática de Pastor Corrales (Tamayo, 1995).

Após o término das avaliações, os dados de incidência e de severidade foram integrados ao longo do tempo, obtendo a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), pela fórmula:

$$\text{AACPD} = \sum_{i=1}^{n-1} [(X_i + X_{i+1}) / 2] (t_{i+1} - t_i) \text{ (Campbell \& Madden, 1990)}$$

em que X é a intensidade da doença, t o tempo e n o número de avaliações no tempo.

A área foliar foi obtida por meio da equação de Lamauti (1995), $\text{AF} = 2,37 x^{1,9642} - 2,7013$, em que AF é a área da folha trifoliolada, em cm^2 e x é a maior largura do folíolo central, em cm. O índice de área foliar (LAI) foi calculado a partir dos valores da área foliar de cada planta pela área do vaso ocupada por planta. Para relacionar a curva de progresso da doença e o crescimento da planta, foi calculada a duração da área foliar sadia (HAD) em que:

$$\text{HAD} = \sum \{ [\text{LAI} (1 - X_i) + \text{LAI}_{i+1} (1 - X_{i+1})] / 2 \} (t_{i+1} - t_i) \text{ (Bergamin Filho et al., 1997)}.$$

4.4 Determinação do teor de lignina nas plantas

Para determinar o teor de lignina da parte aérea, as plantas foram coletadas após o término das avaliações da intensidade da antracnose, lavadas, secas em estufa de ar forçado a 65°C e trituradas. As amostras foram encaminhadas ao Departamento de Ciência dos Alimentos da Universidade Federal de Lavras. A lignina foi oxidada por meio de uma solução tamponante de ácido acético e permanganato de potássio, contendo ferro trivalente e prata

monovalente, como catalisador. Os óxidos de ferro e manganês depositados foram dissolvidos em solução alcoólica contendo os ácidos oxálico e clorídrico (solução de desmineralização), deixando no cadinho apenas celulose e minerais insolúveis. A lignina foi calculada por diferenças de peso, após estes tratamentos (Silva, 1981).

4.5 Matéria seca e análise nutricional das plantas

Após o término das avaliações da intensidade da antracnose do feijoeiro, as plantas foram colhidas, lavadas e acondicionadas separadamente, por repetição, em sacos de papel e secos em estufa a 65°C até atingirem peso constante. Em seguida, procederam-se a pesagem e a moagem da matéria seca. As amostras foram enviadas para o Laboratório de Nutrição de Plantas do Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal de Lavras para a determinação dos teores de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn, segundo metodologia descrita por Malavolta et al. (1997).

As amostras foram submetidas à digestão nitroperclórica em bloco digestor para determinar os teores de macro e micronutrientes, com exceção do boro, cujas amostras foram submetidas à digestão por via seca (incineração). Os teores de cálcio, magnésio, cobre, ferro e zinco foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica, potássio por fotometria de chama de emissão, o fósforo e o boro por colorimetria, o enxofre por turbidimetria e o nitrogênio pelo método 'Kjeldahl'.

Para determinar os teores de Si, seguiu-se a metodologia proposta por Elliott e Snyder (1991).

4.6 Espodograma

O espodograma, isto é, a imagem das cinzas, foi obtido de folhas adultas de plantas adubadas com a maior dosagem de silicato de cálcio e folhas da

testemunha (inoculada/sem silicato de cálcio). Essas folhas ficaram imersas em um recipiente contendo ácido sulfúrico (20%) e deixadas em banhomaria por 60 minutos a 75°C. Em seguida, as folhas foram deixadas em repouso, em temperatura ambiente por 5 horas; após esse período, foram lavadas três vezes com água destilada e colocadas em um becker com HCl 5N por 20 minutos a 100°C em banhomaria. Em seguida, foram lavadas novamente e colocadas entre lâminas de vidro e posteriormente colocadas na mufla a 550°C por 18 horas.

4.7 Análise estatística

A análise estatística do experimento foi realizada no programa SISVAR, versão 4.3 (Build 45), do qual foram obtidas as análises de variância, bem como o ajuste dos modelos para os efeitos, cujos resultados foram significativos no teste F. Para a realização desse procedimento, considerou-se o nível de significância fixado em 5% e para estudo dos modelos de regressão, dos quais avaliaram-se superfícies de resposta. No entanto, em virtude do baixo valor do coeficiente de determinação apresentado por estes modelos, os mesmos foram descartados, de tal forma que a representatividade dos dados experimentais foi melhor explicada pelos modelos de regressão linear simples e ou quadráticos.

Após o ajuste dos modelos, realizaram-se o teste de Anderson Darling, para verificar a normalidade dos resíduos e de Bartlett e Levene, para a homogeneidade entre os tratamentos.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Avaliação da intensidade da antracnose

5.1.1 Incidência

Não houve diferença significativa para a AACPI com a aplicação do Benomyl, no entanto, plantas não inoculadas diferiram significativamente dos demais tratamentos.

De acordo com a análise de variância, a área abaixo da curva de progresso da incidência (AACPI) apresentou diferença significativa, no teste F, para as doses de silicato de cálcio. Observou-se efeito linear negativo de 7% quando a dose de silicato de cálcio variou de zero a 1,89 g de SiO₂ kg⁻¹ de solo (Figura 1). Na maior dose de silício (1,89 g kg⁻¹ de solo) ocorreu a menor AACPI. Provavelmente, a aplicação de doses superiores às utilizadas poderia reduzir ainda mais a incidência da antracnose do feijoeiro.

A redução da incidência da doença em plantas tratadas com silício pode ter ocorrido devido à formação de barreira estrutural, prevenindo a penetração do fungo. Em plantas de trigo tratadas com silicato de cálcio, observou-se a formação de papilas (Bélanger et al., 2003). Rodrigues (2000) também atribuiu a redução da severidade da queima-das-bainhas à barreira estrutural devido ao depósito de silício em torno do sítio de infecção, prevenindo a penetração do patógeno e ou a expansão das lesões preestabelecidas. Em dicotiledôneas, plantas não acumuladoras de silício, como a uva e o pepino, inoculadas com *Uncinula necator* e *Sphaerotheca fuliginea*, respectivamente, observou-se o acúmulo de silício na superfície das folhas pulverizadas, impedindo o crescimento da hifa do patógeno (Bower et al., 1992; Samuels et al., 1991).

Outros trabalhos atribuem a redução da intensidade da doença a mecanismos de indução de resistência, como foi observado em plantas de pepino inoculadas com *Sphaerotheca fuliginea* e *Pythium* spp. Os autores observaram a produção de compostos fenólicos, quitinases, peroxidases e polifenoloxidasas em plantas suplementadas com 100 mg.kg⁻¹ de silício na forma de silicato de potássio, em solução nutritiva (Fawe et al., 1998; Chérif et al., 1994).

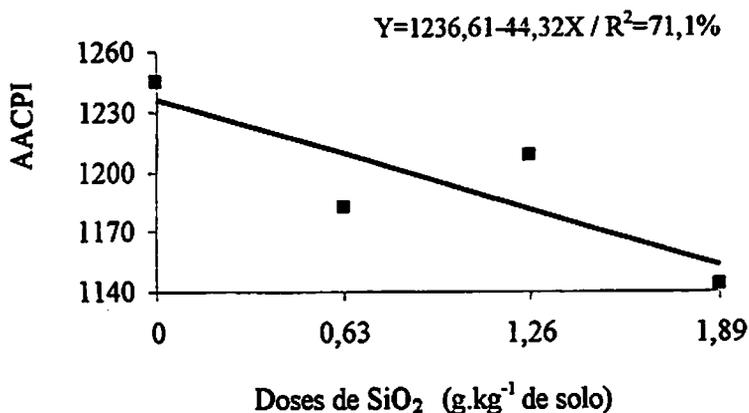


FIGURA 1 - Área abaixo da curva de progresso da incidência em função das doses de silicato de cálcio aplicados via solo

5.1.2 Severidade

A área abaixo da curva de progresso da severidade da antracnose (AACPS) apresentou diferença significativa, no teste F, para as doses de sulfato de cobre utilizadas. Observou-se decréscimo linear de 35% na dose 78 mg de cobre por litro de água quando comparada à dose zero (Figura 2). Na maior dose de cobre (78 mg.L⁻¹) ocorreu a menor AACPS.

Em estudos com a nutrição mineral reduzindo a intensidade do mal-do-pé (*Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*) em plantas de trigo, observou-se resultado semelhante. Plantas suplementadas com 60 mg.L⁻¹ de cobre via foliar e via solo apresentaram menor severidade e incidência da doença em casa de vegetação e no campo. Os autores atribuíram esse resultado à capacidade do cobre em limitar a doença, devido a menor suscetibilidade do tecido hospedeiro e à formação de novas raízes (Reis et al., 1982).

Entre os tratamentos adicionais, a aplicação de Benomyl não influenciou a severidade da doença, em relação aos demais tratamentos, no entanto, plantas não inoculadas apresentaram menor AACPS.

Em plantas de morango tratadas com fungicidas (iprodione, benomyl, tebuconazole, tiofanato metílico, prochloraz, propiconazole, mancozeb, folpet, sulfato de cobre e chlorotalonil) para o controle da flor preta (*Colletotrichum acutatum*), verificou-se menor número de flores doentes nas parcelas pulverizadas com prochloraz e sulfato de cobre. As plantas tratadas com prochloraz e sulfato de cobre apresentaram 53% e 55% de flores doentes, enquanto as com benomyl e a testemunha apresentaram 85% e 100% de flores doentes, respectivamente. Os autores atribuíram a baixa eficiência do benomyl à formação de estirpe resistente de *Colletotrichum* sp. (Kosowski et al., 2001).

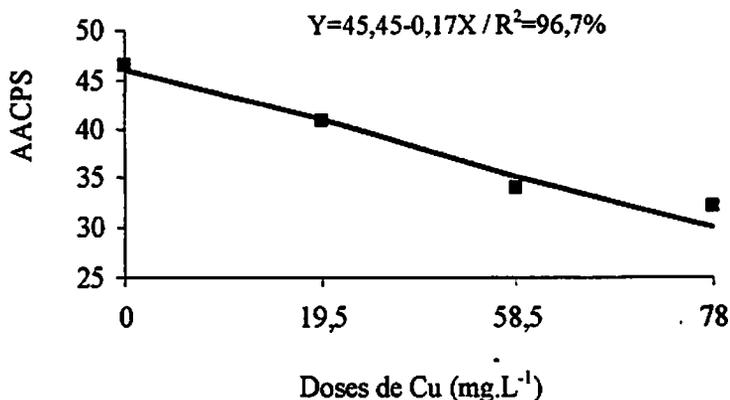


FIGURA 2 - Área abaixo da curva de progresso da severidade, em função das doses de sulfato de cobre aplicado via foliar

5.2 Índice de área foliar (LAI) e duração da área foliar sadia (HAD)

O índice de área foliar sadia e a duração da área foliar sadia não foram influenciadas significativamente pelas doses de silicato de cálcio e doses de sulfato de cobre testadas, exceto plantas não inoculadas com *C. lindemuthianum*, concordando com os resultados obtidos em mudas de café tratadas com silicato de cálcio e sódio (Santos, 2002).

5.3 Matéria seca

A matéria seca da parte aérea, a da raiz e a total, não foram influenciadas pelas doses de silicato de cálcio e doses de sulfato de cobre. Este resultado pode ser explicado, provavelmente, pelo rápido desenvolvimento do feijoeiro e pelo tipo de crescimento indeterminado. À medida que a doença destrói o tecido, novos tecidos são formados.

No entanto, Horst e Marschner (1978) verificaram aumento no peso da matéria seca em plantas de feijão adubadas com silício, devido à redução da

toxicidade de manganês. Os autores observaram a maior produção em plantas suplementadas com $0,75 \text{ mg.kg}^{-1}$ de silício solúvel e com $5 \times 10^{-3} \text{ mM}$ de manganês, em relação às plantas sem silício. Em plantas de pepino, Chérif et al. (1992) observaram o aumento do peso das raízes e da parte aérea secas, em plantas suplementadas com 100 mg.kg^{-1} de Si, aumentando a produção de frutos em 40%.

5.4 Lignina

O teor de lignina nos tratamentos foi influenciado pelas doses de silicato de cálcio e doses de sulfato de cobre, apresentando significância o modelo quadrático para as doses zero e $58,5 \text{ mg}$ de cobre por litro de água. No desdobramento, na ausência de cobre, observou-se decréscimo do teor de lignina até $0,95 \text{ g SiO}_2 \text{ kg}^{-1}$, aumentando após. No entanto, com a aplicação de $58,5 \text{ mg}$ de cobre por litro de água, observou-se aumento no teor de lignina até a dose de $1,18 \text{ g SiO}_2 \text{ kg}^{-1}$, reduzindo após (Figura 3).

Plantas tratadas com fungicida sistêmico e plantas não inoculadas com *C. lindemuthianum* (tratamentos adicionais) apresentaram efeito significativo, observando valores médios de 9,2 e 10,7 % de lignina, respectivamente, na parte aérea das plantas de feijão.

Ao se observar à dose zero de SiO_2 na Figura 3, para a dose zero de cobre obteve-se 11 % de lignina e para a dose $58,5 \text{ mg.L}^{-1}$ de cobre obteve-se 7,6 % de lignina. Com isso, pode-se inferir que na dose zero de cobre foliar já havia cobre suficiente no solo para formar a lignina na parte aérea. E com a aplicação do cobre foliar ($58,5 \text{ mg.L}^{-1}$) houve competição com outros micronutrientes, como o Zn e o Mn, os quais são importantes em uma das fases da rota metabólica da síntese de lignina, segundo Graham & Webb (1991). A partir da dose zero de SiO_2 , embora as diferenças entre os teores tenham sido

estatisticamente significativas e opostas, elas foram de pequena magnitude, variando de 9 a 11% no teor de lignina com o aumento das doses de SiO₂.

