

# Nutrição do feijoeiro e intensidade da antracnose em função da aplicação de silício e cobre

Sylvia Raquel Gomes Moraes<sup>1</sup>, Edson Ampélio Pozza<sup>2</sup>, Adélia Aziz Alexandre Pozza<sup>3\*</sup>, Janice Guedes de Carvalho<sup>3</sup> e Paulo Estevão de Souza<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Fitopatologia, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Av. Pádua Dias, 11, 13418-900, Piracicaba, São Paulo, Brasil. <sup>2</sup>Departamento de Fitopatologia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, Brasil. <sup>3</sup>Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, Brasil. \*Autor para correspondência. E-mail: alana@ufla.br

**RESUMO.** O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do silicato de cálcio e do sulfato de cobre na intensidade da antracnose e no teor nutricional do feijoeiro. O experimento foi conduzido em blocos casualizados em arranjo fatorial 4 x 4 (quatro doses de silicato de cálcio, com quatro doses de sulfato de cobre) e dois tratamentos adicionais (plantas não-inoculadas e plantas pulverizadas com Benomyl). Foram feitas quatro avaliações da incidência e da severidade da doença, além de se mensurar a área foliar total. Ao término das avaliações, os dados de incidência e de severidade foram integrados ao longo do tempo, obtendo-se a área abaixo da curva de progresso da incidência (AACPI) e da severidade (AACPS). Os teores de N, P, K, Ca, Mg, B, Cu, Fe, Mn, Zn, Si e lignina foram avaliados na parte aérea. Observou-se decréscimo linear da AACPI com o aumento das doses de silicato de cálcio. Com o aumento das doses de cobre, houve redução de 35% na AACPS. O suprimento de silicato e de cobre alterou o teor de K, Mg, S, Zn, Ca e Si da parte aérea do feijoeiro.

**Palavras-chave:** *Colletotrichum lindemuthianum*, *Phaseolus vulgaris*, manejo integrado, nutrição mineral.

**ABSTRACT. Nutrition in bean plants and anthracnose intensity in function of silicon and copper application.** The objective of this work was to evaluate the effect of calcium silicate and copper sulfate on anthracnose intensity and nutrition of bean plants. The experiment was conducted using an experimental design in randomized blocks following a 4 x 4 factorial arrangement, (four levels of calcium silicate and four levels of copper sulfate) and two additional treatments (plants without inoculation and plants sprinkled with Benomyl). Four evaluations of the incidence and severity of anthracnose were done, in addition to measuring total leaf area. At the end of the evaluations, incidence and severity data were integrated over 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 in the aerial part. A linear decrease of the intensity AUDPC was observed with the increase of the doses of calcium silicate. The severity AUDPC was influenced by the doses of copper, obtaining a reduction of 35% on the higher dosage. The supply of silicon and copper altered the content of the K, Mg, S, Zn, Ca and Si in the aerial part of the bean plants.

**Key words:** *Colletotrichum lindemuthianum*, *Phaseolus vulgaris*, integrated management, mineral nutrition.

## Introdução

A antracnose do feijoeiro comum, cujo agente etiológico é o fungo *Colletotrichum lindemuthianum*, é a principal doença desta cultura e ocasiona perdas de até 100% se o plantio de sementes infectadas ocorrer em condições de alta umidade relativa e temperatura de baixa a moderada (CHAVES, 1980). Um dos principais métodos de controle é o uso de fungicidas, no entanto, métodos alternativos, como a nutrição mineral, podem auxiliar no manejo da doença. Pesquisas recentes evidenciaram o efeito do silício no controle de doenças

em várias culturas, bem como no aumento da taxa fotossintética, na melhoria da arquitetura foliar e em outros processos do metabolismo vegetal, resultando em maior qualidade dos alimentos e no aumento da produção (LIMA FILHO et al., 1999).

O silicato de cálcio aplicado no substrato de plantio (1 g kg<sup>-1</sup>) reduziu 43% de lesões por planta e 63,2% de folhas lesionadas pela cercosporiose do caféiro (*Cercospora coffeicola*), em relação à testemunha sem silicato, pela melhoria na nutrição das plantas e pelo aumento da espessura da cutícula

pela formação de camada de cera na superfície inferior das folhas (POZZA et al., 2004). Em videiras inoculadas com *Uncinula necator*, observou-se redução de 14% no número de colônias de oídio nas plantas pulverizadas com 1,7 mM (0,26 g L<sup>-1</sup>) de silicato de potássio, 24h 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). O silício também é citado como indutor de resistência (CHÉRIF et al., 1994; FAWE et al., 1998).

