

**EFEITO DE FONTES DE SILÍCIO NO
CONTROLE DE *Fusarium oxysporum* f.
sp. lycopersici EM TOMATEIRO
(*Lycopersicon esculentum* Mill.)**

FERNANDA CARVALHO DE AQUINO LOPES

2006

FERNANDA CARVALHO DE AQUINO LOPES

EFEITO DE FONTES DE SILÍCIO NO CONTROLE DE *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* EM TOMATEIRO (*Lycopersicon esculentum* Mill.)

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Curso de Mestrado em Fitopatologia, para a obtenção do título de “Mestre”.

Orientador

Prof. Ph.D. Mário Lúcio Vilela Resende

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL
2006

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

Lopes, Fernanda Carvalho de Aquino

Efeito de fontes de silício no controle de *Fusarium oxysporum* f. sp.
lycopersici em tomateiro / Fernanda Carvalho de Aquino Lopes. -- Lavras :
UFLA, 2005.

67 p. : il.

Orientador: Mário Lúcio Vilela Resende.

Dissertação (Mestrado) – UFLA.

Bibliografia.

1. Tomate. 2. Doença fúngica. 3. Silício. 4. Murcha de Fusarium. I. Universidade Federal de Lavras. II.
Título.

CDD-635.64294

FERNANDA CARVALHO DE AQUINO LOPES

EFEITO DE FONTES DE SILÍCIO NO CONTROLE DE *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* EM TOMATEIRO (*Lycopersicon esculentum* Mill.)

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Curso de Mestrado em Fitopatologia, para a obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 15 de março de 2006.

Prof. Dr. Antônio Eduardo Furtini Neto UFLA

Prof. Dr. Vicente Paulo Campos UFLA

Prof. Ph.D. Mário Lúcio Vilela Resende
(Orientador)
DFP/UFLA

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL

A Deus,

pelo que sou.

A minha querida mãe,

pela dedicação e carinho.

Aos meus irmãos, Fábio e Mara,

pela amizade e companheirismo.

OFEREÇO

À minha filha Ana Flávia,

Que, mesmo vivendo pouco, me ensinou muito.

Ao meu marido, Flávio Henrique,

pelo amor e paciência.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A autora agradece primeiramente a Deus, por sua iluminação. À Universidade Federal de Lavras, pela oportunidade; ao CNPq pela bolsa de mestrado e à FAPEMIG pelo financiamento do projeto. Agradeço, em especial, ao professor Mário Lúcio Vilela de Resende, pela orientação e amizade; ao professor Luis Antônio Augusto Gomes, pela co-orientação e por estar sempre à disposição, ajudando em todos os entraves e dúvidas e ao professor Vicente Paulo Campos, pela atenção e cuidado durante a execução deste trabalho. Agradeço à professora Antônia dos Reis Figueira, por todas as palavras de estímulo e carinho. Aos demais professores do DFP-UFLA que contribuíram para a minha formação acadêmica. Agradeço, de forma muito especial, aos estagiários Marcos Alberto (Jundiáí), Thiago (Gominha), Ivan e Caio (Turbina) que contribuíram decisivamente para o desenvolvimento deste trabalho. Aos bolsistas de apoio técnico à pesquisa, Carla e Moisés, por todos os favores concedidos. Aos colegas de laboratório Pedro, Daniel, João e Soninha pelo auxílio, amizade, carinho e dedicação. Agradeço aos técnicos de laboratório Ana, Heloisa, Cleber e Ruth, que sempre me incentivaram e auxiliaram nas necessidades por equipamentos e reagentes. À minha mãe, por ser meu porto seguro, onde posso me ancorar sempre que preciso, por estar sempre comigo, por me ensinar a ser decidida e otimista. À minha irmã, por ser minha fonte de inspiração e coragem. Ao meu irmão que, nos momentos difíceis, sempre me mostra novas perspectivas. Ao Flávio, pelo amor, dedicação e respeito. Por fim, agradeço a todos que contribuíram.

A todos agradeço.

SUMÁRIO

RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
1 INTRODUÇÃO	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO	3
2.1 Considerações gerais sobre a relação patógeno-hospedeiro.....	3
2.1.1 O tomateiro e sua importância comercial.....	3
2.1.2 Etiologia e sintomatologia de <i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i> em tomateiro.....	5
2.1.3 Ressurgimento da doença x “quebra de resistência”.....	7
2.2 Silício: aspectos gerais e ciclo.....	8
2.3 O silício no solo.....	10
2.4 O silício e a essencialidade para as plantas.....	11
2.5 Absorção de silício pelas plantas.....	13
2.6 O silício na indução de resistência de plantas a patógenos.....	14
3 MATERIAL E METODOS.....	18
3.1 Descrição das fontes de silício utilizadas.....	18
3.2 Material vegetal.....	19
3.3 Avaliação de fontes e doses de silício na formação de mudas de tomateiro.....	19
3.3.1 Teste de germinação de sementes em solo tratado com diferentes doses de ácido silícico.....	19
3.3.2 Efeito da escória agrosilício® (silicato de cálcio e magnésio), em diferentes doses, na germinação e na altura de mudas de tomateiro.....	20
3.4 Efeito <i>in vitro</i> de fontes e doses de silício sobre <i>Fusarium oxysporum</i> f.	

sp. <i>lycopersici</i>	22
3.4.1 Efeito de doses do ácido silícico e fontes comerciais no índice de crescimento micelial e germinação de esporos de <i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i>	22
3.4.1.1 Bio-ensaio para teste de crescimento micelial.....	22
3.4.1.2 Teste de germinação de esporos de <i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i>	23
3.4.2 Efeito de doses e fontes de silício no diâmetro final de colônia e esporulação em placa de <i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i>	24
3.5 Efeito <i>in vivo</i> de doses de ácido silícico e de fontes comerciais de silício na indução de resistência em mudas de tomateiro a <i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i>	25
3.5.1 Preparo do inóculo.....	25
3.5.2 Efeito de fontes de silício na indução de resistência do tomateiro a <i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i>	26
3.5.3 Efeito de doses de fontes comerciais de silício na indução de resistência a <i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i> em mudas de tomateiro.....	28
3.5.4 Avaliações.....	29
3.6 Avaliação do potencial de lignificação de plantas de tomateiro em solo tratado com fontes de silício.....	30
3.6.1 Determinação de lignina.....	30
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
4.1 Avaliação de fontes e doses de silício na formação de mudas de tomateiro.....	33
4.1.1 Teste de germinação de sementes em solo tratado com diferentes doses de ácido silícico.....	33
4.1.2 Efeito da escória agrosilício® (silicato de cálcio e magnésio), em diferentes doses, na germinação e altura de mudas de tomateiro.....	34

4.2 Efeito <i>in vitro</i> de fontes e doses de silício sobre <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i>	39
4.2.1 Efeito de doses do ácido silícico e fontes comerciais no índice de crescimento micelial e germinação de esporos de <i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i>	39
4.2.2 Efeito de doses e fontes de silício no diâmetro final de colônia e esporulação em placa de <i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i>	41
4.3 Efeito <i>in vivo</i> de doses de ácido silícico e de fontes comerciais de silício na indução de resistência em mudas de tomateiro a <i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i>	44
4.3.1 Efeito de fontes e doses de silício na indução de resistência do tomateiro a <i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i>	44
4.3.2 Efeito de doses de fontes comerciais de silício na indução de resistência a <i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i> em mudas de tomateiro.....	48
4.4 Avaliação do potencial de lignificação de plantas de tomateiro em solo tratado com fontes de silício.....	51
4.4.1 Determinação de lignina.....	51
5 CONCLUSÕES.....	54
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55

RESUMO

LOPES, Fernanda Carvalho de Aquino. **Efeito de fontes de silício no controle de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* em tomateiro.** 2006. 67 p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

Uma das alternativas para o controle de doenças de plantas é o uso do silício e este trabalho teve por objetivo avaliar diferentes fontes e doses deste elemento na proteção de tomateiro contra a murcha-de-*Fusarium*. Os experimentos foram realizados em casa de vegetação e no Laboratório de Fisiologia do Parasitismo da UFLA, onde foram testadas ácido silícico puro, duas fontes comerciais (escória e termofosfato) e silicato de cálcio p.a. As doses testadas foram de 0, 1, 2 e 4g de SiO₂ por dm³ de solo para os ensaios *in vivo* e, para os tratamentos *in vitro*, 0, 200, 500 e 1.000g.cm⁻³ para o primeiro ensaio e 0, 1000, 2000 e 4000g.cm⁻³ para o segundo. Foi observado aumento no potencial de germinação das sementes de tomateiro, plantadas em solo com ácido silícico, para ambas as cultivares testadas, até a dose de 359g.dm⁻³ de SiO₂. Além disso, ocorreu aumento na altura de plantas e germinação de sementes, em solo com doses de escória, até o teor de 34,48mg.dm⁻³ e 37,81mg.dm⁻³ de Si, disponível no solo, para a cultivar Bônus e 36,48mg.dm⁻³ e 41,50mg.dm⁻³ de Si, para a cultivar Ângela, respectivamente. Para os ensaios *in vitro* não houve diferenças significativas na germinação e esporulação em placa entre as doses e fontes de silício testadas. Todas as doses utilizadas aumentaram o Índice de Crescimento Micelial. Todos os tratamentos apresentaram um resposta quadrática às doses aplicadas ao meio, tendo sido observado aumento no diâmetro da colônia até as doses de 1666,67, 2500, 1250 e 3000g.cm⁻³ para ácido silícico, escória, silicato de cálcio e termofosfato, respectivamente. No ensaio *in vivo* comparando-se as fontes de silício, o tratamento com escória apresentou uma menor severidade da doença, conferindo uma proteção de 27,3%. Da mesma forma, no segundo ensaio, em que foram testadas as duas fontes comerciais, nas doses supracitadas, os melhores resultados foram nos tratamentos com escória, nas quais observaram-se decréscimos lineares da severidade da doença com o aumento das doses, chegando à proteção de 33% para 4g de SiO₂.kg⁻¹ de substrato, enquanto os tratamentos com termofosfato chegaram à proteção máxima de 16%, também na maior dose.

Comitê Orientador: Mário Lúcio Vilela Resende – UFLA (Orientador)
Luis Antônio Augusto Gomes – UFLA (Co-orientador).

ABSTRACT

LOPES, Fernanda Carvalho de Aquino. **Effect of sources of silicon on the control of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* in tomato.** 2006. 66p. Dissertation (Master in Phytopathology) – Federal University of Lavras, Lavras, Minas Gerais, Brazil.