Esses resultados são, em parte, semelhantes aos encontrados por Santos (2002) em mudas de café tratadas com silício e inoculadas com *Cercospora coffeicola*, em que foi verificado o aumento da concentração de lignina nas folhas até a dose 0,52 g SiO₂, reduzindo após. De acordo com a autora, nas menores doses, o silício foi translocado para as folhas e estimulou a síntese de enzimas precursoras da lignina e, à medida que aumentou a concentração de silício, reduziu a translocação para as folhas. Em cafeeiro inoculado com *Hemileia vastatrix*, o silício não favoreceu o acúmulo de lignina (Nojosa, 2003).

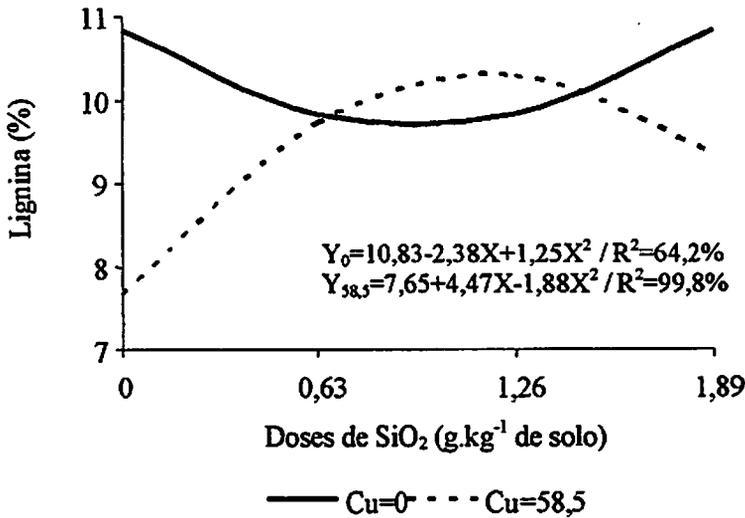


FIGURA 3 - Teor de lignina na parte aérea em função das aplicações de diferentes doses de silicato de cálcio e sulfato de cobre

A lignina é o segundo polímero constitutivo mais abundante no reino vegetal, superado apenas pela celulose. O “elicitador” fúngico ou mineral contribuiu com pequena parte da lignina total, sendo essa lignina induzida depositada em regiões específicas, como, por exemplo, os pontos de infecção. Portanto, com a extração de lignina da parte aérea, extraiu-se a lignina total, ou seja, a constitutiva e a induzida.

5.5 Teores de nutrientes na parte aérea

5.5.1 Nitrogênio, Fósforo, Boro, Cobre, Ferro e Manganês

Os teores de nitrogênio (24,5 - 31,8 g.kg⁻¹), fósforo (2,86 - 3,82 g.kg⁻¹), boro (26,5 - 40,6 mg.kg⁻¹), cobre (39,3 - 124,6 mg.kg⁻¹), ferro (311,5 - 737,3 mg.kg⁻¹) e manganês (48,9 - 103,5 mg.kg⁻¹) na parte aérea das plantas não foram influenciados pelos tratamentos utilizados.

Estes resultados confirmam os obtidos em grama Santo Agostinho, exceto para os teores de fósforo e cobre. Os autores observaram que plantas tratadas com 1000 kg de silicato de cálcio por hectare não apresentaram efeito significativo na concentração de nitrogênio, ferro e manganês na parte aérea, entretanto observaram redução dos teores de fósforo e cobre (Brecht et al., 2004).

No entanto, contrapondo-se aos resultados obtidos no presente experimento, Horst e Marschner (1978), obtiveram teores de manganês influenciados pelo silício e verificaram redução do teor de manganês com a suplementação de 0,75 mg.kg⁻¹ de silício solúvel (Aerosil) em plantas de feijão. Em plantas de café, observou-se a influência das diferentes doses de silicato de cálcio e silicato de sódio, aplicados via solo, na concentração de cobre no tecido foliar, no entanto, os valores encontrados foram baixos (Santos, 2002).

5.5.2 Potássio, Cálcio, Magnésio, Enxofre e Zinco

As concentrações de potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S) e zinco (Zn) na parte aérea foram influenciadas pelas doses de silicato de cálcio e sulfato de cobre, apresentando comportamento semelhante. Entretanto, os teores de potássio, magnésio, enxofre e zinco encontram-se abaixo do valor mínimo citado por Malavolta et al. (1997) e Martinez et al. (1999), embora as adubações tenham sido realizadas de forma correta, de acordo com as recomendações feitas por Malavolta et al. (1997) (Tabela 2). Todavia esses valores foram sugeridos para níveis na folha e não em toda a parte aérea como foi amostrado neste experimento. Normalmente no caule os teores de nutrientes são menores do que nas folhas promovendo a diluição dos teores encontrados.

TABELA 2 - Comparação entre os teores máximos e mínimos de nutrientes encontrados nas folhas de feijoeiro com os níveis críticos (NC) citados por Malavolta et al (1997) e Martinez et al. (1999)

	Potássio	Cálcio	Magnésio	Enxofre	Zinco
		g.kg ⁻¹			mg.kg ⁻¹
Teores obtidos	10,5-18,6	21,8-37,6	1,1-1,8	1,1-2,4	13,9-26,8
Malavolta et al.	20-25	15-20	4-7	5-10	20-100
Martinez et al.	27-35	25-35	3-6	1,5-2,0	45-55

O teor de potássio apresentou significância para o modelo quadrático na ausência de cobre e para o modelo linear nas demais doses. Na ausência de cobre, pode-se observar o aumento do teor de potássio até a dose de 0,92 g SiO₂ kg⁻¹ de solo, reduzindo após (Figura 4). Para as doses 19,5, 58,5 e 78 g.L⁻¹ de cobre, observou-se efeito de pequena magnitude, embora significativo. Sendo

assim, nestas doses de cobre, o teor de potássio diminuiu com o aumento das doses de silicato de cálcio. Na Figura 1, observou-se redução da incidência da antracnose do feijoeiro com a diminuição das doses de silicato, então esta redução do teor de K (Figura 4) não tem relação com a doença. Embora o aumento da concentração de potássio tenha reduzido algumas doenças, como a queima foliar (*Cercospora kikuchii*) e o cancro da haste (*Diaporthe phaseolorum* f. sp. *meridionalis*) em plantas de soja (Ito et al., 1993; Ito et al., 1997; Mascarenhas et al., 1997), este fato não foi observado para a antracnose do feijoeiro. Segundo Malavolta et al. (1997), os cátions K e Ca competem pelo mesmo sítio de absorção nas raízes das plantas. Portanto, a redução no teor de K observada na parte aérea do feijoeiro, pode ter ocorrido devido à competição com o Ca acompanhante do silicato de cálcio (CaSiO_2) aplicado no solo.

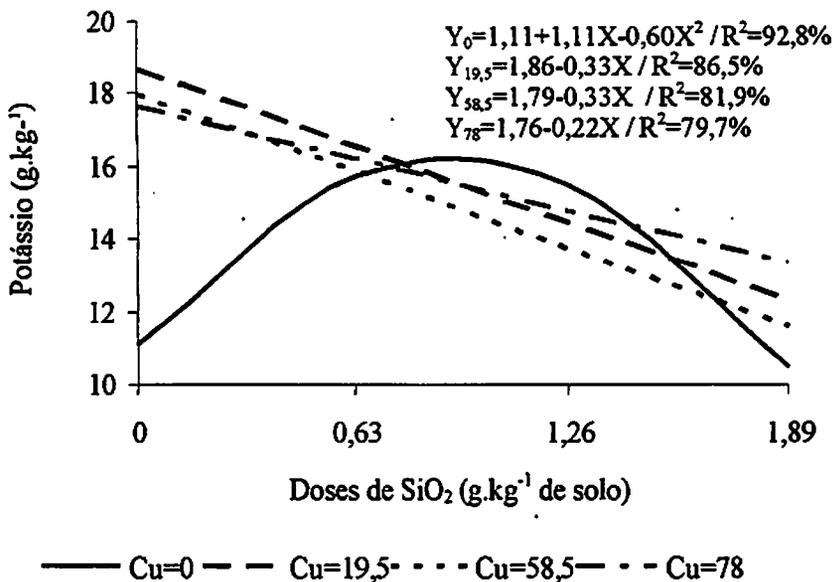


FIGURA 4 - Teor de potássio encontrado na parte aérea, em função de doses de silicato de cálcio e sulfato de cobre

Os teores de magnésio foram afetados significativamente pelos dois fatores, havendo interação significativa entre os mesmos. Na presença de cobre, houve redução linear dos teores de Mg com o aumento das doses de SiO_2 , provavelmente em função da inibição competitiva pelo Ca (do silicato) na absorção de Mg, conforme Malavolta et al. (1997). Na ausência de cobre os teores de Mg seguiram o modelo quadrático em resposta às doses de SiO_2 observando-se um teor máximo de Mg na dose $0,925 \text{ g.kg}^{-1}$ de silicato de cálcio (Figura 5).

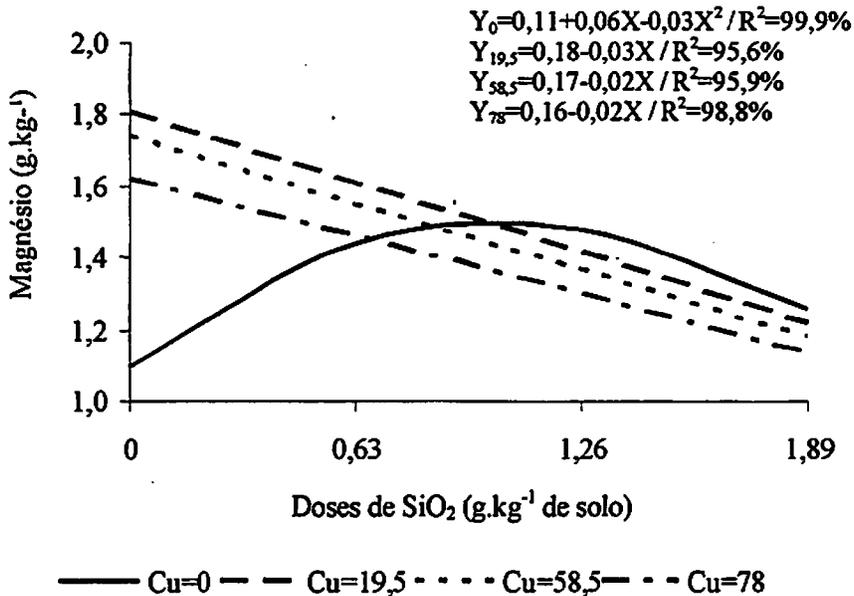


FIGURA 5 - Teor de magnésio em função de doses de cobre em cada dose de silício

As concentrações de enxofre ajustaram-se ao modelo linear na concentração de 19,5 g.L⁻¹ de Cu, mostrando a diminuição do teor de enxofre na parte aérea com o aumento das doses de silício. No entanto, o teor de enxofre na dose de 78 g.L⁻¹ de Cu ajustou-se ao modelo quadrático, observando redução no teor de enxofre até a dose 1,12 g SiO₂ kg⁻¹, aumentando após (Figura 6). Entretanto, para ambas as doses de cobre o efeito no teor de enxofre na parte aérea foi de pequena magnitude (1,1-2,4 mg.kg⁻¹), embora significativo, se comparados aos níveis críticos (Tabela 2) citados por Malavolta et al. (1997) (5-10 mg.kg⁻¹).

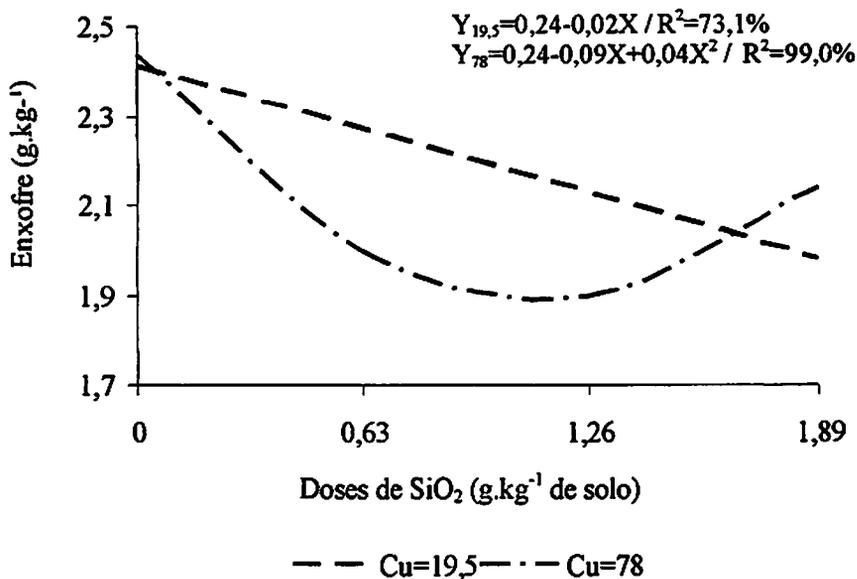


FIGURA 6 - Teor de enxofre encontrado na parte aérea, em função das aplicações de doses de silício e doses de cobre

Para o teor de zinco nas folhas, apresentou significância o modelo linear para as doses 19,5 e 78 g.L⁻¹ de cobre em cada dose de silício e o modelo quadrático para as doses 0 e 58,5 g.L⁻¹ de cobre em cada dose de silício. Pode-se observar a redução do teor de zinco com a elevação das doses de silicato nas três maiores doses de cobre. Ou seja, o Zn reduz na presença do Ca (do silicato) por inibição competitiva pela absorção (Malavolta et al. 1997). Na ausência de cobre, houve aumento do teor de zinco de até 1,02 g SiO₂ kg⁻¹, reduzindo após (Figura 7). Entretanto, para todas as doses de cobre o efeito no teor de zinco na parte aérea foi de pequena magnitude (13,9-26,8 mg.kg⁻¹), embora significativo, se comparados aos níveis críticos (Tabela 2) citados por Malavolta et al. (1997) (20-100 mg.kg⁻¹) e Martinez et al. (1999) (45-50 mg.kg⁻¹).