O uso do silício, em equilíbrio com outros nutrientes, demonstrou ser uma alternativa eficiente no controle de determinadas doenças de plantas e, se for associado a fungicidas, pode aumentar a sua eficiência, como ocorreu na cultura do arroz. Em plantas suplementadas com 1.000 kg ha<sup>-1</sup> de silicato de cálcio e com a combinação de silicato e fungicida (1.000 mL ha<sup>-1</sup> de edifenphos), a severidade da *Magnaporthe grisea* reduziu em 22 e 75%, respectivamente (SEEBOLD JR. et al., 2004). Em outro trabalho, também em plantas de arroz tratadas com silício, observou-se diminuição de 50% na incidência da bruzone, não diferindo estatisticamente dos tratamentos com benomyl. Porém, a aplicação de silício combinado com benomyl reduziu a incidência da doença em 80% (DATNOFF; SNYDER, 1994).

Diante do exposto, objetivou-se, neste trabalho, avaliar o efeito do silicato de cálcio e do sulfato de cobre na intensidade da antracnose e no teor nutricional do feijoeiro.

## Material e métodos

O experimento foi conduzido no período de agosto a dezembro de 2003, em casa-de-vegetação na Universidade Federal de Lavras, Estado de Minas Gerais. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com 18 tratamentos e três repetições, disposto em arranjo fatorial 4 x 4, com quatro doses de silicato de cálcio (0; 1; 2 e 3 g kg<sup>-1</sup> de solo) e quatro doses (0; 1; 3 e 4 mL L<sup>-1</sup> de água) da mistura sulfato de cobre (5%) + hidróxido de cálcio (8%), mais dois tratamentos adicionais: plantas não-inoculadas (testemunha absoluta) e plantas pulverizadas com Benomyl [1-(butilcarbamoil)-2-benzimidazol carbamato de metila] na formulação de Benlate 500 (50% de ingrediente ativo). As doses de silicato de cálcio (CaO – 18%, SiO<sub>2</sub> – 63%) corresponderam a 0; 0,63; 1,26 e 1,89 g de SiO<sub>2</sub> por kg de substrato e o cobre a 0; 19,5; 58,5 e 78 mg de Cu<sup>2+</sup> por L de água, aplicado três vezes. A parcela

experimental foi constituída de quatro plantas passíveis de avaliação, sendo duas por vaso.

Os resultados da análise físico-química do solo, antes da instalação do experimento foram: pH em água = 6,3; P<sub>Merlich-1</sub> = 3,1 mg dm<sup>-3</sup>; K = 47 mg dm<sup>-3</sup>; Ca = 4,7; Mg = 0,3; Al = 0,0; H+Al = 1,5; SB = 5,1; t = 5,1 e T = 6,6 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; V = 77,3; m = 0 e MO = 1,8%; P-rem = 5,8 mg L<sup>-1</sup>; Zn = 1,6; Fe = 32,2; Mn = 19,5; Cu = 1,4; B = 0,3 e S = 13,3 mg dm<sup>-3</sup>.

De acordo com os resultados da análise, calculou-se a adubação de plantio: 2,7 g de NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>; 1,15 g de KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>; 0,6 g de MgSO<sub>4</sub>; 66 mg de ZnSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O; 8,6 mg de H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>; 0,84 mg de H<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>.H<sub>2</sub>O e 59,7 mg de FeSO<sub>4</sub>.H<sub>2</sub>O vaso<sup>-1</sup>. Foram feitas quatro aplicações em cobertura com 0,32 g de NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> e 0,26 g de KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> por vaso por aplicação até o florescimento. Para aplicação dos tratamentos, o silicato de cálcio (p.a.), em pó, foi incorporado ao solo. Logo após, foi irrigado com 60% de sua capacidade-de-campo e incubado com saco plástico transparente por dez dias.

Sementes de feijoeiro comum da cultivar 'Carioca', provenientes da Embrapa Milho e Sorgo, foram semeadas em vasos plásticos de 3 L. Foram colocadas cinco sementes por vaso e após sete dias da emergência das plântulas, procedeu-se ao desbaste, permanecendo as duas plântulas mais vigorosas. Durante a condução do experimento, foi realizado o monitoramento da temperatura e umidade relativa do ar na casa-de-vegetação, com o auxílio de um termohigrógrafo.

Nos tratamentos com cobre, as plantas foram pulverizadas a cada 15 dias, sendo a primeira pulverização aos três dias antes da inoculação. A solução foi preparada utilizando-se água destilada + cobre (nas doses dos tratamentos), o pH foi ajustado para 5,0. A solução de cobre foi aplicada utilizando pulverizador manual com capacidade para 0,5 L.

O inóculo foi obtido a partir de cultura pura monospórica de *C. lindemuthianum*, raça 81, crescida em meio M3, multiplicada em vagens de feijoeiro, em tubos de ensaio contendo meio ágar-água e mantidos na BOD a 21 ± 1°C, durante dez dias. Os tubos de ensaio foram inicialmente esterilizados por 1h, a 120°C; depois deste período, as vagens foram inoculadas. Após o crescimento micelial, adicionou-se água destilada aos tubos para se obter a suspensão de inóculo, o qual foi filtrado em gaze dupla. A quantificação foi realizada em hemacitômetro e ajustada para a concentração de 10<sup>6</sup> conídios mL<sup>-1</sup>.