One of the alternatives for the control of plant diseases is the use of silicon and this work was aimed at evaluating different sources and doses of this element for the protection of tomato against Fusarium wilt. The experiments were carried out in greenhouse and in the Laboratory of Physiopathology of UFLA. In the greenhouse test, pure silicic acid, two commercial sources of silicon (slag and thermophosphate) and calcium silicate p.a were tested at 0, 1, 2 and 4g of SiO₂ per dm³ of soil. For the “in vitro” test, doses were 0, 200, 500 and 1000g.dm⁻³ for the first assay and 0, 1000, 2000 and 4000g.dm⁻³ for the second one. An increase of the germination of tomato seeds was observed for both tested cultivars, grown in silicic acid amended soil, until the dose of 359g SiO₂.dm⁻³ soil. Furthermore, increases in plant height and seed germination were observed in soil amended with slag doses, until those of 34.48mg.dm⁻³ and 37.81mg.dm⁻³ of Si, available in soil for cv. Bônus and 36.48mg.dm⁻³ and 41.50mg.dm⁻³ for cv. Ângela, respectively. For the “in vitro” assays there were no significant differences for conidium germination and fungal sporulation among tested doses and sources of silicon. All tested sources and doses increased the mycelial growth index. For the effect of media amended with silicon doses on colony diameter, all treatments fitted a square regression model and an increase was observed until doses of 1666.67g.dm⁻³, 2500g.dm⁻³, 1250g.dm⁻³ and 3000g.dm⁻³ for silicic acid, slag, calcium silicate and thermophosphate, respectively. In the “in vivo” assay, where silicon sources were compared, plants treated with slag displayed a lower disease severity, assuring 27.3% protection. Similarly, in the second assay, where commercial sources were tested at the above listed doses, the best results were obtained for slag treated plants, to which a linear decrease of the disease severity with dose increase was observed, reaching 33% protection for 4g of SiO₂.kg⁻¹ of the soil. Treatments with thermophosphate reached its maximum protection (16%), also at the highest dose.

Guidance Committee: Mário Lúcio V. Resende – UFLA (Major Professor)
Luis Antônio Augusto Gomes – UFLA.

1 INTRODUÇÃO

A batalha contra fungos causadores de murcha vascular em plantas sempre foi muito difícil. Dentre as doenças fúngicas, a murcha causada por *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici* causa elevados prejuízos em cultivares suscetíveis, devido à colonização vascular pelo fungo e à inviabilidade econômica do controle químico. Além disso, quando surgem sintomas na parte aérea, muitas vezes é tarde demais para a aplicação de defensivos. Esse patógeno habita o solo e produz estruturas de resistência que permitem sua sobrevivência por longos períodos, mesmo sob condições adversas.

Para o controle da murcha de *Fusarium* tem sido postulada a obtenção de cultivares geneticamente melhoradas, como a melhor forma de se reduzir os danos na cultura. As pesquisas têm mostrado, contudo, algumas limitações na luta genética contra patógenos vasculares, como nível de resistência parcial e superação da resistência pelo aparecimento de novas raças fisiológicas, como é o caso de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (Sacc.) Snyder & Hansen e *Verticillium dahliae*, em tomateiro.

Uma alternativa importante no controle das doenças é a aplicação de silício no solo. Estudos realizados com esse elemento demonstram que sua aplicação proporciona aumento no rendimento de várias plantas. Entre os principais benefícios do Si nas plantas destacam-se: aumento da tolerância ao estresse hídrico, aumento da capacidade fotossintética, redução no acamamento, redução na transpiração e aumento na resistência ao ataque de pragas e doenças (Ma et al., 2001).

O silício em micropartículas tem sido veiculado junto ao adubo NPK e o seu efeito no controle de doenças de folhagens tem sido constatado por diversos autores (Stumpf & Heath, 1985; Carver et al., 1987; Menzies et al., 1991;

Fosket, 1994). Poucos estudos foram realizados avaliando-se o efeito do silício na incidência de doença causada por fungos habitantes de solo. Um dos relatos refere-se ao sucesso no controle de *Pythium* sp. em plantas de pepino (Chérif et al., 1994). Entretanto, não existem relatos sobre a influência do silício no controle de fungos habitantes do solo que colonizam o xilema de plantas, os quais são letais ao tomateiro.

Há evidências de que o envolvimento dos silicatos na indução de resistência pode ocorrer pela participação do próprio silício, fortificando estruturas da parede celular, conferindo aumento da lignificação, ativação de mecanismos específicos como a produção de fitoalexinas (Menzies et al., 1991; Fawe et al., 2001) e a síntese de proteínas relacionadas à patogênese como quitinases (Chérif et al., 1994).

Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do silício na forma pura (ácido silícico) e na de fontes comerciais na germinação de sementes e altura de plantas de tomateiro; na germinação de conídios, crescimento micelial e esporulação em placa de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*; na severidade da murcha de *Fusarium* e na indução de lignificação dos tecidos de tomateiro. Trabalhou-se com a hipótese de que o silício e ou suas fontes melhoram algumas características agrônomicas do tomateiro, funcionando como um indutor de resistência, diminuindo, assim, a severidade da murcha de *Fusarium*, não interferindo diretamente sobre o patógeno.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Considerações gerais sobre a relação patógeno-hospedeiro

2.1.1 O tomateiro e sua importância comercial

O tomateiro é uma dicotiledônea, ordem Tubiflorae, pertencente à família Solanaceae, gênero *Lycopersicon*. A família Solanaceae é uma das mais importantes do reino vegetal para a economia humana, pois possui várias espécies comestíveis (Minami & Haag, 1989).

O tomate, cientificamente conhecido por *Lycopersicon esculentum* é proveniente da região andina, possui uma grande variabilidade que possibilitou o desenvolvimento de cultivares para atender às demandas do mercado, tanto para o processamento quanto para o consumo *in natura* (Filgueira, 2000).

As variedades cultivadas são compostas por plantas herbáceas, de caule redondo, piloso e macio quando jovem, que se torna anguloso e fibroso, com o passar do tempo. É uma planta anual. As folhas são alternadas, com cerca de 11 a 32 cm de comprimento. São do tipo compostas, inserem-se a partir dos nós; o limbo é dividido em 7, 9 ou até 11 folíolos e nelas aparecem as glândulas secretoras de substância aromática, como no caule (Rodriguez, Rodriguez & San Juan, 1984). A raiz é do tipo pivotante, podendo atingir a mais de 90 cm de profundidade, com crescimento de 3 cm por dia. Cerca de 80% do sistema radicular encontram-se nos primeiros 45 cm. A porcentagem é maior em plantas transplantadas (Minami & Haag, 1989). A ramificação desenvolve-se a partir das gemas axilares do caule principal (Nagai, 1976).

A produção de tomate no Brasil (Tabela 1) aumentou de 1,5 milhão de toneladas, em 1980 para 3,4 milhões de toneladas, em 2004; enquanto a área

plantada não teve um aumento tão significativo, passando de 50 mil hectares para quase 58 mil hectares, em 2004. A produtividade que era de 30,6 t.ha⁻¹ em 1980, hoje está em por volta de 59,1 t.ha⁻¹ (FAO-FAOSTAT, 2005).

TABELA 1 Situação da produção de tomate no Brasil, em 2004.

Variáveis	Unidades	Tipo		Total
		Indústria	Mesa	
Produção	t	1238800	2182540	3421340
Área	ha	17135	40754	57889
Produtividade	ton.ha ⁻¹	72,3	53,5	59,1
Valor (R\$.t ⁻¹)*	R\$.t ⁻¹	160	1005,195	
Valor safra *	(R\$ mil)	198208	2193878,295	2392086,295
Disponibilidade	kg/hab/ano	1,01	11,93	

Fonte: Embrapa Hortaliças

*Base = preços no atacado - preços médios CEAGESP 2004.

A cultura de tomate exige grandes investimentos fitossanitários, com pulverizações de defensivos a cada três, dias desde a emergência até a colheita, além de utilizar grande quantidade de mão-de-obra, adubação pesada do plantio à colheita, resultando em alto custo de produção (Silva & Giordano, 2000).

A tecnologia de produção dessa cultura deve buscar competitividade, reduzindo os custos de produção e elevando os índices de produtividade e qualidade (Silva & Giordano, 2000). A produtividade sofre também grande influência do meio ambiente por meio das condições adversas do meio, como variações intermitentes de umidade, temperatura, incidência de radiação, ventilação, composição e quantidade de nutrientes no solo, além da ação de patógenos (bactérias, fungos, vírus e nematóides). Se as condições ambientais

estiverem desfavoráveis para a planta, estas estarão mais propensas aos patógenos (doenças são consequência da interação) (Agroecologia Hoje, 2002).

Existem mais de cem doenças já relatadas que atacam o tomateiro, provocando redução de produtividade. Dentre elas, uma que se destaca é a murcha do tomateiro, cujo agente causador é o *Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici* (Silva & Giordano, 2000).

2.1.2 Etiologia e sintomatologia de *F. oxysporum f. sp. Lycopersici* em tomateiro

A murcha-de-*Fusarium*, ou simplesmente fusariose, causada por *Fusarium oxysporum* Schlechtend: Fr. f. *sp. lycopersici* (Sacc.) W.C. Snyder & H.N. Hansen, é uma das mais importantes e amplamente dispersa doença do tomateiro (*Lycopersicon esculentum* Mill.).

Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici pertence ao grupo de fungos Ascomycotina, que se caracteriza pela formação de esporos sexuais, os ascósporos, sendo que seu micélio é septado, bem desenvolvido, com septos perfurados por um simples poro. A parede celular é composta, predominantemente, por quitina nas formas miceliais.

No Brasil, a murcha-de-*Fusarium* foi detectada, pela primeira vez, por volta de 1938, em Pesqueira, PE. Atualmente, está disseminada por quase todos os estados brasileiros. Em áreas plantadas há muito tempo com cultivares suscetíveis, é comum a destruição de todas as plantas ou a redução drástica do período de colheita devido à morte prematura das plantas. Nessas condições, a doença foi uma das responsáveis pelo contínuo deslocamento das áreas de cultivo (Tokeshi & Carvalho, 1980).

Este fungo coloniza o solo em profundidade, e, se conserva assim sobre os restos vegetais na forma de micélio e de clamidósporos, que são esporos

altamente resistentes. Estes órgãos são disseminados por torrões de terra, poeira do solo, restos de cultura, água, vento, implementos agrícolas, insetos e mudas. Às vezes, as sementes podem carregar micélio dormente no seu interior ou esporos aderentes à sua superfície. Os clamidósporos apresentam elevada longevidade e, juntamente com os conídios, germinam ante o estímulo de exsudatos de raízes e penetram na planta através dos pêlos absorventes e ou ferimentos (Tokeshi & Carvalho, 1980; Laterrol et al, 1988). A doença é favorecida por altas temperaturas. A faixa ótima para o seu desenvolvimento é de 25°C a 30°C, que também é a faixa ótima de desenvolvimento do tomateiro. Solos com pouca água, arenosos e ácidos e culturas carentes de N, P e K, em presença de dias curtos e com pouca luminosidade e pH baixo favorecem o ataque do fungo e tendem a intensificar a manifestação dos sintomas (Foster & Walker, 1943).