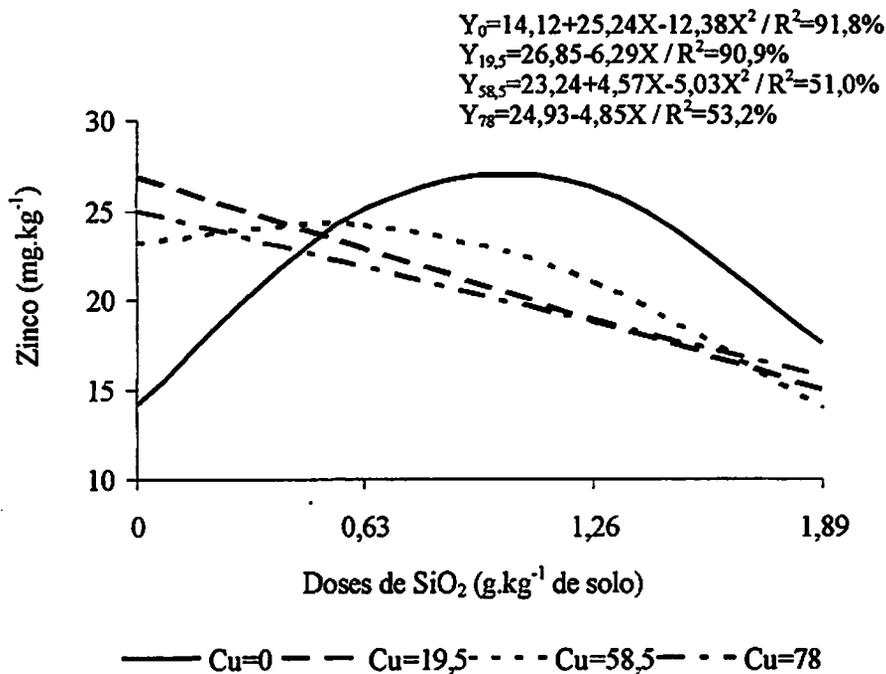


FIGURA 7 - Teor de zinco na parte aérea em função de doses de cobre em cada dose de silício

O teor de cálcio na parte aérea ajustou-se ao modelo linear (Figura 8). O valor máximo ($37,64 \text{ g.kg}^{-1}$) foi superior ao máximo observado por Martinez et al. (1999) e o valor mínimo ($21,81 \text{ g.kg}^{-1}$) encontra-se acima do valor máximo recomendado por Malavolta (1997) (Tabela 1). Observou-se redução do teor de cálcio nas folhas com o aumento das doses de silício. Provavelmente devido ao alto teor de cálcio existente no solo (Tabela 1) conforme recomendações de CFSEMG (1999). No entanto, não se observou a redução da doença com o aumento das doses neste patossistema, semelhante aos resultados observados em plantas de feijão suplementadas com nove doses de cálcio (0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5;

1,0; 2,0; 3,0 e 4,0 mg) e inoculadas com *Colletotrichum lindemuthianum* e *Fusarium oxysporum* f. sp. *phaseoli*, em solução nutritiva (Muniz, 1990).

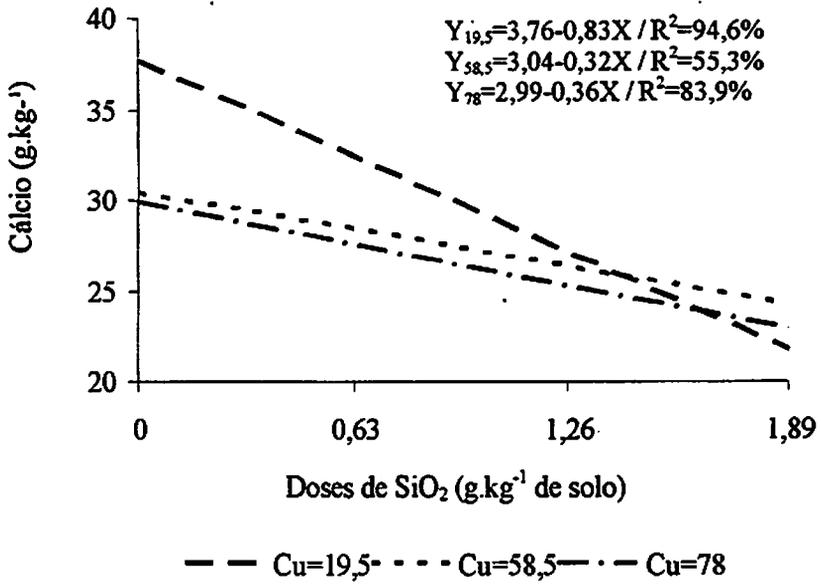


FIGURA 8 - Teor de cálcio na parte aérea em função de doses de cobre em cada dose de silício

Resultados semelhantes foram observados na análise nutricional do tecido foliar de grama Santo Agostinho. Verificou-se a redução dos teores de potássio, cálcio, magnésio e zinco na parte aérea de plantas tratadas com 1000 kg de silicato de cálcio por ha em relação à testemunha (Brecht et al., 2004).

5.6 Silício

O teor de SiO_2 na parte aérea das plantas foi influenciado pelas doses de silicato de cálcio. Observou-se ajuste do modelo linear, verificando aumento do teor de silício de 0,86 para 1,14 mg.kg^{-1} com o aumento das doses de silicato de cálcio (Figura 9). O aumento da doses de SiO_2 no solo reduziu linearmente a antracnose em feijoeiro (Figura 1). Conforme se pode observar, o teor de Si na parte aérea aumentou linearmente com o aumento das doses de SiO_2 aplicados no solo. Dessa forma, conclui-se que quanto maior o teor de Si na parte aérea e no solo maior a resistência à antracnose do feijoeiro. O modo de ação do Si no controle de doenças do feijoeiro, ainda não se encontra elucidado, entretanto, pode-se inferir que neste caso, como nas outras dicotiledôneas, ocorreu a formação de barreira física (ver espodograma – Figura 10) e também química devido às alterações no teor de lignina na parte aérea.

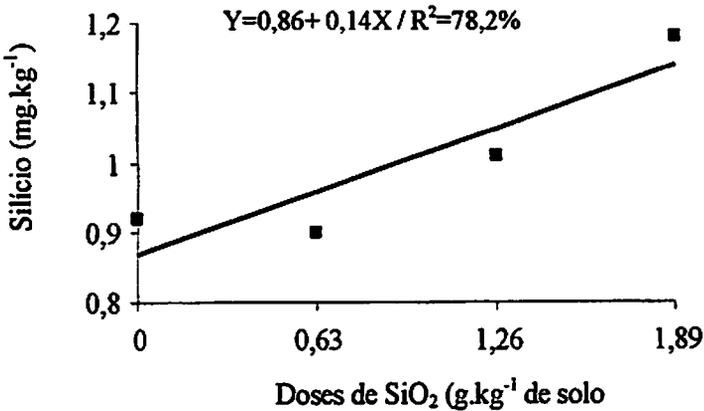


FIGURA 9 - Teor de silício na parte aérea em função de doses de silicato de cálcio aplicado via solo

O silício também está envolvido na síntese de lignina e reduz a severidade de cercosporiose do cafeeiro (Santos, 2002). Para avaliar a intensidade da cercosporiose (*Cercospora coffeicola*) do cafeeiro em função do Si, a autora utilizou quatro doses de silicato - SiO₂ (0; 0,315; 0,63 e 1,26 g.kg⁻¹ de substrato) e duas fontes (silicato de cálcio e silicato de sódio). Com o aumento do suprimento de silício ao substrato, o teor de Si extraído do caule reduziu para formar a lignina nas folhas e reduzir a doença até a dose aproximada de 0,60 g.kg⁻¹ de SiO₂ ao substrato. Em seguida houve acúmulo do Si no caule reduzindo a produção de lignina com conseqüente aumento da doença.

Em arroz, o Si foi depositado principalmente na parede celular, abaixo da cutícula, aumentando a rigidez da célula e, podendo elevar os conteúdos de hemicelulose e lignina (Santos et al., 2003; Datnoff et al., 2001). Esses fatores contribuíram para a redução da severidade da brusone nas folhas de arroz inundado no Estado do Tocantins e na Flórida, EUA. Além da redução na severidade da brusone, o aumento das doses de metasilicato (0, 1000, 2000, 4000 e 6000 kg.ha⁻¹) promoveu aumento linear na produção de grãos.

O teor de silício da parte aérea de plantas de abóbora suplementadas com 7840 kg de silicato de cálcio por hectare apresentou aumento de quatro vezes em relação à testemunha (Heckman et al. 2003).

O acúmulo de silício na parte aérea do feijoeiro também pode ser observado pelo espodograma, principalmente nas nervuras (Figura 10).

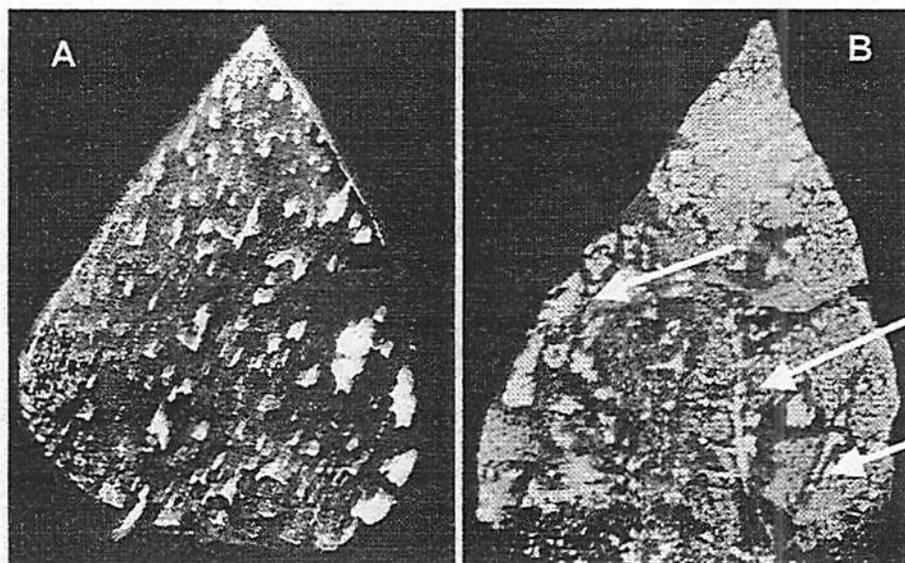


FIGURA 10 - A) Plantas não tratadas com silício; B) Plantas tratadas com 1,89 g.kg⁻¹ de silício

5.7 Temperatura e umidade relativa do ar

A temperatura ambiente e a umidade relativa do ar foram monitoradas diariamente com o auxílio de um termoigrógrafo. A temperatura média durante a condução do experimento oscilou entre 22°C e 24,1°C, mantendo-se dentro do intervalo favorável ao patógeno, 13°C a 27°C, com o ótimo a 21°C (Bianchini et al., 1997). A umidade relativa média oscilou entre 74% e 83% (Figura 11).

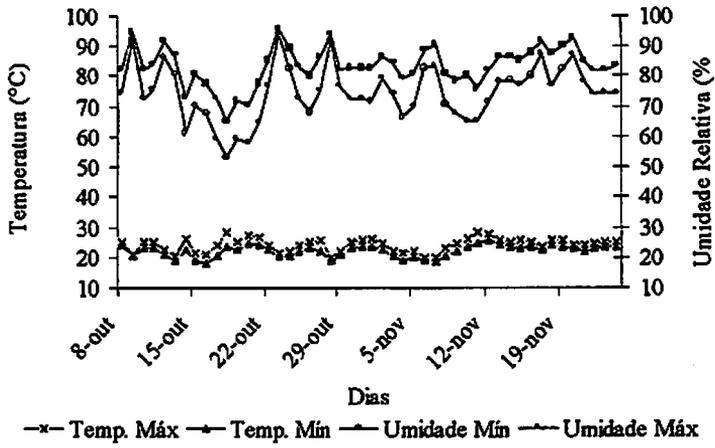


FIGURA 11 - Comportamento da temperatura e umidade relativa do ar, em casa de vegetação

6 CONCLUSÕES

1. A área abaixo da curva de progresso da incidência (AACPI) foi influenciada pela adição de silicato de cálcio ao solo apresentando decréscimo linear, atingindo 7% de redução na dose 1,89 g de SiO_2 kg^{-1} de solo.
2. A pulverização das plantas com sulfato de cobre proporcionou redução de 35% na área abaixo da curva de progresso da severidade (AACPS) na dose 78 mg de cobre por litro de água.
3. O índice de área foliar (LAI), a duração da área foliar sadia (HAD) e a produção de matéria seca da parte aérea (MSPA), de matéria seca da raiz (MSR) e de matéria seca total (MST) não foram influenciados pelo incremento das doses de silicato de cálcio e sulfato de cobre.
4. Os teores de potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S) e zinco (Zn) encontrados na parte aérea foram influenciadas pelas doses de silício e de cobre, apresentando comportamento semelhante. No entanto, os demais nutrientes não apresentaram efeito significativo.
5. O teor de lignina foi influenciado pelas doses de silicato de cálcio e doses de sulfato de cobre.
6. A concentração de SiO_2 na parte aérea apresentou efeito linear positivo com as doses crescentes de silicato de cálcio.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BÉLANGER, R. R.; BENHAMOU, N.; MENZIES, J. G. Cytological evidence of an active role of silicon in wheat resistance to powdery mildew (*Blumeria graminis* f. sp. *tritici*), *Phytopathology*, St. Paul, Apr., v.93, n.4, p.402-412, 2003.