A inoculação foi realizada aos 30 dias após a semeadura, no estádio V4, 3ª folha trifoliolada, utilizando-se pulverizador manual com capacidade para 0,5 L, até o ponto de escorrimento. Em seguida,

os vasos foram cobertos individualmente com saco plástico transparente por 12h, para estabelecer condições favoráveis à infecção pelo patógeno.

As avaliações da incidência e da severidade da antracnose, juntamente com a área foliar, foram realizadas a cada cinco dias após o aparecimento dos primeiros sintomas, totalizando quatro avaliações. 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 de severidade foram integrados ao longo do tempo, obtendo-se a área abaixo da curva de progresso da doença, segundo Campbell e Madden (1990). A área foliar foi obtida por meio da equação  $AF = 2,37x^{1,9642} - 2,7013$ , 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), de acordo com Waggoner e Berger (1987).

Após o término das avaliações, as plantas de feijão foram colhidas e separaram-se as raízes da parte aérea. O material foi lavado e acondicionado separadamente em sacos de papel e seco em estufa a  $65^{\circ}C$  até atingir peso constante. A parte aérea foi triturada para a determinação do teor de lignina e dos teores de nutrientes N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn, Zn e Si, respectivamente. O teor de lignina da parte aérea foi obtido, segundo método descrito por Silva (1981). Os teores de macro e micronutrientes foram determinados, segundo método descrito por Malavolta et al. (1997). O teor de Si foi determinado seguindo-se o método proposto por Elliott e Snyder (1991).

O espodograma ou imagem das cinzas, o qual demonstra onde a sílica depositou-se na folha, foi realizado um dia após a última avaliação da intensidade da doença. Utilizaram-se folhas adultas de plantas inoculadas e tratadas com a maior dose de silicato de cálcio e folhas inoculadas, porém não-tratadas com silicato de cálcio. Essas folhas foram imersas em ácido sulfúrico (20%) e colocadas em banho-maria por 60 min., a  $75^{\circ}C$ . Em seguida, as folhas foram deixadas em repouso, em temperatura ambiente, por 5h. Após esse período, foram lavadas três vezes com água destilada e colocadas em um becker com HCl 5N por 20 min. a  $100^{\circ}C$  em banho-maria. Foram novamente lavadas e

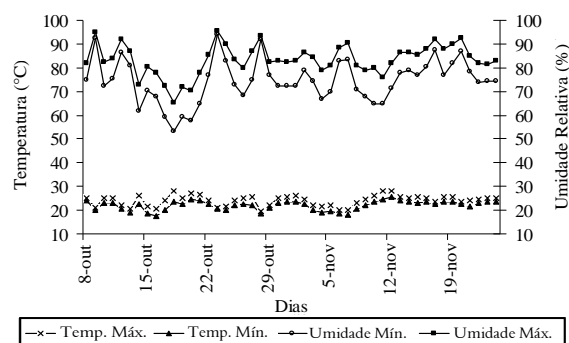
colocadas entre duas lâminas de vidro e o conjunto foi colocado na mufla a  $550^{\circ}C$ , por 18h (UBER, 1940; DICKISON, 1970).

A análise estatística foi realizada no programa SISVAR, versão 4.3 (Build 45). Realizou-se o teste de Anderson Darling, para verificar a normalidade dos resíduos, e de Bartlett e Levene, para a homogeneidade entre os tratamentos. As variáveis significativas pelo teste F da análise da variância foram submetidas ao ajuste de modelos lineares por análise de regressão. Os adicionais foram comparados por meio de contrastes ortogonais com os demais tratamentos.

## Resultados e discussão

A temperatura média durante a condução do experimento oscilou entre  $22$  e  $24^{\circ}C$ , mantendo-se dentro do intervalo favorável ao patógeno,  $13$  a  $27^{\circ}C$ , com o ótimo a  $21^{\circ}C$ . A umidade relativa média oscilou entre  $74$  e  $83\%$  (Figura 1).

Não houve diferença significativa para a área abaixo da curva de progresso da incidência (AACPI) entre os tratamentos e o adicional com aplicação do Benomyl, no entanto, plantas não-inoculadas ( $AACPI = 65,42 mm^2$ ) diferiram significativamente dos demais tratamentos. A 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  $1,89 g kg^{-1}$  de  $SiO_2$  de solo. Na maior dose de silício ( $1,89 g kg^{-1}$  de solo), ocorreu a menor AACPI (Figura 2A). Provavelmente, a aplicação de doses superiores às utilizadas poderia reduzir ainda mais a incidência da antracnose do feijoeiro.