Os sintomas da doença podem manifestar-se no campo em qualquer fase do desenvolvimento da planta, sendo, no entanto, comum em plantas adultas no início da colheita. Surge um amarelecimento nas folhas mais velhas, que progride rapidamente para as mais jovens. As folhas adquirem um tom amarelo vivo e mantêm-se túrgidas, no começo da infecção. Frequentemente tornam-se amarelas apenas em um dos lados da planta ou apenas os folíolos de um dos lados da folha, amarelecem. Segue-se uma murcha generalizada e as folhas caem. Cortando-se a haste longitudinalmente nota-se uma coloração marrom-avermelhada muito típica, na região dos vasos lenhosos. No geral, a medula da planta não apresenta anormalidade. Ocorre queda prematura de frutos. Em condições de umidade e temperaturas altas, o patógeno pode causar “damping-off” em plântulas (Tokeshi & Carvalho, 1980).

As medidas de controle químico e cultural da murcha-de-*Fusarium* são caras, difíceis de serem implementadas e, na maioria das vezes, ineficazes. Uma vez que se trata de fungo habitante do solo, com alta capacidade de

sobrevivência neste ambiente, a única medida de controle em solos já infectados é o uso de cultivares resistentes. A maioria das medidas de controle usualmente recomendadas tem efeito limitado. Entre estas incluem-se: a) rotação de cultura, b) tratamento de sementes, c) calagem do solo, d) eliminação de plantas doentes e e) uso de cultivares resistentes, que é mais eficiente (Tokeshi & Carvalho, 1980).

2.1.3 Ressurgimento da doença x “quebra de resistência”

No Brasil, a murcha-de-*Fusarium* tem sido relatada desde meados da década de 1930 (Arruda, 1941). Desde então, apenas as raças 1 e 2 estavam ocorrendo em, teoricamente, todas as áreas de produção no país (Reis et al., 2005).

A virulência diferencial dos isolados de *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* infectando tomateiros têm sido agrupados em três raças, de acordo com sua habilidade de infectar um grupo de cultivares diferenciadoras carregando *loci* de resistência distintos (Reis et al., 2005). Três *loci* de resistência à murcha-de-*Fusarium* têm sido geneticamente caracterizados em espécies de *Lycopersicon*. O Loco I, de *L. pimpinellifolium* (Just) Mill. 'PI 79532' (Bohn & Tucker, 1940), controla resistência à raça 1. Isolados capazes de infectar cultivares com o loco I foram rapidamente identificados (Alexander & Tucker, 1945) e um novo *locus* de resistência à doença, o *locus* (I-2), foi caracterizado no acesso 'PI 126915', o qual é um híbrido natural de *L. esculentum* e *L. pimpinellifolium* (Alexander & Hoover, 1955). Uma terceira raça capaz de infectar cultivares carregando ambos os *loci* I e I-2 foi primeiramente identificada na Austrália (Grattidge & O'Brien, 1982) e um novo *locus* de resistência (chamado de I-3) foi identificado em espécies selvagens de *L. pennellii* (Corr.) D'Arcy. As raças 1 e 2 encontram-se

amplamente distribuídas no mundo, enquanto a raça 3 tem uma distribuição geográfica mais limitada.

Mais recentemente, isolados foram obtidos de diferentes plantas com sintoma de fusariose dos híbridos F₁ de 'Carmen' e 'Alambra' em alguns campos de produção na cidade de Venda Nova do Imigrante, no Espírito Santo, Brasil (Reis et al., 2005). O interesse inicial nesses isolados se deve ao fato de que as cultivares 'Carmen' e 'Alambra' serem ambas descritas como sendo resistentes as raças 1 e 2 de *Fol* (genes *I* e *I-2*), registrando-se, assim, o primeiro relato da raça 3 de *Fol* no Brasil.

No estado do Espírito Santo, primeira unidade da nação onde essa raça foi registrada, o patógeno tem destruído várias plantações de tomate, com elevados prejuízos para os tomaticultores (Reis et al., 2005).

O surgimento da raça 3 de *Fol* no país pode trazer conseqüências sérias para a tomaticultura nacional, como o abandono das atuais cultivares plantadas no país. Daí surge a necessidade de desenvolvimento de novas cultivares, com resistência às três raças (Reis et al, 2005) ou de uma nova alternativa para o controle dessa doença. Sendo assim, o uso de fontes de silício, veiculado diretamente ao solo, pode ser uma importante ferramenta no manejo desse fungo.

2.2 Aspectos gerais e ciclo do silício

O silício é um elemento com propriedades elétricas e físicas de um semi-metal, desempenhando, no reino mineral, um papel cuja importância pode ser comparável ao do carbono nos reinos vegetal e animal. É o segundo elemento mais abundante da crosta terrestre, 27% em massa, superado apenas pelo oxigênio (Jackson, 1964). É encontrado apenas em formas combinadas, como a sílica e minerais silicatados. Os silicatos são sais nos quais a sílica é combinada

com oxigênio ou outros elementos como Al, Mg, Ca, Na, Fe e K em mais de 95% das rochas terrestres, meteoritos, em todas as águas, atmosfera (na forma de pó silicoso) vegetal e animal (Savant et al., 1997a.; Jackson, 1964).

Os minerais silicatados mais comuns são o quartzo, os feldspatos alcalinos e os plagioclásios. Os dois últimos são aluminossilicatos, contribuindo significativamente com o conteúdo de Al na crosta terrestre (Exley, 1998).

O ácido silícico, ou ácido monossilícico, ocorre na solução do solo, nas águas doces e nos oceanos de todo o mundo (Exley, 1998).

Segundo Birchall (1995), em pH próximo da neutralidade, o ácido silícico tem solubilidade baixa, em torno de 2mM. Acima desta concentração, ocorre a policondensação, produzindo ácido silícico oligomérico e, eventualmente, partículas coloidais de sílica hidratada ($\text{SiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$).

O ciclo do Si, da mesma maneira como ocorre com o P, Ca e Mg, possui um elevado dreno abiótico, impedindo, assim, sua alta abundância na biosfera. A condensação de ácido silícico e a polimerização subsequente formando a sílica biogênica representam uma elevada perda de ácido silícico pela biosfera. Um dos drenos abióticos do solo é a reação do ácido silícico com o alumínio, formando hidroxialuminossilicatos (HAS).

O ciclo biogeoquímico do Si inclui os processos que ligam fontes e drenos de ácido silícico, o qual é o único precursor conhecido na produção e deposição de Si na biota (Exley, 1998).

Estas perdas substanciais do ácido silícico biosférico para os drenos bióticos e abióticos podem ser compensadas pela natureza, de modo geral, por meio de sua abundância na crosta terrestre. Entretanto, em ecossistemas específicos, o problema da diminuição do Si pode se tornar economicamente importante. Solos utilizados intensivamente, principalmente com culturas acumuladoras de Si, podem se tornar paulatinamente deficientes no elemento,

pois a extração do Si não é compensada, via de regra, com a fertilização silicatada (Lima Filho et al., 1999).

2.3 O silício no solo

As principais fontes de ácido silícico presentes na solução do solo são: decomposição de resíduos vegetais, dissociação do ácido silícico polimérico, liberação de Si dos óxidos e hidróxidos de Fe e Al, dissolução de minerais cristalinos e não cristalinos, adição de fertilizantes silicatados e a água de irrigação (Werber & Roth, 1983).

O Si está presente na solução do solo como ácido monossilícico, a maior parte na forma não dissociada, o qual é prontamente absorvido pelas plantas (Raven, 1983; Werber & Roth, 1983; Wild, 1988). Os principais drenos influem a precipitação do Si em solução formando minerais, a polimerização do ácido silícico, a lixiviação, a adsorção em óxidos e hidróxidos de Fe e Al e a absorção pelas plantas.

A compactação do solo também pode reduzir a quantidade de Si disponível para as plantas, pois aumenta o nível de ácidos polissilícicos, diminuindo o teor de ácido monossilícico (Matychenkov et al., 1995). De modo geral, as soluções dos solos apresentam teores de Si dissolvidos variando entre 2,8 a 16,8 mg L⁻¹ (Epstein, 1995).

Segundo Korndörfer et al. (1999a), os valores de Si no solo, extraídos com ácido acético 0,5 mol L⁻¹ inferiores a 20mg dm⁻³ ou, ainda, de 6 a 8 mg dm⁻³ extraídos em CaCl₂ 0,05 mol.L⁻¹, em geral, indicam a necessidade de adubação com Si. De acordo com os mesmos autores, estes solos apresentam boa resposta à aplicação de silício. Acima desses valores, as repostas tendem a ser mais discreta.

As fontes de Si normalmente utilizadas em pesquisas são os metassilicatos de sódio e potássio, além do ácido silícico, com efeitos semelhantes (Bélanger et al., 1995). Os mesmos autores afirmam que o metassilicato de potássio é utilizado na Europa, principalmente por produtores de pepino e roseiras, para o controle de míldio, por meio de pulverização foliar.

Existe grande diversidade de fontes de silício usadas na agricultura. Além dos produtos especialmente desenvolvidos para aplicações foliares, termofosfatos e diferentes escórias industriais são aplicados ao solo e adicionam significativas quantidades de silício, juntamente com outros nutrientes (Lima Filho et al., 1999a). A forma presente na maioria dos produtos para aplicação via solo disponíveis no Brasil é o silicato de cálcio (CaSiO_3), sendo o teor de SiO_2 da fonte variável conforme a origem do material.

A eficiência da adubação com silício parece depender da natureza dos silicatos utilizados (Barbosa Filho et al., 2000; Pereira et al., 2003). A dose de Si a ser aplicada no solo depende da reatividade da fonte, do teor de Si no solo e da cultura considerada. Estudos indicam que doses variando de 1,5 a 2,0 t ha⁻¹ de silicato de cálcio foram adequadas para uma boa produção de arroz no Japão, na Korea e em Taiwan (De Datta, 1981). Para solos já corrigidos, a dose de silicato não deve ser superior a 800 kg ha⁻¹.

2.4 O silício e a essencialidade para as plantas

A essencialidade do Si para as plantas superiores foi demonstrada apenas para algumas espécies, apesar de ser um constituinte majoritário dos vegetais (Epstein, 1994; Marschner, 1995).

Minami & Haag (1989) citam que não foi estabelecida a essencialidade do silício em tomateiro e, se assim for, o tomateiro requer menos de 0,2µg.g⁻¹ de matéria seca.