BERGAMIN FILHO, A.; CARNEIRO, S. M. T. P. G.; GODOY, C. V.; AMORIM, R. D.; BERGER, R. D.; HAU, B. Angular leaf spot of Phaseolus beans: relationships between disease, healthy leaf area, and yield. *Phytopathology*, v.87, n.5, p.506-515, 1997.

BIANCHINI, A.; MARINGONI, A. C.; CARNEIRO, S. M. T. P. G. Doenças do Feijoeiro. In: KIMATI, H.; AMORIM, L.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L. E. A.; REZENDE, J. A. M. *Manual de Fitopatologia*, v.2, p.376-399, 1997.

BOWER, P.; MENZIES, J.; EHRET, D. Soluble silicon spray inhibit powdery mildew development on grape leaves. *Journal of the American Society for Horticultural Sciences*, Alexandria, v. 117, n.6, p.906-912, Nov. 1992.

BRECHT, M. O.; DATNOFF, L. E.; KUCHARAK, T. A. NAGATA, R. T. Influence of silicon and chlorothalonil on the suppression of gray leaf spot and increase plant growth in St. Augustinegrass. *Plant Disease*, St. Paul, apr., v.88, n.4, p.338-344, 2004.

CAMPBELL, C. L.; MADDEN, L. V. *Introduction to plant disease epidemiology*. New York: J. Wiley & Sons, 1990. 532p.

CFSEMG – Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª aproximação, Eds. Ribeiro, A. C.; Guimarães, P. T. G.; Alvarez, V. V. H. Viçosa, MG, 359 p., 1999.

CHAVES, G. Antracnose. In: SHWARTZ, H. F.; GALVEZ, G. E. (Ed). *Bean production problems: disease, insect, soil and climatic of Phaseolus vulgaris*. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1980. 424p.

CHÉRIF, M.; ASSELIN, A.; BÉLANGER, R. R. Defense responses induced by soluble silicon in cucumber roots infected by *Pythium* spp. *Phytopathology*, St. Paul, mar., v.84, n.3, p.236-242, 1994.

CHÉRIF, M.; BÉLANGER, R. R. Use of potassium silicate amendment in recirculating nutrient solutions to suppress *Pythium ultimum* on long english cucumber. *Plant Disease*, St. Paul, oct., v.76, n.10, p.1008-1011, 1992.

DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H. Comparison of silicon and benomyl alone and in combination for reducing blast incidence. *Biol. Cult. Tests* 9:113, 1994.

DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDORFER, G. H. **Silicon in Agriculture**. Amsterdam, Elsevier Science, 402 p., 2001.

ELLIOTT, C. L.; SNYDER, G. H. Autoclave-induced digestion for the colorimetric determination of silicon in rice straw. *J. Agric. Food Chem.* Washington, june, v.39, n.8, p.1118-1119, 1991.

FAWE, A.; ABOU-ZAID, M.; MENZIES, J. G.; BÉLANGER, R. R. Silicon-mediated accumulation of flavonoid phytoalexins in cucumber. *Phytopathology*, may., v. 88, n.5, p. 396-401, 1998.

GRAHAM, R. D.; WEBB, W. J. **Miconutrients and disease resistance and tolerance in plant**. In: MORTVEDT, J. J.; COX, F. R.; SHUMAN, L. M.; WELCH, R. M. (eds), **Micronutrients in Agriculture**, 2 ed. Madison, Soil Scienci Society of America, p.329-370, 1991.

HECKMAN, J. R.; JOHNSTON, S.; COWGILL, W. Pumpkin yield and disease response to amending soil with silicon. *HortScience*, Alexandria, july, v. 38, n.4, p.552-554, 2003.

HORST W. J.; MARSCHNER, H. Effect of silicon on manganese tolerance of bean plants (*Phaseolus vulgaris* L.). *Plant and Soil* v. 50, p.287-303, 1978.

IAMAUTI, M. T. **Avaliação de danos causados por *Uromyces appendiculatus* no feijoeiro**. Piracicaba, ESALQ/USP, 1995 (Tese - Doutorado em Fitopatologia), 133p. 1995.

ITO, M. F.; MASCARENHAS, H. A. A.; TANAKA, M. A. S. de; TANAKA, R. T.; AMBROSANO, G. M. B.; MURAOKA, T. Métodos de inoculação de *Diaporthe phaseolorum* f. sp. *meridionalis* para avaliar o efeito de diferentes épocas de plantio e doses de potássio sobre o cancro da haste da soja. *Summa Phytopathologica*, v.23, n.3/4, p.213-216, 1997.

ITO, M. F.; TANAKA, M. A. S. de; MASCARENHAS, H. A. A.; TANAKA, R. T.; DUDIENAS, C.; GALLO, P. B. Efeito residual da calagem e da adubação

potássica sobre a queima foliar (*Cercospora kikuchii*) da soja. *Summa Phytopathologica*, v.19, n.1, p.21-23, 1993.

KOSOSKI, R. M.; FURLANETTO, C.; TOMITA, C. K.; CAFÉ FILHO, A. C. Efeito de fungicidas em *Colletotrichum acutatum* e controle da antracnose do morangueiro. *Fitopatologia Brasileira*, v.26, n.3, p.662-666, 2001.

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

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

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. 2 ed. ver. e atual. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.

MARTINEZ, H. E. P.; CARVALHO, J. G. de; SOUZA, R. B. de. *Diagnose Foliar*. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. V. *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais*, 5ª aproximação, p.143-168, 1999.

MASCARENHAS, H. A. A.; ITO, M. F.; TANAKA, M. A. S. de; TANAKA, R. T.; AMBROSANO, G. M. B.; MURAOKA, T. Efeito da adubação potássica no cancro da haste da soja. *Summa Phytopathologica*, v.23, n.3/4, p.217-221, 1997.

MUNIZ, M. F. S. de. *Influencia da nutrição com cálcio sobre a severidade da antracnose e da murcha de fusarium ao feijoeiro*. 1990. 53p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

NOJOSA, G. B. A. de. *Efeito de indutores na resistência de Coffea arabica L. à Hemileia vastatrix Berk & Br. e Phoma costarricensis Enchandi*. 2003. 102p. Tese (Doutorado em Fitopatologia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

POZZA, A. A.; ALVES, E.; POZZA, E. A.; CARVALHO, J. G. de; MONTANARI, M.; GUIMARÃES, P. T. G.; SANTOS, D. M. Efeito do silício no controle da cercosporiose em três variedades de cafeeiro. *Fitopatologia Brasileira*, v.29, n.2, p.185-188, 2004.

REIS, E. M.; COOK, R. J.; MCNEAL, B. L. Effect of mineral nutrition take-all of wheat. *Phytopathology*, v.72, n.2, p. 224-229, 1982.

RODRIGUES, F. A. Fertilização silicatada na severidade da queima-das-bainhas (*Rhizoctonia solani* Kuhn) da arroz. 2000. 100p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

SAMUELS, A. L.; GLASS, A. D. M.; EHRET, D. L.; MENZIES, J. G. Distribution of silicon leaves during infection by powdery mildew fungus (*Sphaerotheca fuliginea*). *Can. J. Bot.* v.69, p.140-146, 1991.

SANTOS, D. M. Efeito do silício na intensidade da cercosporiose (*Cercospora coffeicola* Berk. & Cooke) em mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.). 2002. 43p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

SCARAMUZZA, J. F.; RIBEIRO, A. C.; CHAGAS, J. M.; ARAÚJO, G. A. A. de; CECON, P. R. Produtividade e teores foliares de nutrientes na cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) em resposta à aplicação foliar de sulfato de cobre, com e sem neutralização. *Revista Ceres*, v.46, n.267, p.523-529, 1999.

SEEBOLD, K. W. Jr.; DATNOFF, L. E.; CORREA-VICTORIA, F. J.; KUCHAREK, T. A.; SNYDER, G. H. Effects of silicon and fungicides on the control of leaf and neck blast in upland rice. *Plant Disease*, v.88, v.3, p.253-258, 2004.

SILVA, D. L. da. *Análise de alimentos (métodos químicos e biológicos)*. Viçosa: UFV. Imprensa Universitária, 1981.

TAMOYO, P. J. *Manejo y control de las enfermedades del frijol voluble*. Rio Negro. Peloto, 40p. 1995.

CAPÍTULO III

EFEITO DO SILÍCIO NA REDUÇÃO DA INTENSIDADE DA ANTRACNOSE DO FEJJOEIRO SUBMETIDO A DIFERENTES FONTES E CONCENTRAÇÕES DE INÓCULO

1 RESUMO

MORAES, Sylvia Raquel Gomes. Efeito do silício na redução da intensidade da antracnose do feijoeiro submetido a diferentes fontes e concentrações de inóculo. In: Fontes e doses de silício na intensidade da antracnose do feijoeiro. Lavras: UFLA, 2004. 89p. (Dissertação – Mestrado em Fitopatologia).¹

O presente trabalho teve por objetivo estudar a influência do silício na redução da área abaixo da curva de progresso dos folíolos lesionados e do total de lesões por planta de feijoeiro bem como em diferentes concentrações de inóculo. Foram realizados três ensaios. Dois ensaios experimentais foram realizados em casa de vegetação em delineamento experimental em blocos ao acaso com quatro repetições e quatro plantas por parcela e o terceiro ensaio foi realizado no Laboratório de Microscopia Eletrônica e Análise Ultra-estrutural (LME). O primeiro ensaio envolveu o estudo do silicato de cálcio em diferentes concentrações de inóculo de *Colletotrichum lindemuthianum* (0, 10^3 , 10^4 , 5×10^4 , 10^5 , 5×10^5 , 10^6 conídios/mL). No segundo ensaio, estudaram-se as diferentes fontes de silicato na redução da antracnose do feijoeiro. No terceiro ensaio, por meio de microscopia eletrônica de varredura (MEV) e microanálise de raios-X (MAX), estudou-se o efeito do silício na resistência de plantas. As inoculações foram realizadas aos 20 dias após a emergência das plântulas e foram feitas cinco avaliações da incidência, severidade e área foliar, no primeiro e segundo ensaio. Após o término das avaliações, os dados foram integrados ao longo do tempo, obtendo a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) e duração da área foliar sadia (HAD). A concentração de inóculo inicial influenciou a intensidade da doença, observando o efeito linear positivo da AACPI e AACPS com o aumento das concentrações de inóculo. A redução na intensidade da doença não foi afetada pelo teor de cálcio presente no solo e sim pelo silício. A aplicação de silicato de sódio nas folhas do feijoeiro proporcionou redução de 62,4% na área abaixo da curva de progresso de lesões por planta em relação à testemunha. Não houve diferença significativa entre o HAD para a testemunha e o tratamento com aplicação de silicato de sódio.

¹Comitê de Orientação: Edson Ampélio Pozza (Orientador), Dr. Mário Lúcio Vilela de Resende.

2 ABSTRACT

MORAES, Sylvia Raquel Gomes. Effect of silicon on the reduction of anthracnose intensity of beans submitted to different sources and inoculum concentrations. In: Sources and doses of silicon Sources and doses of silicon related to anthracnose intensity on beans. UFLA, 2004. 89p. (Dissertation – Masters Degree in Phytopathology)¹.

The present work had as objective to study the influence of silicon on the reduction of the area under disease progress curve (AUDPC) of diseased leaflets and the total of wounds per bean plant at different inoculum concentrations. Three trials were performed. Two experimental trials were performed at a greenhouse in a randomized block design, with four replications and four plants per plot and the third trial was performed in the Electron Microscopy and ultra-structural Analysis Laboratory. The first trial involved the study of calcium silicate on different concentrations of *Colletotrichum lindemuthianum* inoculum (0 , 10^3 , 10^4 , 5×10^4 , 10^5 , 5×10^5 , 10^6 conidia/mL). On the second trial, different sources of silicate on the reduction of anthracnose were studied. In the third trial, it was studied the effect of silicon on plant resistance, using scanning electron microscopy (SEM) and X-ray micro-analysis (MAX). The inoculations were performed 20 days after the emergency of seedlings and five evaluations of incidence, severity and leaf area were done, on the first and second trials. After the evaluations, the data were integrated along time, obtaining the AUDPC and healthy leaf area duration (HAD). The concentration of initial inoculum influenced the disease intensity, observing the positive linear effect of AUDPC for incidence and AUDPC for severity with the increase of inoculum concentrations. The reduction of disease intensity was not affected by the content of calcium present on soil but by the silicon. The application of sodium silicate on the leaves provided reduction of 62.4% on the AUDPC for lesions per plant in relation to the control treatment. There was no significant difference between the HAD for the control treatment and the treatment with application of sodium silicate.

¹Adviser Committee: Edson Ampélio Pozza (Advisor), Dr. Mário Lúcio Vilela de Resende (Co-advisor).