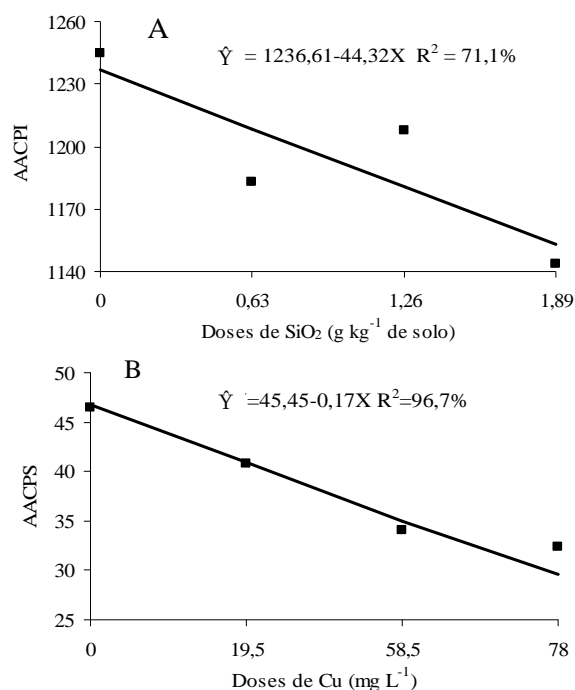


**Figura 1.** Temperatura e umidade relativa do ar registradas em casa-de-vegetação.

A redução da incidência da doença em plantas tratadas com silício pode ter ocorrido pela formação de barreira estrutural, evitando a penetração do fungo. Em plantas de trigo tratadas com silicato de cálcio, observou-se a formação de papilas (BÉLANGER et al.,

2003). 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 (SAMUELS et al., 1991; BOWER et al., 1992). Outros trabalhos atribuem a redução da intensidade da doença a mecanismos de indução de resistência, como foi observado em plantas de pepino inoculadas com *S. fuliginea* e *Pythium* spp. Os autores observaram a produção de compostos fenólicos, quitinases, peroxidases e polifenoloxidasas em plantas suplementadas com 100 mg kg<sup>-1</sup> de silício na forma de silicato de potássio, em solução nutritiva (CHÉRIF et al., 1994; FAWÉ et al., 1998).

Observou-se decréscimo linear de 35% da área abaixo da curva de progresso da severidade da antracnose (AACPS) com o aumento das doses de cobre (Figura 2B). Na maior dose (78 mg L<sup>-1</sup>), ocorreu menor AACPS. Essas doses de cobre aplicadas via foliar são muito baixas para terem efeito fungitóxico de contato pelo cobre. Dose semelhante (60 mg de cobre L<sup>-1</sup>) reduziu a intensidade do mal-do-pé (*Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*) em plantas de trigo. Plantas suplementadas com essa dose, tanto via foliar quanto via solo, apresentaram menor severidade e incidência da doença em casa-de-vegetação e no campo.



**Figura 2.** A: área abaixo da curva de progresso da incidência, em função das doses de silicato de cálcio aplicado via solo; B: área abaixo da curva de progresso da severidade, em função das doses de cobre aplicado via foliar.

Os autores atribuíram esse resultado à capacidade do cobre em limitar a doença, pela menor suscetibilidade do tecido hospedeiro e pela formação de novas raízes (REIS et al., 1982). Entre os tratamentos adicionais, a aplicação do fungicida Benomyl não teve efeito na severidade da doença (45,72 mm<sup>2</sup>), e plantas-testemunha não-inoculadas com o patógeno apresentaram valores menores de AACPS (4,53 mm<sup>2</sup>), indicando que o efeito da inoculação foi satisfatório.

O índice de área foliar sadia (LAI), a duração da área foliar sadia (HAD), a matéria seca da parte aérea, a da raiz e a total não foram influenciados pelas doses de silicato de cálcio e de cobre. Esse resultado pode ser explicado, provavelmente, pelo rápido crescimento do feijoeiro e pelo seu tipo de crescimento indeterminado. À medida que a doença destrói o tecido, outros novos são formados. A aplicação de Si também não afetou a produção de matéria seca de plantas de arroz (TOKURA et al., 2007). No entanto, Horst e Marschner (1978) verificaram aumento no peso da matéria seca em plantas de feijão adubadas com silício, pela redução da toxidez de manganês. Os autores observaram maior produção em plantas suplementadas com 0,75 mg kg<sup>-1</sup> de silício solúvel e com 5x10<sup>-3</sup> mM de manganês, em relação às plantas sem silício.

O teor de lignina da parte aérea foi influenciado pelas doses de silicato de cálcio e de cobre, apresentando significância no modelo quadrático para as doses zero e 58,5 mg de cobre por litro de água. Na ausência de cobre, observou-se decréscimo do teor de lignina até 0,95 g kg<sup>-1</sup> SiO<sub>2</sub>, aumentando após. No entanto, com a aplicação de 58,5 mg de cobre por litro de água, observou-se aumento no teor de lignina até a dose de 1,18 g SiO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> de solo, reduzindo após (Figura 3A). Nos tratamentos adicionais, plantas tratadas com Benomyl diferiram das plantas não-inoculadas com o *C. lindemuthianum*, observando-se valores médios de 9,2 e 10,7% de lignina, respectivamente, na parte aérea das plantas de feijão. Nessa mesma figura, ao se comparar o tratamento com a dose zero de SiO<sub>2</sub> com as duas doses de cobre, observaram-se 11% de lignina na dose zero de cobre e 7,6% de lignina na dose 58,5 mg L<sup>-1</sup> de cobre. 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. Com a aplicação do cobre foliar (58,5 mg L<sup>-1</sup>), 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 (GRAHAM; WEBB, 1991). A partir da dose zero de SiO<sub>2</sub>, embora as diferenças entre os teores fossem estatisticamente

significativas e opostas, elas foram de pequena magnitude, variando de 9 a 11% no teor de lignina com o aumento das doses de  $\text{SiO}_2$ .