A comprovação da essencialidade do Si é muito difícil de ser obtida, devido à sua abundância na biosfera. O Si está presente em quantidades significativas mesmo em sais nutrientes, água e ar altamente purificados (Werner & Roth, 1983). Apesar disso, Marschner (1995) evidencia que o fornecimento de Si é benéfico para muitas espécies vegetais e, em determinadas circunstâncias, para a maioria das plantas superiores.

O Si pode estimular o crescimento e a produção vegetal por meio de várias ações indiretas, como a diminuição do auto-sombreamento, deixando as folhas mais eretas, o decréscimo na suscetibilidade ao acamamento, a maior rigidez estrutural dos tecidos, a proteção contra estresses abióticos, como a redução da toxidez de Al, Mn, Fe e Na, a diminuição na incidência de patógenos e o aumento na proteção contra herbívoros, incluindo os insetos fitófagos (Epstein, 1994; Marschner, 1995).

De modo geral, as plantas terrestres contêm Si em quantidades comparáveis aos macronutrientes, variando de 0,1% a 10%, colocando-se como um constituinte mineral majoritário. Em culturas como o arroz e a cana-de-açúcar, o teor de Si pode igualar ou exceder àquele do N (Epstein, 1995; Rafi et al., 1997).

Arnon & Stout, em 1939, propuseram alguns conceitos de essencialidade de nutrientes que até hoje são considerados válidos e inteiramente satisfatórios: I) a deficiência do elemento torna impossível para a planta completar a fase vegetativa ou reprodutiva do seu ciclo de vida; II) a deficiência do elemento é específica, sendo impedida ou corrigida com o fornecimento deste elemento e III) o elemento está diretamente relacionado com a nutrição da planta, não levando em conta os possíveis efeitos na correção de quaisquer condições químicas ou microbiológicas do solo.

Em arroz, postula-se a essencialidade agrônômica do Si, em vista dos diversos benefícios advindos com a nutrição deste elemento. Estes benefícios

incluem o aumento no crescimento e na produção, interações positivas com fertilizantes nitrogenados, fosfatados e potássicos, aumento na resistência a estresses bióticos (doenças e pragas) e abióticos (seca, salinidade, acamamento) e aumento na produtividade em solos problemáticos, como os solos orgânicos e solos ácidos com níveis tóxicos de Al, Fe e Mn (Savant et al., 1997 b).

Os mecanismos bioquímicos responsáveis pelos efeitos da deficiência de Si ainda não estão elucidados, não havendo evidência para qualquer ligação orgânica (Birchall et al., 1996). Quando plantas de tomate foram cultivadas em solução nutritiva com baixo teor de silício (Si), a deficiência deste elemento apareceu durante a fase reprodutiva, isto é, no início da formação dos botões florais (Miyake e Takahashi, 1978). Esta observação levou os pesquisadores a acreditar que o Si possui um papel importante na reprodução da planta. Além disso, plantas de tomate cultivadas em solução livre de Si raramente mantiveram os frutos estas florescem, mas não produzem frutos. Por outro lado, segundo Miyake e Takahashi (1978), os frutos crescem normalmente quando submetidos a uma solução contendo 100 mg L^{-1} de SiO_2 .

Em pepineiros, Adatia & Besford (1986) observaram vários efeitos devido à adição de Si (100 mg kg^{-1}) ao meio nutritivo, dentre eles o aumento no teor de clorofila, maior massa foliar (fresca e seca) específica, atraso na senescência e aumento da rigidez das folhas maduras, as quais mantinham-se mais horizontais. A melhor arquitetura foliar permite maior penetração de luz solar, maior absorção de CO_2 e diminuição da transpiração excessiva, o que permite o incremento da taxa fotossintética (Takahashi, 1995). A deficiência de Si em soja causa sintomas característicos, como a má formação de folhas novas e redução da fertilidade do grão de pólen (Miyake & Takahashi, 1985). Constatou-se, em plantas de arroz, que a suplementação de Si proporciona um aumento na produção e na massa individual das sementes, diminuição da

esterilidade e do teor de Mn e maior taxa fotossintética (Yeo et al., 1999; Pershin et al., 1995).

2.5 Absorção de silício pelas plantas

A absorção do silício pelas plantas ocorre na forma de ácido monossilícico (H_4SiO_4). As plantas diferem bastante na sua capacidade de absorver o Si. Até mesmo genótipos de uma espécie podem apresentar concentrações de Si que variam por um fator superior a três, como demonstrado para cevada (Nable et al., 1990). Lanning (1960) encontrou diferenças marcantes no teor de Si, nos diferentes órgãos, entre cultivares de morangueiros. Genótipos de arroz diferem no teor de Si, respondendo de modo distinto à aplicação do elemento (Winslow, 1992; Deren et al., 1992). Majumder et al. (1985) citam que genes aditivos e não aditivos parecem estar envolvidos no mecanismo de absorção do silício.

Takahashi & Miyake (1977) primeiramente distinguiram as plantas em acumuladoras de Si (a absorção de Si excedendo a absorção de água) e não acumuladoras (a absorção de Si sendo similar ou menor do que absorção de água). Anos depois, os mesmos autores separaram e caracterizaram as plantas em três tipos, quanto à absorção de Si. Acumuladoras, com um teor bastante elevado de Si, sendo a absorção ligada à respiração aeróbica. O arroz e a cana-de-açúcar são exemplos típicos deste grupo de plantas. Não acumuladoras, caracterizando-se por um baixo teor dos elementos, mesmo com altos níveis de Si no meio, indicando um mecanismo de exclusão. Exemplo típico é o tomateiro, que acumula nas raízes a maior parte do Si absorvido. E intermediárias, as quais apresentam uma quantidade considerável de Si, quando a concentração do elemento no meio é alta. As cucurbitáceas e a soja, por

exemplo, enquadram-se neste tipo, pois translocam o Si livremente das raízes para a parte aérea (Miyake & Takahashi, 1985).

Korndörfer & Datnoff (2000) citam que o Si no interior das plantas é considerado pouco móvel, sendo que o seu transporte da raiz até a parte aérea se dá através do xilema e depende da taxa de transpiração, como para todos os demais nutrientes.

2.6 O silício na indução de resistência de plantas a patógenos.

Wagner (1940) observou uma relação direta entre a deposição de ácido silícico nos sítios de infecção de míldio e o grau de resistência da planta. O mesmo autor notou que houve uma silicificação das células epidérmicas, inferindo que a penetração do tubo infectivo foi impedida pelo Si, agindo, assim, como uma barreira física. Desse modo, uma menor porcentagem de esporos, germinando na epiderme foliar, obteve sucesso na penetração e posterior colonização. Esta foi a primeira menção formal especulando a respeito do modo de ação do Si sobre a redução da severidade de uma doença.

Grothge-Lima (1998) constatou que o fornecimento do Si através da solução nutritiva aumenta a resistência da soja ao cancro da haste. A extensão da lesão, provocada pelo fungo na medula de plantas de soja infectadas, diminuiu em até 90%. A diminuição da lesão foi linear até a adição de 40 mg kg⁻¹ de Si ao meio nutritivo, obtendo-se um teor de cerca de 4.000 mg kg⁻¹ de Si nas folhas ou 550 mg kg⁻¹ de Si nas hastes da soja.

Plantas dicotiledôneas, como a soja e o tomate, são caracterizadas quanto ao conteúdo de Si e razão Si:Ca, como intermediárias (Miyake et al., 1985). A resistência às moléstias pode aumentar pelo uso de produtos ricos em silício, por meio da alteração das respostas da planta ao ataque do parasita, aumentando a síntese de toxinas (fitoalexinas), que podem agir como

substâncias inibidoras ou repelentes (Marschner, 1995). Na soja, a resistência a doenças foi observada por Juliatti et al. (1996) em que o uso de silicato de cálcio no solo, como corretivo e fonte de Si, aumentou a resistência da soja ao cancro da haste.

Marschner (1995) observou, também em soja, que acumula quantidades pequenas de silício (<de 5 g kg⁻¹) de SiO₂ no tecido vegetal, que não houve formação de uma camada de silício abaixo da cutícula, o que dificulta fisicamente a penetração de hifas de fungos no tecido vegetal. No entanto, a resistência das plantas às doenças pode ser aumentada pela alteração das respostas da planta à infecção do parasita, aumentando a síntese de fitoalexinas e ou enzimas importantes para a defesa, que podem agir como substâncias tóxicas, inibidoras ou repelentes, promovendo a formação de barreiras mecânicas e químicas.

As propriedades dos ativadores de resistência sistêmica adquirida e da resistência estimulada pelo silício foram comparadas por Fawe et al. (2001), ficando evidente a semelhança entre os efeitos da aplicação do silício e do uso de indutores de resistência no surgimento de reações de defesa em plantas.

Barreiras mecânicas incluem mudanças na anatomia, como células epidérmicas mais grossas e um grau maior de lignificação e ou silicificação. A sílica amorfa ou “opala”, localizada na parede celular, tem efeitos notáveis sobre as propriedades físicas desta. O acúmulo e a deposição de Si nas células da camada epidérmica podem ser barreiras físicas efetivas na penetração da hifa (Epstein, 1994; Marschner, 1995). Sendo assim, o papel do Si incorporado à parede celular é análogo ao da lignina, que é um componente estrutural resistente à compressão. A incorporação do Si tem pelo menos dois efeitos positivos do ponto de vista energético: 1) o seu custo representa 3,7% daquele relativo à incorporação da lignina e 2) a melhoria na interceptação da luz solar,

portanto da fotossíntese, devido à melhor arquitetura das plantas supridas com uma grande quantidade de Si (Raven, 1983).

Observações ultra-estruturais sugerem que a silicificação das paredes celulares pode reduzir a troca de material entre patógeno e hospedeiro, reduzindo a senescência prematura, além de agir como barreira física, caso o fungo alcance a parede celular (Heath & Stumpf, 1986). Assim, o Si agiria de modo semelhante à lignina ou à suberina de algumas plantas, que são depositadas em paredes primárias, ligando-se aos polissacarídeos, para bloquear o avanço do patógeno (Fosket, 1994).

Vários autores têm demonstrado que a barreira física proporcionada pelo silício nas células epidérmicas não é o único mecanismo de combate à penetração das hifas de fungos ou ao ataque de insetos. Pesquisas têm demonstrado que, em plantas de pepino, o Si age no tecido hospedeiro afetando os sinais entre o hospedeiro e o patógeno, resultando em uma ativação mais rápida e extensiva dos mecanismos de defesa da planta (Samuels et al., 1991 b; Chérif et al., 1992 a; Chérif et al. 1992 b; Chérif et al., 1994 a).