3 INTRODUÇÃO

As doenças do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) constituem uma das principais causas da baixa produtividade dessa leguminosa no país. Dentre estas, destaca-se a antracnose, causada pelo fungo *Colletotrichum lindemuthianum* (Sacc. et Magn.) Scrib, que ocorre principalmente em condições de alta umidade e temperaturas moderadas, podendo provocar perdas na produção de até 100% (Chaves, 1980).

Essas perdas podem ser minimizadas com a utilização de estratégias de manejo, como a nutrição mineral. O emprego da nutrição pode contribuir para reduzir a intensidade da doença durante o ciclo da cultura, no entanto, o valor dessa intensidade pode ser influenciado, entre outros fatores, pela quantidade e eficiência do inóculo inicial (x_0). Dependendo da quantidade de inóculo, as barreiras física e química associadas ao fator nutrição mineral poderão não ser eficientes.

Em estudos com diferentes concentrações de inóculo de *Colletotrichum lindemuthianum* em feijoeiro, observou-se aumento da severidade da antracnose nas folhas com o aumento da densidade de inóculo de $1,3 \times 10^1$ para 10^5 conídios/mL, sendo a severidade máxima encontrada em plantas inoculadas com 10^5 conídios/mL (Dillard e Cobb, 1993).

Dentre os elementos minerais estudados, o silício (Si) tem proporcionado resultados positivos na redução da intensidade da doença em várias culturas. Pozza et al. (2004) observaram redução de 63,2% nas folhas de café lesionadas pela *Cercospora coffeicola* e de 43% no total de lesões por plantas quando se utilizou 1 g de silicato de cálcio incorporado em 1 kg de substrato. No mesmo trabalho, por meio de microanálise de raios-X, os autores verificaram maior quantidade de silício nas folhas de plantas tratadas com

silicato de cálcio do que nas não tratadas. Plantas de soja cultivadas em solução nutritiva com 40 mg/L de Si apresentaram redução na intensidade do cancro da haste (*Diaporthe phaseolorum* f. sp. *meridionalis*) diminuindo as lesões ocasionadas pelo fungo na planta em até 90% (Lima, 1998).

Resultados promissores foram encontrados em plantas de pepino, cultivadas em solução nutritiva suplementada com diferentes doses de silicato de sódio, apresentando redução no número de colônias de *Sphaerotheca fuliginea* (oídio) nas folhas, redução da área das colônias por folhas e redução na porcentagem de germinação dos conídios com o aumento das doses (Menzies et al., 1991).

Portanto, com base nessas informações, procurou-se avaliar o efeito de diferentes concentrações de inóculo e diferentes fontes de silicato na intensidade da antracnose, bem como o efeito do silício na resistência a doença.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Instalação dos experimentos

Três ensaios foram instalados e conduzidos em casa de vegetação pertencente ao Departamento de Fitopatologia da Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras, MG, município localizado a uma altitude de 918 metros, latitude sul de 21°14' longitude oeste de 45°00'. O primeiro ensaio, conduzido no período de fevereiro a abril de 2004, envolveu o estudo do silicato de cálcio em diferentes concentrações de inóculo de *Colletotrichum lindemuthianum*. O segundo ensaio foi realizado de abril a junho de 2004, visando determinar diferentes fontes de silicato na redução da antracnose do feijoeiro. O terceiro ensaio foi conduzido no período de março a abril de 2004, em casa de vegetação, até a coleta das folhas. Posteriormente, a inoculação procedeu-se e o preparo e as observações das amostras para microscopia eletrônica de varredura (MEV) e microanálise de raios-X (MAX), as quais foram realizadas no Laboratório de Microscopia Eletrônica e Análise Ultra-Estrutural (LME) do Departamento de Fitopatologia da UFLA e no Laboratório do Núcleo de Apoio à Pesquisa em Microscopia Aplicada à Pesquisa Agropecuária (NAP/MEPA), na Universidade de São Paulo (USP), em Piracicaba, SP, respectivamente, visando avaliar e explicar o efeito do silício na resistência de plantas.

Antes da instalação do experimento, encaminhou-se ao Departamento de Ciências do Solo da UFLA, amostra de solo para realizar análise físico-química. A adubação, de acordo com os resultados da análise, foi feita por irrigação da solução nutritiva no solo dos vasos. O silicato de cálcio (CaO-18%, SiO-63%) e o óxido de cálcio (CaO) foram incorporados ao solo. Em seguida, os vasos

foram completados com 60% de sua capacidade de campo e incubados em saco plástico branco por 10 dias.

Foram utilizadas sementes da cultivar “Carioca”, provenientes da Embrapa – Sete Lagoas, sendo colocadas cinco sementes por vaso de três litros e, após sete dias da emergência das plântulas, procedeu-se ao desbaste, permanecendo as duas plântulas mais vigorosas.

O silicato de sódio (Na_2O -18%, SiO_2 -63%) foi aplicado via foliar. No segundo ensaio, as pulverizações foram realizadas aos três dias antes da inoculação e aos dez e vinte dias após. No terceiro ensaio, foi realizada apenas uma aplicação, aos três dias antes da inoculação. Para o preparo da suspensão água + silicato de sódio, foi utilizada água destilada e o pH ajustado para cinco utilizando-se ácido clorídrico (HCl). Utilizou-se pulverizador manual com capacidade para 500 mL.

4.2 Experimento 1 e 2: Diferentes concentrações de inóculo de *Colletotrichum lindemuthianum* em plantas suplementadas com silicato de cálcio e o efeito de fontes de silício na intensidade da antracnose do feijoeiro

4.2.1 Delineamento experimental e análise estatística

4.2.1.1 Experimento 1

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com oito tratamentos, quatro repetições e quatro plantas por parcela. Os tratamentos foram constituídos de suspensões com diferentes concentrações de inóculo (0 , 10^3 , 10^4 , 5×10^4 , 10^5 , 5×10^5 , 10^6 conídios/mL de água), para obter diferentes níveis de doença, em vasos adubados com silicato de cálcio (1,89 g de SiO_2 por quilo de solo) e uma testemunha sem silicato de cálcio, porém, com o teor de

cálcio compensado por óxido de cálcio (CaO) incorporado ao solo e inoculada com 10^6 conídios/mL de água.

A análise estatística foi obtida utilizando o teste F, considerando o nível de significância fixado em 5%. As variáveis, cujos tratamentos foram significativos, foram submetidas à regressão e ajuste de modelo. Foi realizado contraste entre os tratamentos com a maior concentração de inóculo diferenciando na presença ou ausência de silicato de cálcio. A análise foi realizada no programa SISVAR, versão 4.3 (Build 45) e os gráficos no programa ORIGIN, versão 7.0.

4.2.1.2 Experimento 2

Utilizou-se o delineamento experimental em blocos casualizados, constituído de cinco tratamentos, quatro repetições e quatro plantas por parcela, sendo plantas suplementadas com silicato de cálcio (1,89 g de SiO_2 por quilo de solo) via solo; com silicato de sódio (1,26 g de SiO_2 por litro de água) por meio de pulverização foliar; com óxido de cálcio via solo; plantas somente com adubação tradicional, de acordo com a recomendação descrita por Malavolta et al. (1997) e, por fim, a testemunha absoluta com adubação tradicional, porém, sem inoculação do patógeno.

A análise estatística do experimento foi realizada por meio do programa SISVAR, versão 4.3 (Build 45). As médias entre os tratamentos foram comparadas pelo teste F, a 5% de probabilidade. As variáveis, cujos efeitos de tratamentos foram significativos, foram submetidas ao teste Scott-Knott.

4.2.2 Preparo do inóculo e inoculação

Para obter o inóculo, cultura monospórica de *Colletotrichum lindemuthianum*, raça 81, crescida em meio M3, foi multiplicada em vagens de feijoeiro, em tubos de ensaio contendo meio ágar água e mantidos na BOD a

21°C ±1°C, durante 10 dias. Esses tubos, inicialmente, foram autoclavados por três dias consecutivos, durante 1 hora a 120°C e, no quarto dia, foi realizada a multiplicação para as vagens. Após o crescimento micelial, foi adicionada água destilada nos tubos para obter a suspensão de inóculo, que foi filtrado em gaze dupla.

No primeiro ensaio, a quantificação foi realizada em hemacitômetro, sendo ajustada para seis diferentes concentrações de inóculo (10^3 , 10^4 , 5×10^4 , 10^5 , 5×10^5 , 10^6 conídios/mL). No segundo ensaio, a quantificação foi ajustada para 5×10^4 conídios/mL.

As inoculações foram realizadas aos 25 dias após a semeadura (estádio V4, 3ª folha trifoliolada), utilizando pulverizador manual com capacidade para 0,5L, até o ponto de escorrimento. Em seguida, os vasos foram cobertos individualmente com saco plástico branco por 14 horas, para estabelecer condições favoráveis à penetração do patógeno.

4.2.3 Avaliações da doença e de caracteres agronômicos

As avaliações foram realizadas a cada cinco dias. As variáveis avaliadas foram incidência, severidade e área foliar. A incidência foi avaliada pela porcentagem de plantas com sintomas de antracnose na parcela e número de folíolos por planta com sintomas.

A severidade da antracnose foi quantificada com a escala diagramática de Pastor Corrales (Tamoyo, 1995).

Após o término das avaliações, os dados de incidência e severidade foram integrados ao longo do tempo, obtendo-se a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), pela fórmula:

$$\text{AACPD} = \sum_{i=1}^{n-1} [(X_i + X_{i+1}) / 2] (t_{i+1} - t_i) \text{ (Campbell \& Madden, 1990)}$$

em que X é a intensidade da doença, t o tempo e n o número de avaliações no tempo.

A área foliar foi obtida por meio da equação de Lamauti (1995), $AF = 2,37 x^{1,9642} - 2,7013$, em que AF é a área da folha trifoliolada, em cm^2 e x é a maior largura do folíolo central, em cm. O índice de área foliar (LAI) foi calculado a partir dos valores da área foliar de cada planta pela área do vaso ocupada por planta. Para relacionar a curva de progresso da doença e o crescimento da planta, foi calculada a duração da área foliar sadia (HAD) em que:

$HAD = \sum \{ [LAI (1-X_i) + LAI_{i+1} (1- X_{i+1})] / 2 \} (t_{i+1} - t_i)$ (Bergamin Filho et al., 1997).

4.3 Experimento 3: Efeito do silício na resistência de folhas de feijoeiro a *C. lindemuthianum*

4.3.1 Montagem, inoculação e coleta

Foram utilizados como tratamentos: plantas suplementadas com silicato de cálcio (1,89 g de SiO_2 por kg de solo) via solo; com silicato de sódio (1,26 g de SiO_2 por litro de água) via foliar; com óxido de cálcio (CaO) via solo e plantas somente com adubação tradicional. Cada tratamento era constituído de quatro plantas.

Após 25 dias da semeadura (etapa V4, 3ª folha trifoliolada), dez folhas do feijoeiro por tratamento foram destacadas e colocadas em bandejas plásticas anteriormente preenchidas com papel umedecido e papel alumínio e fechada com saco plástico, mantendo-se a umidade elevada. Para facilitar a localização do patógeno, quatro círculos de 0,5 cm de diâmetro foram marcados por folhas com auxílio de uma caneta e a inoculação (1×10^5 conídios/mL) foi realizada

dentro deste círculo. A coleta dos fragmentos de folha de 9 mm² foi realizada às 6, 12, 18, 36 e 48 horas após a inoculação.

4.3.2 Preparo das amostras para observação em microscópio eletrônico de varredura (MEV)

Depois de coletadas, os fragmentos foram imersos em solução fixativa, pH 7,2 e armazenadas na geladeira. Em seguida, as amostras foram lavadas com tampão cocodilato (0,05M) por três vezes, durante 10 minutos. As secções obtidas foram transferidas para uma solução de tetróxido de ósmio 1% em água por duas horas e subsequentemente desidratadas em uma série de acetona (30%, 50%, 70%, 90% e 100% por três vezes) e depois levadas para o aparelho de ponto crítico. Os espécimes obtidos foram montados em suportes de alumínio "stubs".

Com a ajuda de uma fita de carbono, os espécimes foram colocados sobre "stubs" revestidos por uma película de papel alumínio, cobertos com ouro e observados em microscópio eletrônico de varredura LEO Evo 40. Foram geradas e registradas digitalmente, em aumentos variáveis, diversas imagens para cada amostra e as imagens geradas foram gravadas e abertas no software Photopaint do pacote Corel Draw 9.