Esses resultados são, em parte, semelhantes aos encontrados por Santos Botelho et al. (2005) em mudas de café tratadas com silício e inoculadas com *Cercospora coffeicola*, em que foi verificado aumento da concentração de lignina nas folhas até a dose 0,52 g  $\text{SiO}_2$ , reduzindo após. De acordo com os autores, nas menores doses, o silício foi translocado para as folhas, estimulando a síntese de enzimas precursoras da lignina, e, com o aumento da concentração de silício, acumulou-se no caule, reduzindo a translocação para as folhas. Segundo Saliba et al. (2001), 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 esta 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.

Com relação aos teores de nutrientes na parte aérea do feijoeiro, os elementos nitrogênio, fósforo, boro, cobre, ferro e manganês não foram influenciados pelos tratamentos utilizados. Estes resultados confirmam os obtidos na variedade de grama Santo Agostinho, exceto para os teores de fósforo e cobre. Os autores observaram que plantas tratadas com 1.000 kg de silicato de cálcio por hectare (0,5 g  $\text{kg}^{-1}$ ) 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).

Contrapondo os 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  $\text{kg}^{-1}$  de silício solúvel (Aerosil) em plantas de feijão. Em plantas de café, observou-se influência das 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 BOTELHO et al., 2005).

As concentrações de potássio, cálcio, magnésio, enxofre e zinco, na parte aérea, foram influenciadas pelas doses de silicato de cálcio e cobre, apresentando comportamento semelhante. Entretanto, os teores de potássio, magnésio, enxofre e zinco encontraram-se abaixo do valor mínimo citado por Malavolta et al. (1997) e Martinez et al. (1999) (Tabela 1), embora as adubações tenham sido realizadas de acordo com as recomendações feitas por Malavolta et al. (1997). Esses

valores foram sugeridos para teores na folha e não em toda 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.

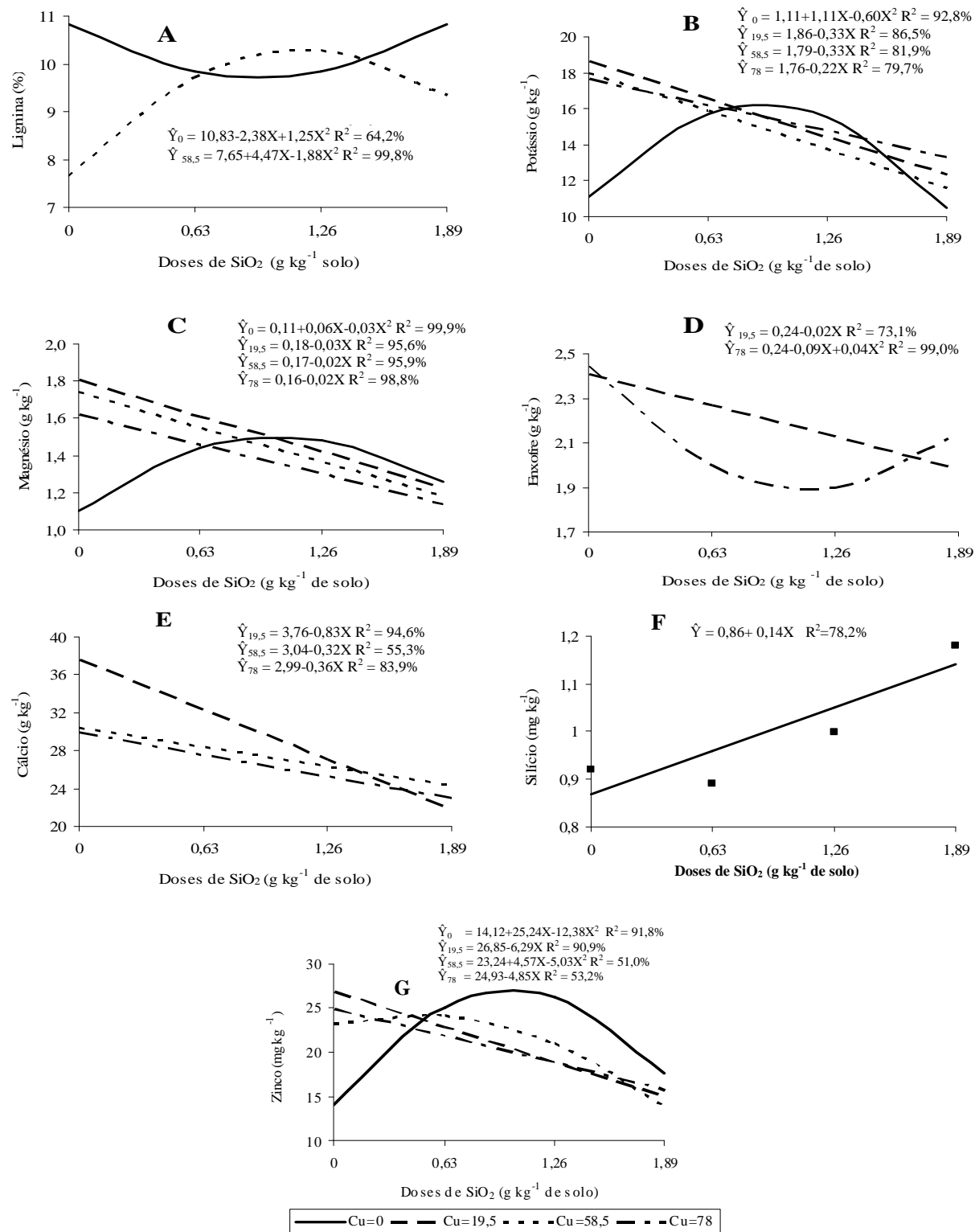
**Tabela 1.** Comparação dos teores mínimos e máximos de nutrientes na parte aérea do feijoeiro e níveis críticos (NC) citados por Malavolta et al. (1997) e Martinez et al. (1999).