Compostos fenólicos e Si acumulam-se nos sítios de infecção, cuja causa ainda não está esclarecida. O Si pode formar complexos com os compostos fenólicos e elevar a síntese e a mobilidade destes no apoplasto. Uma rápida deposição de compostos fenólicos ou lignina nos sítios de infecção é um mecanismo de defesa contra o ataque de patógenos e, a presença de Si solúvel facilita este mecanismo de resistência (Menzies et al., 1991 a). Pepineiros suplementados com 100 mg kg^{-1} de Si na solução nutritiva apresentam uma acentuada acumulação de material eletrodense no tecido hospedeiro infectado por *P. ultimum*, com um aumento significativo de células preenchidas com este material. O fungo colonizador é bastante danificado, freqüentemente, fenóis, também formam camadas ao longo das paredes primárias e secundárias das células e vasos do xilema (Chérif et al., 1992 a).

Segundo Koga et al. (1998), compostos fenólicos são liberados pela descompartimentação que se segue após a morte da célula, acumulando-se nas paredes das células mortas. Os compostos fenólicos formam complexos insolúveis com o Si, que se movem apoplásticamente na epiderme, devido ao transporte passivo no fluxo da transpiração.

A fertilização com Si parece induzir o mecanismo de defesa somente em resposta ao ataque do patógeno. Esta indução é expressa através de uma reação em cadeia de várias mudanças bioquímicas associadas, caracterizando uma resposta de defesa rápida e prolongada. Esta característica explica a não especificidade da resistência induzida pelo Si, contra vários patógenos não relacionados entre si (Chérif et al., 1994 b).

3 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Fisiologia do Parasitismo, em casa de vegetação e demais dependências do Departamento de Fitopatologia da Universidade Federal de Lavras, MG, no município de Lavras, MG, nas coordenadas 21°13'40" S e 44°57'50" W, a uma altitude de 925 m. O clima do município é do tipo Cwb segundo Köppen (mesotérmico com verões brandos e suaves e estiagem de inverno).

3.1 Descrição das fontes de silício utilizadas.

As fontes de silício utilizadas foram: Escória Agrosilício da Recmix[®] (23% de SiO₂, 36% de CaO e 6% de MgO – PRNT de 65,36%), Termofosfato Magnésiano Yoorin[®] (23% de SiO₂, 18% de P₂O₅, 20% de CaO, 9% de MgO), Silicato de Cálcio p.a. MERCK[®] (63% de SiO₂, 16% de CaO), Ácido silícico p. a. MERCK[®] (63% de SiO₂).

O silicato de cálcio e magnésio (Agrosilício) é oriundo de uma escória da produção de aço inoxidável (Acesita), que é tratada pela Recmix do Brasil, empresa que faz o processo de retirada de metais. Contém alto teor de silício solúvel, além de cálcio, magnésio e poder de correção dos solos (Agronelli, 2005).

O termofosfato magnésiano Yoorin é um fertilizante fosfatado obtido pelo processo de fusão, que contém fósforo, cálcio, magnésio e silicatos de alta eficiência agronômica. O fosfato natural, enriquecido com silicato de magnésio, é derretido num forno elétrico à temperatura de 1.500°C. O produto

incandescente obtido é submetido a um choque térmico com jato de água e depois de seco e moído, é ensacado (Fertimitsui, 2005).

3.2 Material vegetal

Nos experimentos descritos nos itens 3.3.1 e 3.3.2 foram utilizadas sementes das cultivares Ângela e Bônus. Ângela é uma cultivar antiga, obtida em 1969, de polinização livre, utilizada em cultivo orgânico tradicional, tem polpa consistente, boa coloração, elevada produtividade, é resistente à rachadura dos frutos e à podridão apical, além da resistência ao vírus Y, à *Stemphylium* e à raça 1 de *Fusarium* (Nagai & Costa, 1969). Em contrapartida, a cultivar Bônus, é um híbrido de hábito de crescimento indeterminado, de ciclo precoce, do grupo Santa Cruz, apresentando tolerância à murcha-de-*Fusarium* raça 1, à mancha de *Stemphylium*, à mancha bacteriana (*Pseudomonas seryngae*) e à pústula bacteriana (*Xanthomonas campestris*) (Toopseed, 2006).

Nos experimentos 3.5.2; 3.5.3 e 3.6.1 foram utilizadas mudas de tomate com 20 dias, semeados em substrato Plantmax[®], da cultivar Santa Cruz Kada, que apresenta ciclo de 120 dias, plantas de crescimento indeterminado, com frutos arredondados com quatro lóculos que possuem boa resistência ao transporte, à podridão apical e à rachaduras e é suscetível a murcha-de-*Fusarium* (EMBRAPA, 1993).

3.3 Avaliação de fontes e doses de silício na formação de mudas de tomateiro

3.3.1 Teste de germinação de sementes em solo tratado com diferentes doses de ácido silícico

Bandejas foram preenchidas com solo de um Latossolo Vermelho Distroférico típico, textura argilosa, com $5,1\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ de Si, o qual foi submetido a duas incubações sequenciais, por um período de 30 dias cada uma. A primeira, com a mistura $\text{CaCO}_3+\text{MgCO}_3$ p.a., em quantidades definidas com base na análise de solo, objetivando manter em 4:1 a relação Ca:Mg e o pH em torno de 6. A segunda incubação foi feita após a mistura de cinco doses de silício na forma de ácido silícico. As dosagens utilizadas foram 0, 200, 300 e $500\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ de $\text{SiO}_2\cdot\text{kg}^{-1}$ de solo. Decorridos 30 dias da última incubação, foi plantada uma semente de tomate por célula, das cultivares Ângela e Bônus.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com oito repetições, constando de uma linha com oito células cada, em esquema fatorial com quatro doses e duas cultivares (4x2).

A avaliação foi feita 21 dias após a semeadura, por meio da contagem de células com plantas maiores que três centímetros de altura. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey ($p\leq 0,05$) utilizando-se o programa SISVAR (Ferreira, 2000).

3.3.2 Efeito da escória agrosilício® (silicato de cálcio e magnésio), em diferentes doses, na germinação e altura de mudas de tomateiro.

Foram utilizadas bandejas contendo solo, com $6,7\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ de Si, o qual foi tratado com cinco doses de escória, além do tratamento testemunha, a qual foi adicionado apenas calcário (35% de CaO e 4% de MgO – PRNT 70%) para elevar a saturação de bases a 80%. Foi feita a análise química do solo testado, tendo as doses de escória sido calculadas em função da necessidade de calagem do solo, adotando-se a dose de 100% (ESC – 100) como sendo a quantidade total de CaO e MgO necessária proveniente da escória e a dose 0% (ESC – 0) como a quantidade total de CaO e MgO proveniente de CaCO_3 e MgCO_3 p.a.

Este solo foi submetido a uma incubação por um período de 30 dias. As dosagens utilizadas e o teor de SiO₂ estão descritas na Tabela 2.

TABELA 2 Doses de escória e carbonato de cálcio e magnésio aplicados ao solo.

<i>Código</i>	<i>CaCO₃</i>	<i>MgCO₃</i>	<i>Escória</i>	<i>SiO₂</i>	<i>CaO</i>	MgO
	(g.kg ⁻¹ de solo)					
ESC-100	0,00	0,00	2,12	0,48	0,55	0,08
ESC-75	0,34	0,07	1,59	0,36	0,55	0,08
ESC-25	1,03	0,20	0,53	0,12	0,55	0,08
ESC-0	1,37	0,27	0,00	0,00	0,55	0,08
TEST	0,00	0,00	0,00	0,00	0,55	0,08

¹ESC-0: Solo tratado apenas com CaCO₃ e MgCO₃; ESC-25, ESC-75, ESC-100: Solo tratado com 25%, 75% ou 100% da necessidade de calagem com escória e o restante com CaCO₃ e MgCO₃, respectivamente; TEST= Solo tratado com o total da necessidade de calagem com calcário.

O resultado da análise química dos solos após tratamento com escória e incubação por 30 dias encontra-se na Tabela 3. Todos os tratamentos apresentaram valores de pH, Ca, Mg e saturação por bases (V%) muito próximos, diferindo apenas nas doses de silício.

Decorridos os 30 dias de incubação, foi plantada uma semente por célula de tomate das cultivares Ângela e Bônus. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com oito repetições, constando de uma linha com oito células cada, em esquema fatorial com cinco tratamentos e duas cultivares (5x2).

A avaliação da germinação das plantas foi feita 21 dias após o plantio das sementes, por meio da contagem de células com plantas maiores que três centímetros e a altura das plantas foi aferida aos 30 dias após o plantio, no estágio de segundo par de folhas definitivas.

TABELA 3 Atributos químicos dos solos após tratamento com escória e incubação por 30 dias. Laboratório de Solos da UFLA, 2005.

Código	<i>pH</i>	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>V</i>	Silício
	H ₂ O	(cmol _c .dm ⁻³)		(%)	(mg.dm ⁻³)
ESC-0	6,6	2,1	0,8	68,8	9,2
ESC-25	6,7	1,8	1,2	68,2	25,7
ESC-75	6,6	2,2	0,8	70,2	35,3
ESC-100	6,6	2,0	1,0	68,2	53,1
TEST	6,9	2,6	1,4	77,7	7,9

¹ESC-0: Solo tratado apenas com CaCO₃ e MgCO₃; ESC-25, ESC-75, ESC-100: Solo tratado com 25, 75 ou 100% da necessidade de calagem com escória e o restante com CaCO₃ e MgCO₃, respectivamente; TEST= Solo tratado com o total da NC com calcário.

A análise de variância (ANOVA) para o ensaio e o contraste de médias entre as doses de cada produto foram feitas usando-se o teste de F para avaliar a significância e feito o ajuste a um modelo de regressão usando o SISVAR (Sisvar, 2000). As curvas de regressão foram geradas usando-se o programa Excel (Excel 97, 1997).

3.4 Efeito *in vitro* de fontes e doses de silício sobre *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*

3.4.1 Efeito de doses do ácido silícico e fontes comerciais no índice de crescimento micelial e germinação de esporos de *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici*

3.4.1.1 Bio-ensaio para teste de crescimento micelial

Fusarium oxysporum f. sp. *lycopersici* raça 2, isolado TO-245 proveniente da empresa Sakata Sudameris do Brasil Ltda[®], cedido pela Embrapa Meio Ambiente, foi cultivado em meio de cultura BDA, sob fotoperíodo de 12 horas de luz/escuro e temperatura de 25 ±3° C. Após cinco dias de crescimento

micelial, retiraram-se discos de micélio das bordas das placas e, em seguida, estes foram transferidos para novas placas contendo meio de cultura BDA, adicionado dos seguintes produtos: ácido silícico p.a., escória e silicato de cálcio p.a.. Foram utilizadas quatro concentrações de cada produto, 0, 250, 500 e 1000mg.dm⁻³

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial, com 10 repetições constantes de uma placa de Petri cada.