4.3.3 Preparo das amostras para microanálise de raios-X

Oito fragmentos do limbo foliar, das mesmas folhas utilizadas para a observação em MEV, foram preparados para a microanálise de raios-X (MAX). As amostras foram lavadas três vezes com água destilada e secas em estufa por 40 minutos a 70°C. Posteriormente, os espécimes foram montados em suportes de alumínio "stubs", tendo metade destes sido montados com a face superior voltada para cima e a outra metade com a face inferior voltada para cima. Estes

espécimes foram levados para o dessecador contendo sílica gel, onde permaneceram por 24 horas. Em seguida, foram levados ao aparelho 'sputtering' (MED 010, Balzer) e cobertos com uma fina camada de carbono. Em seguida as amostras foram observadas em MEV (DSM940-Zeiss, acoplado ao sistema de microanálise de raios-X: EDS-OXFORD INSTRUMENT Link ISIS) onde verificaram-se os elementos presentes.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

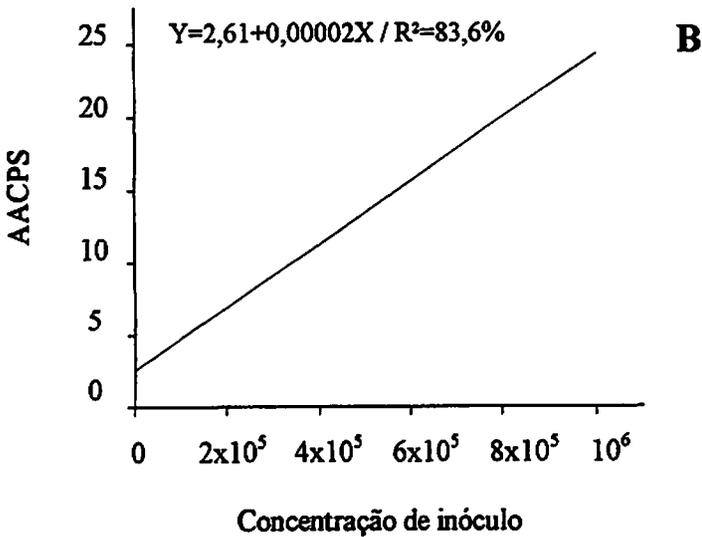
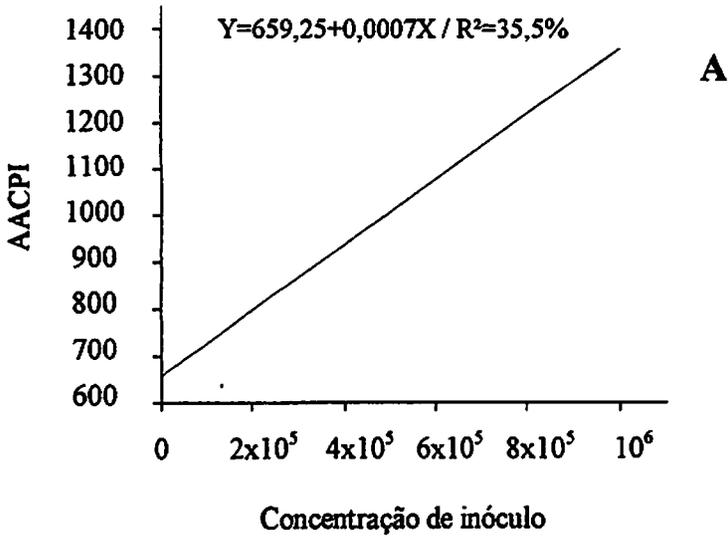
5.1 Diferentes concentrações de inóculo de *Colletotrichum lindemuthianum* em plantas suplementadas com silicato de cálcio

A área abaixo da curva de progresso da incidência (AACPI), área abaixo da curva de progresso da severidade (AACPS) e a duração da área foliar sadia (HAD) apresentaram diferença significativa para as diferentes concentrações de inóculo nos tratamentos suplementados com silício. Os dados ajustaram-se ao modelo linear. Verificou-se aumento crescente da incidência e severidade da doença com o aumento da densidade de inóculo (0 , 10^3 , 10^4 , 5×10^4 , 10^5 , 5×10^5 , 10^6 conídios/mL de água), inversamente à duração da área foliar sadia (Figura 1). Plantas não inoculadas apresentaram sintomas da doença, provavelmente devido à proximidade entre as unidades experimentais, porém, com baixa intensidade. Portanto, a redução do inóculo inicial afeta diretamente o desenvolvimento da planta de feijão.

Em estudos com plantas de feijoeiro inoculadas com $1,3 \times 10^1$, 10^2 , 10^3 , 10^4 e 10^5 conídios de *Colletotrichum lindemuthianum*/mL, observou-se aumento linear da severidade da doença nas folhas com o aumento da densidade de inóculo (Dillard e Cobb, 1993). Dados semelhantes foram observados por Nunes e Bergamin Filho (1996) no mesmo patossistema, verificando o aumento da severidade da antracnose e, conseqüentemente, redução da HAD, com o aumento das concentrações (0 , 10^2 , 10^4 e 10^6 conídios/mL).

Silveira et al. (2001) observaram a influência de diferentes concentrações de inóculo (10^1 a 10^8 esporos/mL) de *Fusarium verticillioides*, *Geotrichum candidum* e *Rhizopus stolonifer* na incidência de podridões em frutos de tomateiro, verificando o máximo da doença na concentração 10^4

esporos/mL para *F. verticillioides* e *R. stolonifer*, enquanto o mesmo nível foi atingido por *G. candidum* com 10^8 esporos/mL.



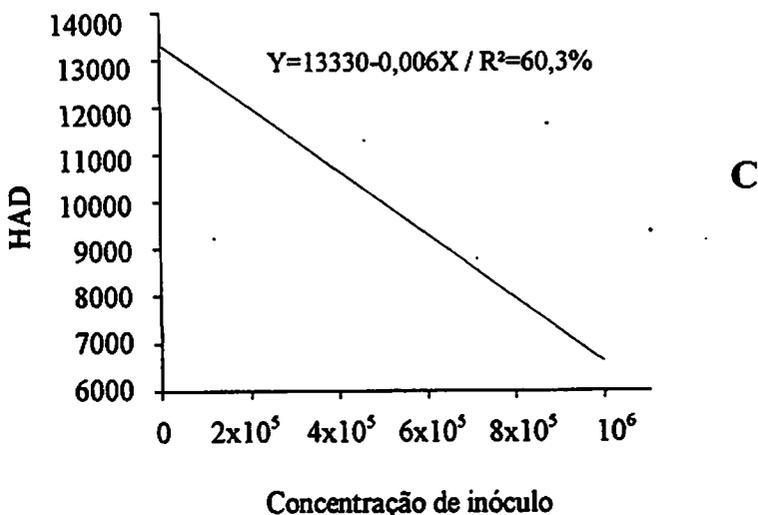


FIGURA 1 - A) área abaixo da curva de progresso da incidência; B) área abaixo da curva de progresso da severidade; C) duração da área foliar sadia em função das concentrações de inóculo

Observou-se diferença significativa do contraste entre as plantas inoculadas com 10⁶ conídios/mL e tratadas com óxido de cálcio e silicato de cálcio. Plantas suplementadas com 1,89 g de SiO₂ por quilo de solo apresentaram menor AACPD da incidência e severidade. A duração da área foliar sadia não foi influenciada pela ausência ou presença de silício na concentração de 10⁶ conídios/mL.

Resultados semelhantes foram observados em plantas de abóbora suplementadas com CaCO₃ e CaSiO₃. Os autores verificaram redução de 83% no número de lesões de *Podospaera xanthii* (oídio) e de 48% na incidência da doença em plantas tratadas com silício, em relação às plantas tratadas com CaCO₃ (Heckman et al., 2003).

Cucurbitáceas (pepino, melão, abóbora e abobrinha) em solução nutritiva e pulverizadas com silicato de potássio, hidróxido de potássio e ácido fosfórico, apenas as plantas suplementadas com silicato de potássio apresentaram menor número de colônias de oídio (Menzies et al., 1991; Menzies et al. 1992).

5.2 Efeito de fontes de silício na intensidade da antracnose do feijoeiro

De acordo com a análise de variância, os tratamentos utilizados não apresentaram efeito significativo na incidência da doença, exceto o tratamento sem inoculação. Em estudo com mudas de café suplementadas com diferentes doses de silicato de cálcio e silicato de sódio, correspondendo a 0; 0,315; 0,63 e 1,26 g de SiO₂ por quilo de substrato, também não foi constatado efeito de fontes de silício na área abaixo da curva de progresso do número de mudas doentes (Santos, 2002).

No entanto, o silicato de sódio apresentou efeito significativo na redução da AACPS, contrastando com o silicato de cálcio e o óxido de cálcio, que não influenciaram a severidade da antracnose. Observou-se redução de 62,4% na severidade da antracnose em relação à testemunha inoculada (Figura 2). Pôde-se observar maior valor da AACPS em relação ao primeiro experimento, provavelmente devido às baixas temperaturas, o que é favorável ao patógeno.

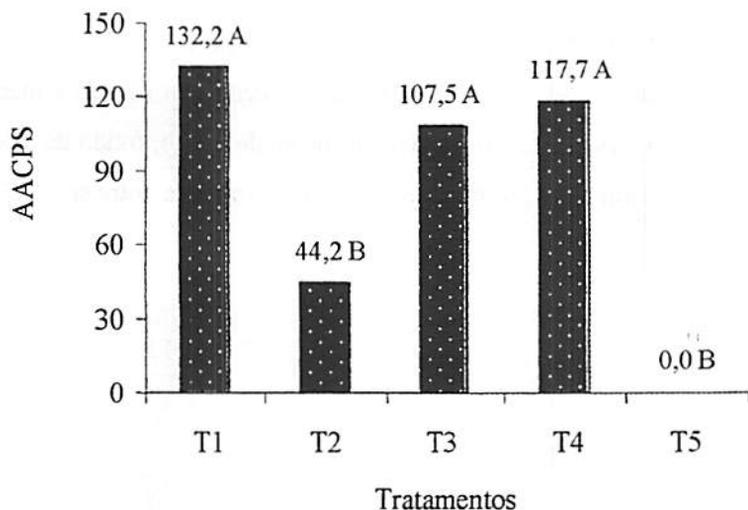


FIGURA 2 - Área abaixo da curva de progresso da severidade da antracnose nos cinco diferentes tratamentos: CaSiO_3 (T1), Na_2SiO_3 (T2), CaO (T3), testemunha inoculada (T4) e testemunha absoluta (T5) (Letras distintas representam diferenças, a 5%, pelo teste Scott-Knott)

Resultados semelhantes foram observados em plantas de uva suplementadas com silicato de potássio em solução nutritiva e aplicação foliar. Plantas crescidas em solução nutritiva (1,7 mM Si) não apresentaram efeito positivo na redução da severidade do oídio, entretanto, o silicato de potássio aplicado via foliar (17 mM Si) reduziu a severidade em 14% e 9% no primeiro e segundo experimento, respectivamente. Os autores observaram o efeito inibitório do silício na germinação dos conídios, no entanto, apesar de não proporcionar redução na severidade do oídio, observou-se, em plantas crescidas em solução nutritiva, a deposição de Si ao redor do apressório do fungo (Bowen et al., 1992).

Não houve diferença significativa entre o HAD para a testemunha e o tratamento com silicato de sódio (Figura 3). Esse aumento foi devido à menor severidade da doença. As plantas tratadas com silicato de cálcio, óxido de cálcio e a testemunha inoculada não apresentaram diferença estatística entre si.

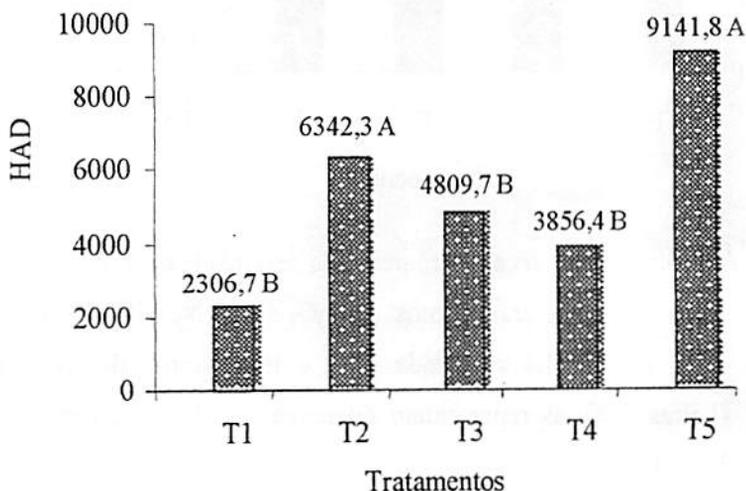


FIGURA 3 - Duração da área foliar sadia (HAD) nos cinco diferentes tratamentos: CaSiO_3 (T1), Na_2SiO_3 (T2), CaO (T3), testemunha inoculada (T4) e testemunha absoluta (T5) (Letras distintas representam diferenças, a 5%, pelo teste Scott-Knott)

Estudando o efeito da ferrugem, da antracnose e da mancha-angular em plantas de feijoeiro, os autores relataram a redução da área foliar verde em decorrência do aumento da severidade calculada pela diferença entre a área abaixo da curva de progresso da área foliar verde (AUGLAPC) e a área abaixo

da curva de progresso da área foliar total (AUTLAPC) das plantas doentes (Silva et al., 1998).

5.3 Temperatura e umidade relativa do ar

Foi realizado o monitoramento da temperatura e da umidade relativa do ar em casa de vegetação com o auxílio de um termoigrógrafo. A temperatura máxima média durante a condução do primeiro experimento foi de 24°C e a mínima de 23°C e, no segundo experimento, foi de 21°C e 19°C, respectivamente, mantendo-se dentro do intervalo favorável ao patógeno (entre 13°C e 27°C) (Bianchini et al., 1997). A umidade relativa média oscilou entre 73% e 64% no primeiro ensaio e entre 75 e 68%, no segundo (Figura 4 e 5).