	Potássio	Cálcio	Magnésio	Enxofre	Zinco
	.....g $\text{kg}^{-1}$ .....				
Teores	10,5-18,6	21,8-37,6	1,1-1,8	1,1-2,4	13,9-26,8
Malavolta et al. (1997)	20-25	15-20	4-7	5-10	20-100
Martinez et al. (1999)	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  $\text{SiO}_2 \text{ kg}^{-1}$  de solo, reduzindo após (Figura 3B). Para as doses de 19,5; 58,5 e 78 g  $\text{L}^{-1}$  de cobre, observou-se efeito significativo, porém de pequena magnitude. Sendo assim, nestas doses de cobre, o teor de potássio diminuiu com o aumento das doses de silicato de cálcio. Na Figura 2A, observou-se redução da incidência da antracnose do feijoeiro com o aumento das doses de silicato, então esta redução do teor de K (Figura 3B) não se relacionou 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; 1997), este fato não foi observado para a antracnose do feijoeiro. Segundo Malavolta et al. (1997), os cátions  $\text{K}^+$  e  $\text{Ca}^{2+}$  competem pelo mesmo sítio de absorção nas raízes das plantas. Portanto, a redução no teor de potássio, observada na parte aérea do feijoeiro, pode ter ocorrido pela competição com o cálcio ligado ao silicato ( $\text{CaSiO}_3$ ) aplicado no solo.

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 magnésio com o aumento das doses de  $\text{SiO}_2$ , provavelmente em função da inibição competitiva pelo cálcio (do silicato) na absorção de magnésio, conforme Malavolta et al. (1997). Na ausência de cobre, os teores de magnésio seguiram o modelo quadrático em resposta às doses de  $\text{SiO}_2$ , observando-se o teor máximo de magnésio na dose 0,925 g  $\text{kg}^{-1}$  de silicato de cálcio (Figura 3C).



**Figura 3.** A: teor de lignina; B: teor de K; C: teor de Mg; D: teor de S; E: teor de Ca; F: teor de Si e G: teor de Zn em função das doses de silicato de cálcio e sulfato de cobre.

Ocorreu redução linear do teor de enxofre na parte aérea com o aumento das doses de silício na concentração de 19,5 g L<sup>-1</sup> de cobre. No entanto, o

teor de enxofre na dose de 78 g L<sup>-1</sup> de cobre ajustou-se ao modelo quadrático, observando redução no teor de enxofre até a dose 1,12 g SiO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup>,

aumentando após (Figura 3D). Entretanto, para ambas as doses de cobre, o efeito no teor de enxofre na parte aérea também foi de pequena magnitude, embora significativo, se comparado aos níveis críticos (Tabela 1) citados por Malavolta et al. (1997). Em trabalho realizado com sementes de feijão, César et al. (2008) observaram aumento na porcentagem de plântulas normais com o suprimento de enxofre em cobertura.

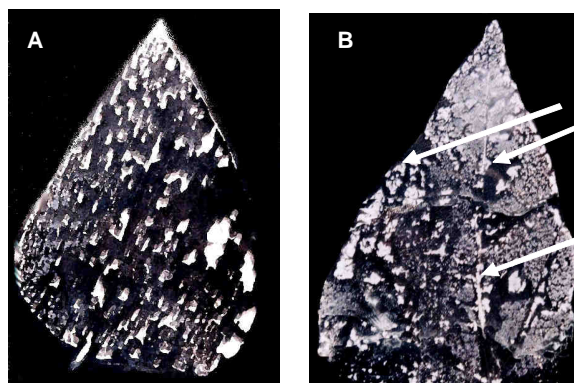
O teor de cálcio, na parte aérea ajustou-se ao modelo linear (Figura 3E). O valor máximo foi superior ao máximo observado por Martinez et al. (1999) e o valor mínimo encontra-se acima do valor máximo recomendado por Malavolta et al. (1997) (Tabela 1). Observou-se redução do teor de cálcio nas folhas com o aumento das doses de silício, provavelmente pelo fato de o conteúdo de cálcio disponível inicialmente no solo utilizado ( $4,7 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) ser considerado muito alto, conforme Alvarez Venegas et al. (1999). No entanto, não se observou redução da doença com o aumento das doses, neste patossistema, semelhantemente 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 mN) e inoculadas com *C. lindemuthianum* e *Fusarium oxysporum* f. sp. *phaseoli*, em solução nutritiva (MUNIZ et al., 1991).