As avaliações foram feitas em intervalos de 24 horas, por um período de dez dias. Foi calculado o índice de crescimento micelial (Oliveira, 1991) para cada dosagem em relação à testemunha, ao final do 10º dia, adotando-se a seguinte equação:

$$ICM = [(D1/N1 + D2/N2 + \dots + Dn/Nn) / Nf]$$

Em que:

ICM = índice de crescimento micelial

D1 = crescimento da colônia na primeira avaliação

N1 = intervalo de dias da repicagem na primeira avaliação

Dn = crescimento da colônia na última avaliação

Nn = intervalo de dias entre as duas últimas avaliações

Nf = intervalo total de tempo da repicagem na avaliação final.

Após a obtenção dos dados, foi feita uma primeira análise entre os tratamentos, utilizando-se o teste de médias Scott-Knott (1974). A análise de variância (ANOVA) para o ensaio e o contraste de médias entre as doses de cada produto foram feitas utilizando-se o teste de F para avaliar a significância e feito o ajuste a um modelo de regressão pelo SISVAR (Sisvar, 2000). As curvas de regressão foram geradas usando-se o programa Excel (Excel 97, 1997).

3.4.1.2 Teste de germinação de esporos de *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici*

Em placas contendo micélio de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*, com sete dias de idade em BDA, foram vertidos 50mL de água esterilizada. Os esporos do fungo foram suspensos em água por raspagem da placa com alça de driglasky flambada.

Foram produzidas suspensões de SiO₂ a partir de ácido silícico p.a., escória e silicato de cálcio p.a., as quais foram diluídas para as concentrações de 0, 200, 500, 1000mg.dm⁻³ de SiO₂.

Foram adicionados, em lâminas escavadas, 40µL de solução de esporos na concentração de 10⁶ esporos do fungo testado por mL de água, juntamente com 40µL de suspensão das fontes de silício. As lâminas foram incubadas em ambiente saturado e mantidas a 25°C, sob regime de 12 horas de luz e 12 horas de escuro, por um período de, aproximadamente, 24 horas. Após este período, foi paralisado o crescimento do fungo por meio da adição de 10µL de solução de lactoglicerol em cada cavidade. Foi feita a contagem de esporos germinados, em um universo de 200 esporos, amostrados em quatro quadrantes, para se obter a porcentagem de germinação. Serviram de testemunha (dose 0) lâminas escavadas com 40µL de água esterilizada e 40µL da suspensão de esporos.

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente ao acaso com seis repetições, em esquema fatorial (3x4), três fontes de silício em quatro doses. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$) utilizando-se o programa SISVAR (Sisvar, 2000).

3.4.2 Efeito de doses e fontes de silício no diâmetro final de colônia e esporulação em placa de *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici*

O mesmo isolado descrito no experimento 3.2.1 foi cultivado em meio de cultura BDA, sob as mesmas condições controladas já citadas. Após cinco dias de crescimento micelial, retiraram-se discos de micélio das bordas das placas e, em seguida, estes foram transferidos para novas placas contendo meio de cultura BDA, adicionadas dos seguintes produtos: ácido silícico p.a., escória, silicato de cálcio p.a. e termofosfato magnésiano, nas doses 0, 1000, 2000 e 4000mg.dm⁻³ de SiO₂, adicionados ao meio de cultura.

Após sete dias de incubação, foi feita a avaliação dos diâmetros das colônias. Foram adicionados às placas 50mL de água destilada e esterilizada e foi feita a raspagem do micélio, com alça de driglasky flambada, para a liberação dos microesporos. Essa suspensão de esporos foi homogeneizada e coletada em um tubo de ensaio para posterior contagem dos esporos com auxílio de um hemacitômetro.

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com 10 repetições, constando de uma placa de Petri cada. A análise de variância (ANOVA) para as médias dos diâmetros finais das colônias e o contraste de médias entre as doses de cada produto foram feitos usando-se o teste de F para avaliar a significância e o ajuste a um modelo de regressão pelo programa SISVAR (Sisvar, 2000). As curvas de regressão foram geradas usando-se o programa Excel (Excel 97, 1997). Os dados da esporulação em placa foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$) usando-se o programa SISVAR (Sisvar, 2000).

3.5 Efeito *in vivo* de doses de ácido silícico e de fontes comerciais de silício na indução de resistência em mudas de tomateiro a *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici*

3.5.1 Preparo do inóculo

O *Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici* foi cultivado em meio Batata dextrose agar (BDA) e colocado em BOD a $25\pm 2^{\circ}\text{C}$, por sete dias. Depois desse período foi inoculado, em meio batata-dextrose (BD) e colocado no agitador orbital, a 150rpm, por cinco dias a $25\pm 2^{\circ}\text{C}$. Para a obtenção da massa fúngica os erlenmeyers foram centrifugados a 6.000g por vinte minutos e o sobrenadante foi retirado com pipeta volumétrica de 20mL e descartado. Esse procedimento foi repetido duas vezes com água destilada para ser lavado. O precipitado foi separado em um béquer e misturado ao talco. Após ser misturado, foi armazenado à temperatura ambiente para secar. Esta fase teve duração de aproximadamente cinco dias. O talco com inóculo foi revolvido todos os dias, para que houvesse oxigenação (Cotxrrera; et al, 2001).

Depois que o talco secou e sempre antes da instalação dos ensaios, foi feito o teste de viabilidade de clamidósporos (estrutura de resistência do fungo) contidos no talco com inóculo, pela contagem de unidades formadoras de colônia. O teste foi feito com diluição em série (10^{-1} a 10^{-6}), adicionando-se 200 μL em cada placa (quatro repetições por diluição) em meio BDA e foi feita a contagem do número de colônias com auxílio de um microscópio estereoscópio. Depois, o talco com inóculo foi armazenado em geladeira, a uma temperatura de aproximadamente 4°C até o uso (Cotxrrera *et al.*, 2001).

3.5.2 Efeito de fontes de silício na indução de resistência do tomateiro a *F. oxysporum f. sp. lycopersici*

O solo utilizado foi o Latossolo Vermelho Distroférico (LVdf) com baixo teor de Si, obtido na fazenda HortiAgro, município de Ijaci, MG, contendo uma concentração de silício disponível de $5,1\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$. Foram utilizados vasos de 3 litros, com quatro fontes de silício, além da testemunha (sem silício), em cinco blocos constando de 10 vasos com três plantas cada. Para cada fonte de

silício foram testados tratamentos com plantas inoculadas e não inoculadas, formando-se, assim, um esquema fatorial 5 x 2.

TABELA 4 Produtos aplicados aos tratamentos e suas composições em percentagem e gramas.

Produto	SiO₂		CaO		MgO		P₂O₅	
Ácido silícico	64%	2g	-	-	-	-	-	-
Silic. de Cálcio	64%	2g	16%	0,5g	-	-	-	-
Escória	23%	2g	36%	3,13g	6%	0,52g	-	-
Termofosfato	23%	2g	20%	1,74g	9%	0,78g	18%	1,57g
Testemunha	-	-	-	-	-	-	-	-

Os tratamentos foram: ácido silícico p.a., escória, silicato de cálcio p.a. e termofosfato magnésiano, todos com o teor de 2 g de SiO₂ .kg⁻¹ de solo, além da testemunha sem adição de nenhuma fonte de silício (Tabela 4).

Cada tratamento foi misturado individualmente em baldes de 50 litros e deixados para incubar próximo da capacidade de campo, por 30 dias. A análise química do solo após aplicação das fontes de silício encontra-se na Tabela 5.

Após o período de incubação, mudas de tomateiro do grupo Santa Cruz variedade Paulistinha (Kada), com 20 dias de idade, foram transplantadas para os vasos (três mudas.vaso⁻¹). Foram feitas adubações foliares semanais com Yoogen[®], na dose de 2g.L⁻¹ de água.

Aos quinze dias após o transplante, os vasos foram inoculados com a adição de 4,28 g do talco, preparado como descrito acima, na concentração de 10⁵ ufc.g⁻¹ de talco, diluído em água destilada. Foram feitas quatro perfurações

no solo próximo da região radicular de cada planta e a suspensão de esporos foi adicionada com auxílio de uma pipeta automática.

TABELA 5 Análise química do solo sob os tratamentos com as fontes silicatadas. Laboratório de análise de solos – UFLA.

Produto	pH	P	K	Ca	Mg	H+Al	Cu	Zn	Fe	Mn
	água	-(mg.dm ⁻³)-		----(cmol _c .dm ⁻³)---			----- (mg.dm ⁻³)-----			
					-				-	
Ác.silicício	6,7	20,6	246	2,1	1,3	1,1	1,0	3,8	72,0	42,9
Sil. de cálcio	7,4	19,8	259	4,1	1,0	1,0	1,0	3,5	79,8	34,9
Escória	7,0	18,7	365	3,5	1,9	1,1	1,0	4,1	96,4	42,9
Termofosfato	6,8	58,7	374	2,7	1,5	1,1	0,9	4,0	98,3	45,9
Testemunha	6,7	20,8	200	2,0	1,2	1,0	0,9	3,5	73,8	43,8

3.5.3 Efeito de doses de fontes comerciais de silício na indução de resistência a *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* em mudas de tomateiro

As mudas foram plantadas e conduzidas conforme descrito no item 3.3.2. Apenas os tratamentos do solo onde as plântulas foram transplantadas diferiram. Neste segundo experimento, foram testadas diferentes doses de fontes comerciais de silício.

Os tratamentos foram: escória e termofosfato magnésiano, nas doses de 0, 1, 2 e 4g de SiO₂.kg⁻¹ de solo, com inoculação ou não, das plantas.

Os resultados das análises de solo após a aplicação das fontes e doses de silício encontram-se demonstrados na Tabela 6.

TABELA 6 Análise química do solo sob os tratamentos com as fontes e doses de SiO₂. Laboratório de análise de solos – UFLA.

Doses de SiO ₂ (g.kg ⁻¹)	pH água	P -(mg.dm ⁻³)-	K	Ca	Mg	H+Al ----(cmol _c .dm ⁻³)----	Cu	Zn	Fé ----- (mg.dm ⁻³)-----	Mn
Escória										
0	6,7	20,8	200	2,0	1,2	1,0	0,9	3,5	73,8	43,8
1	6,9	29,5	382	2,4	1,5	1,1	1,0	3,4	91,2	34,2
2	7,0	18,8	365	3,5	1,5	1,1	1,0	4,1	96,4	42,9
4	7,3	25,6	397	3,7	1,9	1,0	0,9	4,2	94,3	45,9
Termofosfato										
0	6,7	20,8	200	2,0	1,2	1,0	0,9	3,5	73,8	43,8
1	6,7	357,2	392	2,4	1,0	1,1	1,0	3,7	74,2	41,9
2	6,8	580,8	374	2,7	1,5	1,1	0,9	4,0	98,3	45,9
4	6,9	796,4	385	3,1	1,8	1,0	0,9	4,1	76,5	49,8

Constituiu-se assim um ensaio em blocos em esquema fatorial 2 x 4 x 2, sendo duas fontes comerciais de silício, quatro doses, inoculados ou não. Foram utilizados vasos de 3 litros, em cinco blocos, com três plantas cada por tratamento.