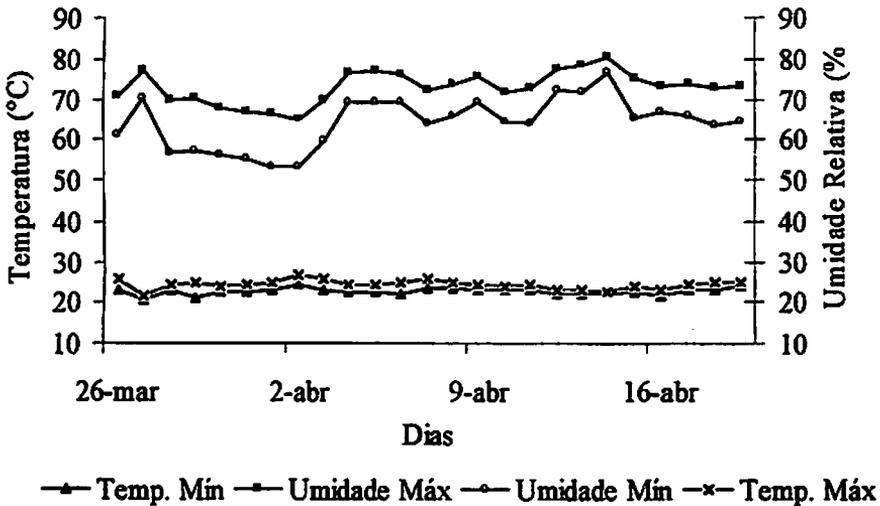


FIGURA 4 - Comportamento da temperatura e umidade relativa do ar, em casa de vegetação no ensaio de concentração de inóculo

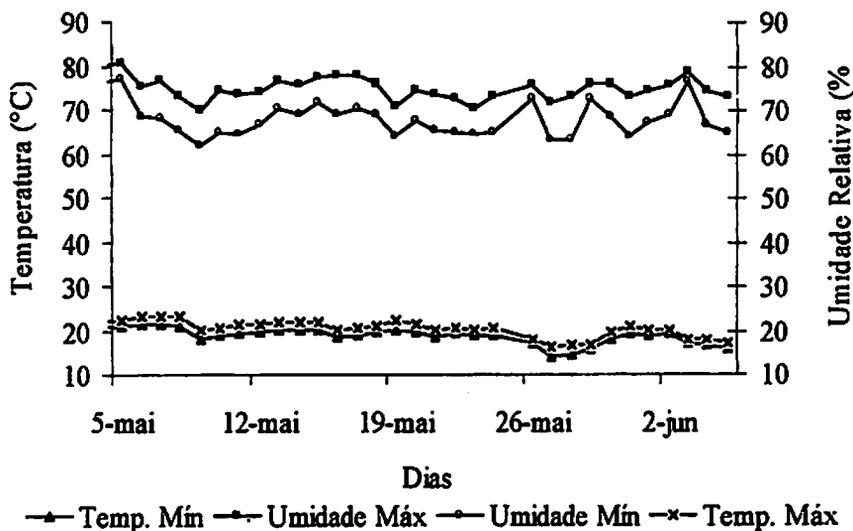


FIGURA 5 - Comportamento da temperatura e umidade relativa do ar, em casa de vegetação, no ensaio de fontes de inóculo

5.4 Efeito do silício na resistência de folhas de feijoeiro a *C. lindemuthianum*

Por meio de MEV, não foi observada diferença entre os tratamentos utilizados; apenas visualizaram-se os conídios não germinados, portanto, não foram obtidos resultados conclusivos (Figura 6). Entretanto, em plantas de pepino suplementadas com 100 ppm de silicato de potássio, com o uso de microscópio eletrônico de varredura acoplada à microanálise de raios-X, foi observada a deposição de silício na base do tricoma, ao redor das hifas e dos conidióforos de *Sphaerotheca fuliginea* (Samuels et al., 1991).

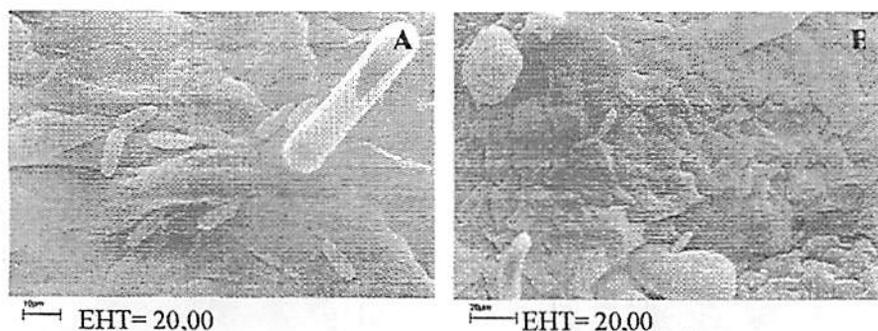


FIGURA 6 - Superfície inferior de folhas de plantas de feijoeiro. A) testemunha; B) silicato de sódio

Na MAX, verificou-se maior quantidade de silício em folhas de plantas suplementadas com silício, destacando-se as plantas pulverizadas com silicato de sódio (Figura 7). As quantidades de cálcio encontradas nos tratamentos não foram diferenciadas, no entanto a quantidade de sódio foi maior nas folhas de plantas pulverizadas com silicato de sódio.

Pozza et al. (2004) também encontraram maior quantidade de silício nas folhas de plantas de cafeeiro tratadas com 1 g de silicato de cálcio incorporado em 1 kg de substrato.

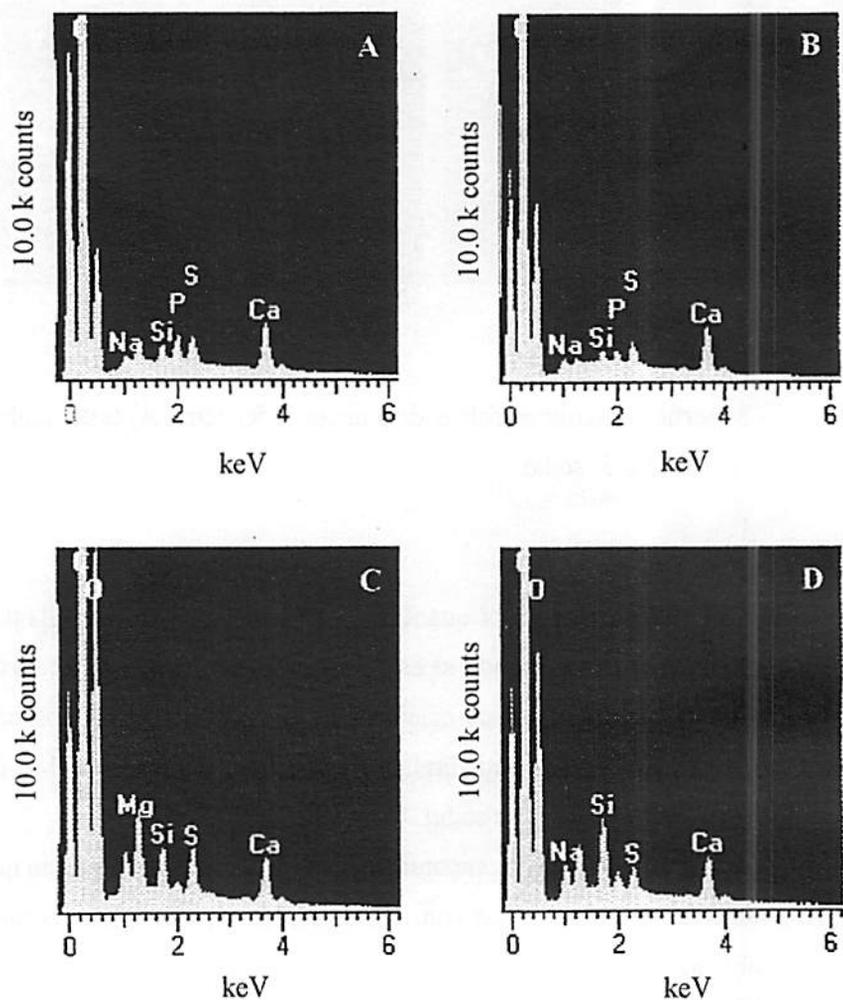


FIGURA 7 - Microanálise de raios-X da superfície inferior de folhas de feijoeiro nos quatro diferentes tratamentos: A) testemunha; B) óxido de cálcio; C) silicato de cálcio; D) silicato de sódio

6 CONCLUSÕES

- 1. A redução do inóculo inicial proporcionou índices decrescentes para a área abaixo da curva de progresso dos folíolos lesionados e para o total de lesões por planta.**
- 2. O silicato de cálcio reduziu a área abaixo da curva de progresso da incidência e severidade no primeiro ensaio.**
- 3. A aplicação de silicato de sódio nas folhas do feijoeiro diminuiu em 62,4% a área abaixo da curva de progresso do total de lesões por planta em relação à testemunha.**
- 4. A duração da área foliar sadia (HAD) não apresentou efeito significativo para a testemunha e o tratamento com aplicação foliar de silicato de sódio.**

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base no referencial teórico e nos resultados obtidos no presente trabalho, pôde-se observar o potencial do silício na redução de doenças. No entanto, para se obter mais resultados sobre a aplicabilidade de silicatos na agricultura, seria interessante dar continuidade aos estudos, procurando trabalhar com diferentes cultivares em diferentes tipos de solo e combinações com nutrientes e temperatura. Como sugestão para o estudo sobre o mecanismo pelo qual o silício influencia a resistência do hospedeiro contra o patógeno, recomendam-se observações do comportamento do silício na planta por meio de microscopia eletrônica de varredura e transmissão e medições da atividade da peroxidase, última enzima chave na rota de lignina. Dessa forma, será possível detectar o aumento da atividade dessa enzima envolvida no metabolismo anti-oxidativo e ou mecanismo de defesa.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CHAVES, G. Antracnose. In: SHWARTZ, H. F.; GALVEZ, G. E. (Ed). Bean production problems: disease, insect, soil and climatic of *Phaseolus vulgaris*. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1980. 424p.

BERGAMIN FILHO, A.; CARNEIRO, S. M. T. P. G.; GODOY, C. V.; AMORIM, R. D.; BERGER, R. D.; HAU, B. Angular leaf sopt of *Phaseolus* beans: relationships between disease, healthy leaf area, and yield. *Phytopathology*, may., v.87, n.5, p.506-515, 1997.

BIANCHINI, A.; MARINGONI, A. C.; CARNEIRO, S. M. T. P. G. Doenças do Feijoeiro. In: KIMATI, H.; AMORIM, L.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L. E. A.; REZENDE, J. A. M. Manual de Fitopatologia, v.2, p.376-399, 1997.

BOWER, P.; MENZIES, J.; EHRET, D. Soluble silicon spray inhibit powdery mildew development on grape leaves. *Journal of the American Society for Horticultural Sciences*, Alexandria, v. 117, n.6, p.906 – 912, Nov. 1992.

CAMPBELL, C. L.; MADDEN, L. V. Introduction to plant disease epidemiology. New York: J. Wiley & Sons, 1990. 532p.

DILLARD, H. R.; COBB, A. C. Survival of *Colletotrichum lindemuthianum* in bean debris in New York State. *Plant Disease*, St. Paul, Dec., v.77, n.12, p.1233-1238, 1993.

HECKMAN, J. R.; JOHNSTON, S.; COWGILL, W. Pumpkin yield and disease response to amending soil with silicon. *HortScience*, Alexandria, July, v. 38, n.4, p.552-554, 2003.

IAMAUTI, M. T. Avaliação de danos causados por *Uromyces appendiculatus* no feijoeiro. Piracicaba, ESALQ/USP, 1995 (Tese - Doutorado em Fitopatologia), 133p. 1995.

LIMA, M. T. G. de. Interrelação Cancro da haste (*Diaporthe phaseolorum* f. sp. *meridionalis*), nodulação (*Bradyrhizobium japonicum*) e silício em soja [*Glycine Max* (L.) Merrill]. Piracicaba Centro de Energia Nuclear na Agricultura, (Tese - Doutorado em Energia Nuclear na Agricultura), 1998. 58p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações.** 2 ed. ver. e atual. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.

MENZIES, J. G.; EHRET, D. L.; GLASS, A. D. M.; HELMER, T.; KOCH, C. SEYWERD, F. Effects of soluble silicon on the parasitic fitness of *Sphaerotheca fuliginea* on *Cucumis sativus*. *Phytopathology*, jan., v.81, n.1, p. 84-88, 1991.

MENZIES, J.; BOWEN, P.; EHRET, D.; GLASS, A. D. M. Foliar applications of potassium silicate reduce severity of powdery mildew on cucumber, muskmelon, and zucchini squash. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, nov., 117, v.6, p.902-905, 1992.

NUNES, W. M. C. de; BERGAMIN FILHO, A. **Avaliação dos danos causados pela antracnose (*Colletotrichum lindemuthianum*) do feijoeiro.** *Fitopatologia Brasileira*, v.21, n.4, p.436-442, 1996.

POZZA, A. A.; ALVES, E.; POZZA, E. A.; CARVALHO, J. G. de; MONTANARI, M.; GUIMARÃES, P. T. G.; SANTOS, D. M. Efeito do silício no controle da cercosporiose em três variedades de cafeeiro. *Fitopatologia Brasileira*, v.29, n.2, p.185-188, 2004.

SAMUELS, A. L.; GLASS, A. D. M.; EHRET, D. L.; MENZIES, J. G. Distribution of silicon leaves during infection by powdery mildew fungus (*Sphaerotheca fuliginea*). *Can. J. Bot.*, jan., v.69, p.140-146, 1991.

SANTOS, D. M. **Efeito do silício na intensidade da cercosporiose (*Cercospora coffeicola* Berk. & Cooke) em mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.).** 2002. 43p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

SILVA, M. B.; VALE, F. X. R.; ZAMBOLIM, L.; HAU, BERNHARD. Efeitos da ferrugem, da antracnose e da mancha-angular na área foliar de plantas de feijoeiro em condições de campo. *Fitopatologia Brasileira*, v.23, n.4, p.442-447, 1998.

SILVEIRA, N. S. S.; MICHHEREFF, S. J.; MARIANO, R. L. R.; TAVARES, L. A.; MAIA, L. C. Influência da temperatura, período de molhamento e concentração do inóculo de fungos na incidência de podridões pós-colheita em frutos de tomateiro. *Fitopatologia Brasileira*, v.26, n.1, p.33-38, 2001.