Na determinação do teor de silício na parte aérea das plantas, verificou-se a influência das doses de silicato de cálcio. Observou-se ajuste do modelo linear, verificando aumento do teor de silício de 0,86 para  $1,14 \text{ mg kg}^{-1}$ , com o aumento das doses de silicato de cálcio (Figura 3F), corroborando com Tokura et al. (2007) em plantas de arroz. O aumento da dose de  $\text{SiO}_2$  no solo, reduziu linearmente a incidência de antracnose em feijoeiro (Figura 2A). Conforme se pode observar, o teor de Si na parte aérea aumentou linearmente com o aumento das doses de  $\text{SiO}_2$  aplicados no solo. Dessa forma, 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, como nas outras dicotiledôneas, a ocorrência da formação de barreira física (Figura 4) e também química pelas alterações no teor de lignina na parte aérea (Figura 3A). 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 (DATNOFF et al., 2001; SANTOS BOTELHO et al., 2005). Esses fatores contribuíram para a redução da severidade da bruzone nas folhas

de arroz inundado no Estado do Tocantins e na Flórida. Além da redução na severidade da bruzone, o aumento das doses de metassilicato (0, 1000, 2000, 4000 e  $6000 \text{ kg ha}^{-1}$ ) promoveu aumento linear na produção de grãos. O teor de silício da parte aérea de plantas de abóbora suplementadas com  $7.840 \text{ kg}$  de silicato de cálcio por hectare apresentou aumento de quatro vezes em relação à testemunha (HECKMAN et al., 2003).

Para o teor de zinco nas folhas, apresentou significância o modelo linear para as doses 19,5 e  $78 \text{ g L}^{-1}$  de cobre em cada dose de silício e o modelo quadrático para as doses 0 e  $58,5 \text{ g L}^{-1}$  de cobre em cada dose de silício. Pode-se observar redução do teor de zinco com a elevação das doses de silicato nas três maiores doses de cobre. Ou seja, o zinco reduz na presença do cálcio (do silicato) por inibição competitiva pela absorção (MALAVOLTA et al., 1997). Na ausência de cobre, houve aumento do teor de zinco de até  $1,02 \text{ g SiO}_2 \text{ kg}^{-1}$ , reduzindo após (Figura 3G). Entretanto, para todas doses de cobre, o efeito no teor de zinco na parte aérea foi pequeno, embora significativo, se comparado aos níveis críticos citados na Tabela 1.

Neste ensaio, de acordo com o espodograma, observou-se o maior acúmulo de silício (partes mais brancas da Figura 4B) na folha tratada com silicato, principalmente nas nervuras, onde ocorre a antracnose do feijoeiro, comparada com a folha sem silício (Figura 4A).



**Figura 4.** Espodograma das folhas de feijoeiro. A: acúmulo de silício em plantas não-tratadas com o elemento; B: Plantas tratadas com  $1,89 \text{ g kg}^{-1}$  de silício.

### Conclusão

O suprimento de silicato de cálcio reduziu a incidência e o de sulfato de cobre reduziu a severidade da antracnose do feijoeiro. Com o aumento das doses de silicato de cálcio e de sulfato de cobre, observou-se decréscimo nos teores de K, Mg, S, Zn e Ca e aumento no teor de Si. O silício

acumulou-se nas nervuras das folhas, principal região de ocorrência da antracnose do feijoeiro.