A inoculação e a adubação também foram feitas conforme descrito no item 3.3.2.

3.5.4 Avaliações

Para avaliar o grau de severidade da doença no tomateiro foi utilizada a escala de notas de Sidhu & Webster (1977) adaptada por Resende et al. (1995) (Tabela 7).

Foram avaliadas todas as folhas de cada planta e os dados foram utilizados para o cálculo da severidade (S) da murcha de *Fusarium* em que:

$$S = (\Sigma N) / nf$$

Sendo que:

N = notas de cada folha

nf = número total de folhas de cada planta.

TABELA 7 Escala de notas para avaliação da severidade da murcha-de-*Fusarium**.

<i>Nota</i>	Redução da área fotossintética provocada por murcha, amarelecimento ou necrose
0	0%
1	1% a 25%
2	26% a 50%
3	51% a 75%
4	> 75%

*Proposta por Sidhu & Webster (1977) adaptada por Resende et al. (1995).

Após a avaliação da severidade, as plantas foram cortadas na região do colo e colocadas em saco de papel. Foi feita a pesagem da parte aérea e, colocada na estufa para secar a 65° C, até massa constante, medindo-se assim a

massa seca da parte aérea. A média de crescimento das plantas, foi obtida medindo-se cada planta da base do colo até a inserção da última folha, ao final do experimento.

Os dados de massa, úmida e seca, de parte aérea e altura de plantas foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$), no ensaio 1 e Scott-Knott, no ensaio 2, utilizando-se o programa SISVAR (Sisvar, 2000). A análise de variância (ANOVA) para a severidade e o contraste de médias entre as doses de cada produto foram feitos usando-se o teste de F para avaliar a significância e para o ajuste a um modelo de regressão utilizou-se o SISVAR (Sisvar, 2000) no experimento 2. As curvas de regressão foram geradas usando-se o programa Excel (Excel 97, 1997).

3.6 Avaliação do potencial de lignificação de plantas de tomateiro em solo tratado com fontes de silício

3.6.1 Determinação de lignina

As mudas foram plantadas em solo tratado, com silício conforme descrito no experimento 3.3.1. Foram testados os tratamentos: ácido silícico e escória na dose de 2g de $\text{SiO}_2 \cdot \text{kg}^{-1}$ de solo, além da testemunha, sem adição de silício, com plantas inoculadas ou não. O experimento foi montado em esquema fatorial (3x2) com cinco blocos e três plantas cada. A inoculação e a condução do experimento foram realizadas também, realizadas conforme descritos no experimento supracitado.

Trinta dias após a inoculação, as plantas foram cortadas na altura do colo. As folhas da haste foram separadas e colocadas em saco de papel. As plantas foram secas em estufa a 105°C, até massa constante. As folhas foram descartadas e as hastes foram moídas em moinho elétrico. Foi pesado 0,1g de haste seca de cada repetição para a extração de lignina.

A extração de lignina foi feita segundo protocolo de extração proposto por Monties (1989). Assim uma alíquota de 0,1g de tecido vegetal seco e moído foi clareado usando-se acetona 85%, seguida de centrifugação (8000rpm/15', rotor SA600), usando-se tudo de ensaio de 10mm de diâmetro. O sobrenadante foi descartado. Logo em seguida, foi feita a secagem do precipitado à temperatura ambiente por aproximadamente 12 horas (overnight). Foram adicionados 5 mL/tubo de solução de ácido tioglicólico p.a. e HCl 2N, na concentração de 1:10 (v/v). Os tubos permaneceram em banho-maria a 100° C durante 4 horas. Posteriormente, os tubos, com as suspensões, foram centrifugados a 8000rpm por cinco minutos. O sobrenadante foi descartado e o precipitado foi lavado com água destilada, adicionando-se 5mL de água/tubo. Os tubos foram agitados em agitador automático (vórtex). Em seguida, foi feita centrifugação por cinco minutos a 8000rpm. Descartou-se o sobrenadante (água).

Para extração do lignotioglicólico, os tubos foram incubados por 18 horas após a adição de 5mL NaOH 0,5M/tubo. Após esse período, foi feita uma centrifugação a 8000rpm por 15 minutos e o sobrenadante foi coletado em um novo tubo. As suspensões foram acidificadas para precipitar com 200µL de HCl p.a. (10,15M) por tubo e armazenada em gelo durante 4 horas. Foi feita uma última centrifugação a 8000rpm por 30 minutos. O sobrenadante foi descartado e procedeu-se à ressusensão do precipitado em NaOH 0,5M, completando-se o volume para 50mL. Os tubos foram vigorosamente agitados em agitador (vórtex) para homogeneização. Por último, foi feita a leitura da absorbância em espectrofotômetro, em um comprimento de onda (λ) de 280nm.

Os dados foram convertidos a teor de lignina (μg de lignina. mg^{-1} de matéria seca), de acordo com a equação padrão:

$$L = (\text{ABS} \cdot \text{D} \cdot \text{Fc}) \cdot \text{DW}^{-1}$$

em que:

L = deposição de lignina ($\mu\text{g}/\text{mg}$ de tecido seco)

ABS = absorvância a 280nm

D = diluição

Fc = 144,93 Fator de correção obtido por meio da curva padrão, constituída com diferentes concentrações de lignina padrão (alkali, 2-hidroxipropil éter).

DW = massa da alíquota de matéria seca (mg)

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$) utilizando-se o programa SISVAR (Sisvar, 2000).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Avaliação de fontes e doses de silício na formação de mudas de tomateiro

4.1.1 Teste de germinação de sementes em solo tratado com diferentes doses de ácido silícico

A porcentagem de germinação das sementes de tomate apresentou diferença significativa, pelo teste de F, para as doses de ácido silícico testadas, apresentando significância ao modelo quadrático. Observou-se aumento na germinação das sementes de tomateiro até a dose de 359mg.dm^{-3} de SiO_2 (Figura 1).

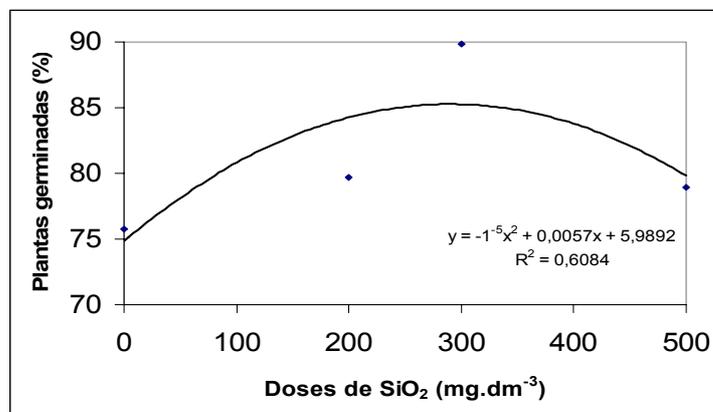


FIGURA 1 Efeito das doses de ácido silícico na germinação de sementes de tomateiro das cultivares Bônus e Ângela.

As duas cultivares testadas responderam de forma semelhante à aplicação de ácido silícico ao solo, não apresentando diferença significativa entre elas, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Não foi constatada também diferença significativa na interação entre as doses de silício testadas e as cultivares Ângela e Bônus.

Poucos trabalhos relatam o efeito do silício na germinação de sementes. Encontram-se na literatura, muitas referências ao efeito do silício no crescimento e na produtividade das culturas (Adata et al., 1986; Anderson et al., 1991; Barbosa Filho et al., 2000; Belanger et al., 1995; Birchall, 1995; Birchall et al., 1996; Carlisle, 1972; Chen & Lewin, 1969; Corrales et al., 1997; Friesen, 1994). Sabe-se que o silício é vastamente encontrado na natureza e sua função e essencialidade para as plantas ainda são muito discutidas. Seria importante que novos trabalhos fossem desenvolvidos para a avaliação do efeito deste importante mineral, também na germinação de sementes, visto que, preconiza-se a substituição do calcário por uma fonte de silício (escória), a qual deve ser colocada no solo antes do plantio, o que pode influenciar a germinação.

4.1.2 Efeito da escória agrosilício® (silicato de cálcio e magnésio), em diferentes doses, na germinação e altura de mudas de tomateiro

O teor de silício no solo foi afetado significativamente pelas doses de escória aplicadas. Observou-se ajuste ao modelo linear, verificando-se aumento do teor de silício de 9,2 para 53,1 $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$, com o aumento das doses de escória (Figura 2). Lana et al. (2003) também observaram uma relação direta entre as doses de aplicação de silicato de cálcio e a acumulação de silício no solo.

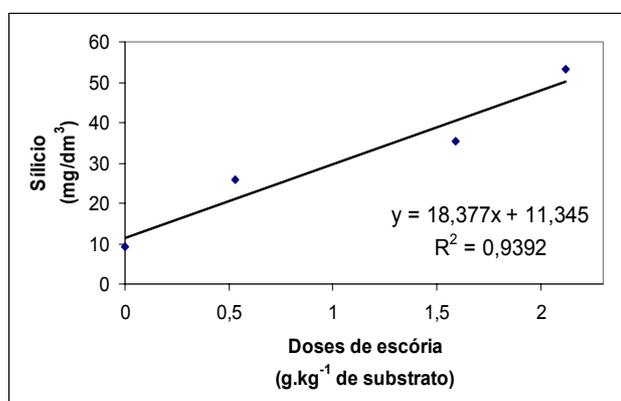


FIGURA 2 Regressão linear para o teor de silício no solo, em função de doses de escória.

A interação entre as doses utilizadas e as cultivares testadas apresentou diferenças significativas nas duas variáveis avaliadas. As médias de cada cultivar dentro de cada dose estão representadas na Tabela 8.

TABELA 8 Efeito das doses de escória na altura de plantas e percentagem de plantas germinadas de dois cultivares de tomateiro em relação à testemunha.

<i>Tratamento</i>	<i>Altura de plantas (cm)</i>				<i>% de plantas germinadas</i>			
	Bônus		Ângela		Bônus		Ângela	
ESC-0	60,14	A	48,71	A	42,85	A	61,25	A
ESC-25	147,14	A	117,86	B	110,21	A	104,31	A
ESC-75	176,43	A	99,43	B	97,96	A	106,57	A
ESC-100	107,28	A	93,43	B	93,88	A	106,57	A
CV (%)	-----11,49-----				-----22,79-----			

¹ Dados são médias de oito repetições

² Médias seguidas de letras maiúsculas iguais nas linhas, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott.