TAMOYO, P. J. Manejo y control de las enfermedades del frijol voluble. Rio Negro. Peloto, 40p. 1995.

ANEXOS

	Páginas
TABELA 1A. Resumo da análise de variância (quadrados médios) dos valores da área abaixo da curva de progresso da incidência da doença (AACPI), área abaixo da curva de progresso da severidade da doença (AACPS), índice de área foliar (LAI) e duração da área foliar sadia (HAD). UFLA, Lavras, MG, 2004.....	84
TABELA 2A. Resumo da análise de variância (quadrados médios) dos valores de produção de matéria seca da parte aérea (MSPA), das raízes (MSR), do total (MST), do teor de lignina nos tecidos da parte aérea e concentração de SiO ₂ (mg kg ⁻¹). UFLA, Lavras, MG, 2004.....	84
TABELA 3A. Resumo da análise de variância (quadrados médios) das concentrações, g kg ⁻¹ , das análises químicas realizadas na parte aérea, de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) em função das doses de silicato de cálcio e sulfato de cobre aplicados no substrato e parte aérea, respectivamente. UFLA, Lavras, MG, 2004.....	85
TABELA 4A. Resumo da análise de variância (quadrados médios) das concentrações, mg kg ⁻¹ , das análises químicas realizadas na parte aérea, de boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) em função das doses de silicato de cálcio e sulfato de cobre aplicados no substrato e parte aérea, respectivamente. UFLA, Lavras, MG, 2004.....	85
TABELA 5A. Resumo da análise de variância (quadrados médios) dos valores da área abaixo da curva de progresso da incidência da doença (AACPI), área abaixo da curva de progresso da severidade da doença (AACPS) e da duração da área foliar sadia (HAD), experimento I. UFLA, Lavras, MG, 2004.....	86
TABELA 6A. Resumo da análise de variância (quadrados médios) dos valores da área abaixo da curva de progresso da	

	valores da área abaixo da curva de progresso da incidência da doença (AACPID), área abaixo da curva de progresso da severidade da doença (AACPSD) e da duração da área foliar sadia (HAD), experimento II. UFLA, Lavras, MG, 2004.....	86
TABELA 7A.	Médias da área abaixo da curva de progresso da incidência (AACPI), área abaixo da curva de progresso da severidade (AACPS) e duração da área foliar sadia HAD, experimento I. UFLA, Lavras, MG, 2004.....	87
TABELA 8A.	Médias da área abaixo da curva de progresso da incidência (AACPI), área abaixo da curva de progresso da severidade (AACPS) e duração da área foliar sadia HAD, experimento II. UFLA, Lavras, MG, 2004.....	87
TABELA 9A.	Médias da área abaixo da curva de progresso da incidência (AACPI), área abaixo da curva de progresso da severidade (AACPS), duração da área foliar sadia (HAD), índice de área foliar (LAI), matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca da raiz (MSR), matéria seca total (MST), teor de lignina e concentração de silício (CS).....	88
TABELA 10A.	Médias dos teores de nutrientes na parte aérea, em função de doses de silício e cobre.....	89

TABELA 1A. Resumo da análise de variância (quadrados médios) dos valores da área abaixo da curva de progresso da incidência da doença (AACPI), área abaixo da curva de progresso da severidade da doença (AACPS), índice de área foliar (LAI) e duração da área foliar sadia (HAD). UFLA, Lavras, MG, 2004.

FV	GL	AACPI	AACPS	LAI	HAD
Blocos	2	100846,69*	704,35*	12,37 ^{ns}	43866278,91*
Tratamento	17	219879,60*	317,88*	6,39 ^{ns}	18318305,35 ^{ns}
CaSiO ₃	3	21919,97*	37,30 ^{ns}	1,45 ^{ns}	2824917,46 ^{ns}
CuSO ₄	3	5761,20 ^{ns}	507,18*	2,83 ^{ns}	632981,54 ^{ns}
Interação	9	3130,97 ^{ns}	30,89 ^{ns}	2,30 ^{ns}	2906101,23 ^{ns}
¹ Adicional 1	1	25807,82 ^{ns}	243,26 ^{ns}	1,34 ^{ns}	2583617,75 ^{ns}
² Adicional 2	1	3600923,18*	3249,21*	73,72*	272298965,18*
C.V. (%)		7,63	22,55	19,23	14,6

*significativo pelo teste de F, a 5% de probabilidade.

^{ns} não significativo.

¹contraste 1: Tratamento com fungicida versus os demais.

²contraste 2: Tratamento sem inoculação versus os demais.

TABELA 2A. Resumo da análise de variância (quadrados médios) dos valores de produção de matéria seca da parte aérea (MSPA), das raízes (MSR), do total (MST), do teor de lignina nos tecidos da parte aérea e concentração de SiO₂ (mg kg⁻¹). UFLA, Lavras, MG, 2004.

FV	GL	MSPA	MSR	MST	%Lignina	SiO ₂
Blocos	2	6,33 ^{ns}	0,43 ^{ns}	7,37 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,10 ^{ns}
Tratamento	17	10,80 ^{ns}	0,33 ^{ns}	13,06 ^{ns}	1,84*	0,07 ^{ns}
CaSiO ₃	3	5,57 ^{ns}	0,25 ^{ns}	4,85 ^{ns}	1,03*	0,21*
CuSO ₄	3	13,52 ^{ns}	0,47 ^{ns}	12,93 ^{ns}	3,34*	0,10 ^{ns}
Interação	9	10,31 ^{ns}	0,26 ^{ns}	14,67 ^{ns}	1,58*	0,03 ^{ns}
¹ Adicional 1	1	2,10 ^{ns}	0,01 ^{ns}	3,35 ^{ns}	3,03*	0,00 ^{ns}
² Adicional 2	1	31,48 ^{ns}	1,11*	33,28 ^{ns}	1,22*	0,03 ^{ns}
C.V. (%)		32,15	109,29	31,02	5,08	26,14

*significativo pelo teste de F, a 5% de probabilidade.

^{ns} não significativo.

¹adicional 1: Tratamento com fungicida versus os demais.

²adicional 2: Tratamento sem inoculação versus os demais.

TABELA 3A. Resumo da análise de variância (quadrados médios) das concentrações, g kg⁻¹, das análises químicas realizadas na parte aérea, de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S), em função das doses de silicato de cálcio e sulfato de cobre aplicados no substrato e parte aérea, respectivamente. UFLA, Lavras, MG, 2004.

FV	GL	N	P	K	Ca	Mg	S
Blocos	2	0,16 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,41*	0,00*	0,00*
Tratamento	17	0,23 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,21*	0,67*	0,00*	0,00 ^{ns}
CaSiO ₃	3	0,02 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,46*	1,25*	0,00*	0,00 ^{ns}
CuSO ₄	3	0,47 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,14*	0,31*	0,00*	0,00 ^{ns}
Interação	9	0,21 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,15*	0,36*	0,00*	0,00*
¹ Adicional 1	1	0,25 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,42*	3,03*	0,00*	0,00 ^{ns}
² Adicional 2	1	0,28 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,61*	0,00*	0,00 ^{ns}
C.V. (%)		15,67	12,17	12,93	11,46	10,27	9,64

*significativo pelo teste de F, a 5% de probabilidade.

^{ns} não significativo.

¹adicional 1: Tratamento com fungicida versus os demais.

²adicional 2: Tratamento sem inoculação versus os demais.

TABELA 4A. Resumo da análise de variância (quadrados médios) das concentrações, mg kg⁻¹, das análises químicas realizadas na parte aérea, de boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn), em função das doses de silicato de cálcio e sulfato de cobre aplicados no substrato e parte aérea, respectivamente. UFLA, Lavras, MG, 2004.

FV	GL	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Blocos	2	16,63 ^{ns}	1298,26 ^{ns}	47132,72 ^{ns}	24,14 ^{ns}	22,68 ^{ns}
Tratamento	17	62,43 ^{ns}	1969,27 ^{ns}	51108,19 ^{ns}	612,09*	75,93*
CaSiO ₃	3	52,89 ^{ns}	1148,51 ^{ns}	86530,71 ^{ns}	739,41 ^{ns}	202,68*
CuSO ₄	3	17,94 ^{ns}	1121,33 ^{ns}	21035,44 ^{ns}	380,01 ^{ns}	0,70 ^{ns}
Interação	9	53,15 ^{ns}	2521,78 ^{ns}	33178,04 ^{ns}	442,98 ^{ns}	70,10*
¹ Adicional 1	1	4,15 ^{ns}	2413,96 ^{ns}	82787,95 ^{ns}	2797,84*	6,54 ^{ns}
² Adicional 2	1	369,60*	1333,24 ^{ns}	150750,91 ^{ns}	371,99 ^{ns}	45,01 ^{ns}
C.V. (%)		16,53	98,06	52,95	22,34	19,23

*significativo pelo teste de F, a 5% de probabilidade.

^{ns} não significativo.

¹adicional 1: Tratamento com fungicida versus os demais.

²adicional 2: Tratamento sem inoculação versus os demais.

TABELA 9A. Médias da área abaixo da curva de progresso da incidência (AACPI), área abaixo da curva de progresso da severidade (AACPS), duração da área foliar sadia (HAD), índice de área foliar (LAI), matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca da raiz (MSR), matéria seca total (MST), teor de lignina e concentração de silício (CS)

SiO ₂	Cu	AACPI	AACPS	HAD	LAI	MSPA	MSR	MST	Lignina	CS
0	0	1291,94	44,90	19097,15	10,84	9,95	0,41	10,37	11,27	0,98
0	19,5	1254,74	45,25	19064,50	10,77	9,79	0,40	10,19	10,33	0,90
0	58,5	1228,21	36,78	17588,53	9,56	8,99	0,67	9,66	8,00	0,94
0	78	1204,85	34,62	18074,68	9,94	8,66	0,36	9,02	9,80	0,89
0,63	0	1128,79	48,30	17431,49	9,87	9,87	0,30	10,18	9,17	0,77
0,63	19,5	1221,17	41,78	17853,39	10,10	9,55	0,39	9,94	10,33	1,01
0,63	58,5	1172,84	30,04	18948,27	10,44	12,06	0,43	12,49	9,60	0,93
0,63	78	1207,59	34,78	18036,09	9,94	9,27	0,44	9,71	10,73	0,85
1,26	0	1244,90	49,95	19368,73	12,77	9,34	0,30	9,64	10,27	1,04
1,26	19,5	1229,05	38,78	16200,90	8,89	7,55	0,42	7,98	10,90	1,14
1,26	58,5	1172,70	37,22	18603,72	10,18	8,79	0,35	9,14	10,27	0,90
1,26	78	1185,28	28,40	18633,71	10,08	9,46	0,57	10,02	10,60	0,96
1,89	0	1165,16	42,96	17068,91	9,94	14,96	0,38	15,35	10,47	1,18
1,89	19,5	1168,43	37,50	17721,05	9,95	7,47	0,42	7,89	10,33	1,47
1,89	58,5	1113,11	32,16	16758,06	9,22	8,78	0,65	9,43	9,53	1,18
1,89	78	1126,83	31,82	17758,21	9,54	8,56	0,54	9,10	10,53	0,92
0	0	65,42	4,53	27833,31	15,29	12,89	0,62	13,51	10,73	1,11
0	0	1223,73	45,72	19545,55	11,12	10,82	0,48	11,30	9,13	1,03

TABELA 10A. Médias dos teores de nutrientes na parte aérea, em função de doses de silício e cobre

SiO ₂	Cu	g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹				
		N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
0	0	25,80	3,10	11,40	23,98	1,16	1,99	36,54	78,43	336,69	58,90	14,80
0	19,5	30,90	3,43	19,60	39,12	1,86	2,40	37,40	61,99	586,36	77,24	25,32
0	58,5	31,80	3,27	17,80	32,54	1,78	2,15	38,12	64,77	568,74	82,84	21,49
0	78	27,50	3,29	17,20	31,07	1,64	2,43	35,24	113,39	517,02	75,70	23,70
0,63	0	29,10	3,29	14,80	28,32	1,44	2,34	35,31	69,04	678,75	73,17	23,08
0,63	19,5	31,40	3,36	15,00	30,09	1,54	2,22	33,94	56,17	573,68	103,54	24,85
0,63	58,5	29,50	3,66	17,00	24,99	1,51	2,17	31,42	52,28	522,00	79,74	29,41
0,63	78	26,30	3,82	17,40	25,72	1,43	2,03	27,17	72,51	525,33	68,34	25,97
1,26	0	30,40	3,82	16,40	28,35	1,48	2,41	36,75	84,93	737,29	82,22	28,29
1,26	19,5	26,40	3,42	14,80	27,22	1,43	2,29	33,86	113,28	498,11	71,22	19,60
1,26	58,5	34,80	3,23	12,00	26,97	1,33	2,17	31,09	58,35	556,45	60,11	15,74
1,26	78	24,50	2,86	13,80	25,43	1,31	1,88	30,31	46,19	509,30	65,96	14,34
1,89	0	30,50	3,14	10,20	24,30	1,26	2,08	26,55	39,34	535,42	76,99	16,90
1,89	19,5	25,80	2,95	12,60	22,49	1,24	1,90	33,06	75,54	311,51	61,65	13,86
1,89	58,5	28,90	3,65	12,40	25,06	1,23	1,97	40,59	102,83	379,79	61,77	15,66
1,89	78	27,10	3,33	13,60	23,45	1,15	2,15	37,06	124,57	355,32	48,98	17,39
0	0	25,80	3,61	14,20	23,35	1,26	2,05	45,41	52,36	270,43	62,13	16,74
0	0	31,60	3,04	18,60	37,56	1,76	2,11	33,49	45,28	326,84	102,63	21,94