## Referências

- ALVAREZ VENEGAS, V. H.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; CANTALRUTTI, R. B.; LOPES, A. S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVARES VENEGAS, V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa: UFV, 1999. cap. 5, p. 25-32.
- 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**, v. 93, n. 4, p. 402-412, 2003.
- BOWER, P.; MENZIES, J.; EHRET, D. Soluble silicon spray inhibit powdery mildew development on grape leaves. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 117, n. 6, p. 906-912, 1992.
- BRECHT, M. O.; DATNOFF, L. E.; KUCHAREK, 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**, v. 88, n. 4, p. 338-344, 2004.
- CAMPBELL, C. L.; MADDEN, L. V. **Introduction to plant disease epidemiology**. New York: Wiley and Sons, 1990.
- CHAVES, G. La antracnosis. In: SCHWARTZ, H. F.; GALVEZ, G. E. (Ed.). **Problemas de producción del frijol**. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1980. cap. 2, p. 37-53.
- CÉSAR, M. L.; FONSECA, N. R.; TOLEDO, M. Z.; SORATTO, R. P.; CAVARIANI, C.; CRUSCIOL, C. A. C. Aplicação de enxofre em cobertura e qualidade fisiológica de sementes de feijão. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 30, n. 5, p. 681-686, 2008.
- CHÉRIF, M.; ASSELIN, A.; BELANGER, R. R. Defense responses induced by soluble silicon in cucumber roots infected by *Pythium* spp. **Phytopathology**, v. 84, p. 236-242, 1994.
- DICKISON, W. C. Comparative morphological studies in Dilleniaceae, V - Leaf Anatomy. **Journal of the Arnold Arboretum**, v. 51, n. 5, p. 89-101, 1970.
- DATNOFF, L. E. SNYDER, G. H.; KORNDÖRFER G. H. **Silicon in agriculture**. Amsterdam: Elsevier Science, 2001.
- DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H. Comparison of silicon and benomyl alone and in combination for reducing blast incidence. **Biological and Cultural Tests for Control of Plant Diseases**, v. 9, p. 113, 1994.
- ELLIOTT, C. L.; SNYDER, G. H. Autoclave-induced digestion for the colorimetric determination of silicon in rice straw. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 39, n. 6, p. 1118-1119, 1991.
- 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.
- GRAHAM, R. D.; WEBB, W. J. Micronutrients and disease resistance and tolerance in plant. In: MORTVEDT, J. J.; COX, F. R.; SHUMAN, L. M.; WELCH, R. M. (Ed.). **Micronutrients in agriculture**. 2<sup>nd</sup> ed. Madison: SSSA, 1991. p. 329-370.
- HECKMAN, J. R.; JOHNSTON, S.; COWGILL, W. Pumpkin yield and disease response to amending soil with silicon. **Hortscience**, v. 38, n.3, 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, n. 2, p. 287-303, 1978.
- ITO, M. F.; TANAKA, M. A. S.; MASCARENHAS, H. A. A.; TANAKA, R. T.; GALLO, P. B.; MIRANDA, M. A. C.; DUDIENAS, C. 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.
- ITO, M. F.; MASCARENHAS, H. A. A.; TANAKA, M. A. S.; 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. 2, p. 213-216, 1997.
- LIMA FILHO, O. F.; LIMA M. T. G.; TSAI, S. M. Supressão de patógenos de solos induzida por agentes abióticos: o caso do silício. **Informações Agronômicas**, v. 87, n. 1, p. 8-12, 1999.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. rev. e atual. Piracicaba: Potafós, 1997.
- MARTINEZ, H. E. P.; CARVALHO, G. J.; SOUZA, R. B. Diagnose Foliar. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVARES VENEGAS, V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa: UFV, 1999. cap. 17, p. 143-168.
- MUNIZ, M. F. S.; MUCHOVEJ, J. J.; MUCHOVEJ, R. M. C.; ALVAREZ VENEGAS, V. H.; BROMMONSCHENKEL, S. H.; MAFFIA, L. A. Influência da nutrição com cálcio sobre a antracnose em feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 26, n. 11-12, p. 2025-2031, 1991.
- POZZA, A. A. A.; ALVES, E.; POZZA, E. A.; CARVALHO, J. G.; 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 on take-all of wheat. **Phytopathology**, v. 72, n. 1, p. 224-229, 1982.
- SALIBA, E. O. S.; RODRIGUEZ, N. M.; MORAIS, S. A. L.; PILO-VELOSO, D. Ligninas: métodos de obtenção e caracterização química. **Ciência Rural**, v. 31, n. 5, p. 917-928, 2001.
- 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*). **Canadian Journal of Botany**, v. 69, n. 1, p. 140-146, 1991.

SANTOS BOTELHO, D. M.; POZZA, E. A.; POZZA, A. A. A.; CARVALHO, J. G.; BOTELHO, C. E.; SOUZA, P. E. Intensidade da cercosporiose em mudas de cafeeiro em função de fontes e doses de silício. **Fitopatologia Brasileira**, v. 30, n. 3, p. 582-588, 2005.

SEEBOLD JR., K. W.; DATNOFF, L. E.; CORREA-VICTORIA, F. J.; KUCHARREK, 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, n. 3, p. 253-258, 2004.

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

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

TOKURA, A. M.; FURTINI NETO, A. E.; CURI, N.; CARNEIRO, L. F.; ALOVISI, A. A. Silício e fósforo em diferentes solos cultivados com arroz de sequeiro. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 29, n. 1, p. 9-16, 2007.

UBER, F. M. Microincineration and ash analysis. **The Botanical Review**, v. 6, n. 5, p. 204-226, 1940.

WAGGONER, P. E.; BERGER, R. D. Defoliation, disease, and growth. **Phytopathology**, v. 77, p. 393-398, 1987.

*Received on October 2, 2007.*

*Accepted on May 6, 2008.*

License information: This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.