O tratamento em que foram aplicados apenas carbonato de cálcio e magnésio no solo em substituição à calagem apresentou as piores respostas para os parâmetros avaliados. A média da germinação de sementes das cultivares Bônus e Ângela, neste tratamento, foi de 42,85% e 61,25% em relação à testemunha, respectivamente.

As doses de escória afetaram significativamente, pelo teste F, a altura de plantas e percentagem de plantas germinadas. A altura das plantas, assim como a germinação das sementes das duas cultivares de tomateiro, apresentou comportamento quadrático, ocorrendo aumento na altura de plantas da cultivar Bônus e Ângela até o teor de 34,48mg.dm⁻³ e 36,48 mg.dm⁻³ de silício no solo, respectivamente (Figuras 3A e 3B). No entanto ocorreu aumento de plantas germinadas em solo tratados até o teor de 37,81 mg.dm⁻³ de Si, para a cultivar Bônus e 41,50 mg.dm⁻³ de Si para a cultivar Ângela (Figuras 4A e 4B).

Tais diferenças de resposta entre cultivares também foram observadas para arroz (Winslow,1992; Deren et al., 1992). Foi observado que genótipos dessa cultura diferem no teor de Si, respondendo de modo distinto à aplicação do elemento.

Contudo, um efeito na germinação de plantas sob condições controladas pode não ser observado no campo. Conforme relatado por Juliatti et al. (2004), a aplicação de silicato de cálcio na forma granulada ou em pó não influenciou a emergência de soja no campo.

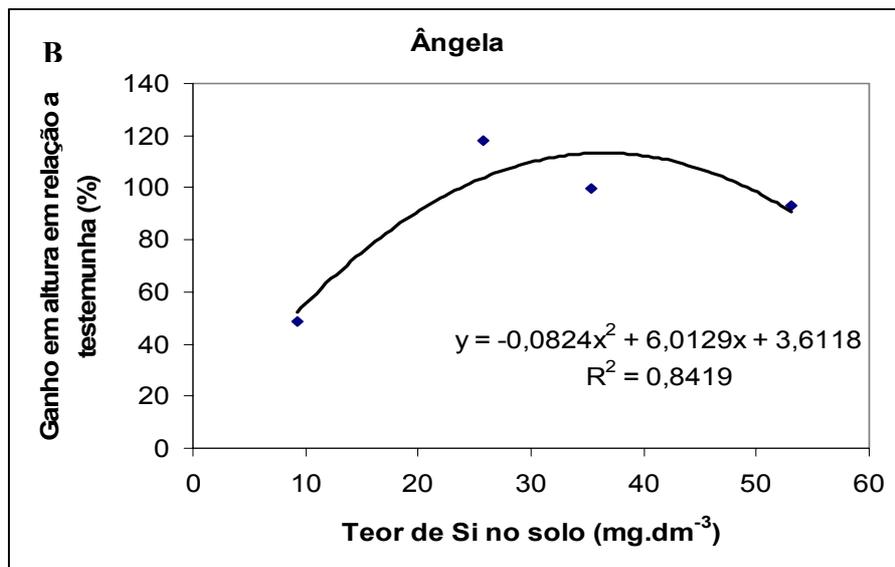
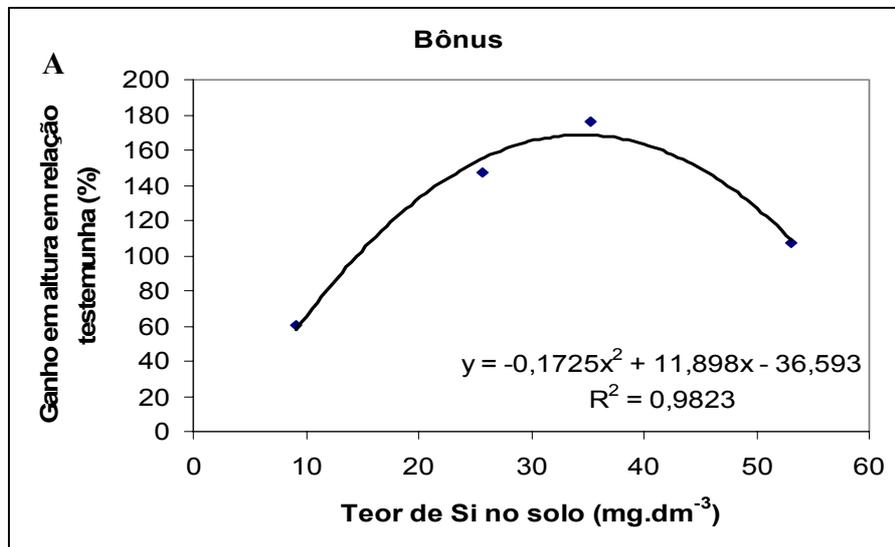


FIGURA 3A e 3B Ganho em altura do tomateiro em relação a testemunha em função dos diferentes teores de silício no solo. A. Cultivar Bônus B. Cultivar Ângela.

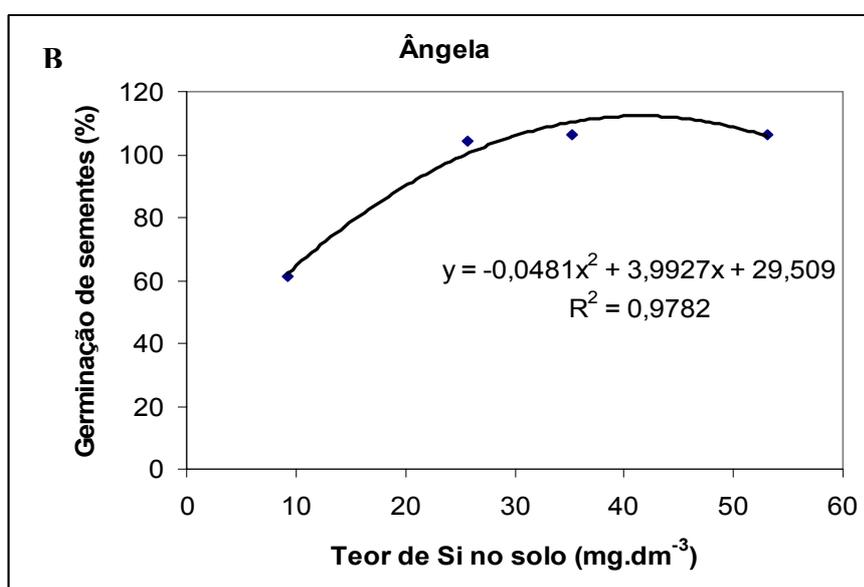
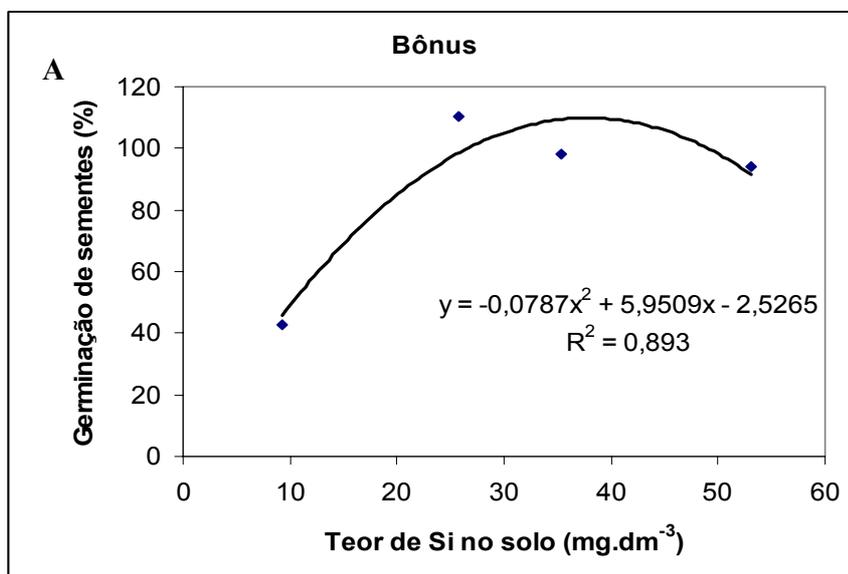


FIGURA 4A e 4B Germinação das sementes de tomateiro em relação à testemunha em função dos diferentes teores de silício no solo. A. Cultivar Bônus B. Cultivar Ângela.

4.2 Efeito *in vitro* de fontes e doses de silício sobre *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*

4.2.1 Efeito de doses do ácido silícico e fontes comerciais no índice de crescimento micelial e germinação de esporos de *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici*

Não houve diferença significativa entre as doses e fontes de silício na porcentagem de germinação de esporos de *Fusarium*, não apresentando também significância na interação dos fatores doses de SiO₂ e fontes de silício (Tabela 9). Ribeiro Júnior (2005), trabalhando com silicato e cloreto de potássio, observou uma redução na germinação de esporos de *Verticillium dahliae* de forma semelhante para os dois produtos. Sabendo-se que o tratamento com cloreto de potássio, neste experimento, foi realizado para se nivelar o efeito do potássio, acredita-se que o silício puro não tenha apresentado efeito direto na germinação deste patógeno.

TABELA 9 Efeito das fontes de silício na porcentagem de germinação e índice de crescimento micelial (ICM) de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*.

<i>Fonte de silício</i>	% de germinação de esporos		ICM	
Ácido silícico	80,90	a	3,254	b
Escória	82,64	a	3,284	a
Silicato de cálcio	82,56	a	3,318	a
CV (%)	----- 26,28 -----		----- 2,30 -----	

¹ Dados são médias de seis repetições

² Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Scott-Knott.

O índice de crescimento micelial (ICM) de *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* foi influenciado pelas fontes de silício estudadas (Tabela 10). A fonte pura de silício, ácido silícico, proporcionou menor índice de crescimento micelial (Tabela 10). Este resultado pode ser explicado pelo fato das outras fontes conterem, na sua formulação, outros nutrientes como Ca e Mg que podem ter influenciado no crescimento do fungo.

TABELA 10 Efeito da interação entre fontes e doses de silício no índice de crescimento micelial (ICM) de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*.

Doses	Ácido Silícico		Escória		Silicato de Cálcio	
0mg.dm ⁻³	3,189 ¹	A ²	3,189	A	3,189	A
200mg.dm ⁻³	3,284	A	3,273	A	3,334	A
500mg.dm ⁻³	3,287	A	3,305	A	3,411	B
1000mg.dm ⁻³	3,256	A	3,369	B	3,338	B

¹ Dados são médias de dez repetições

² Médias seguidas de letras maiúsculas iguais nas linhas, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott.

O ICM apresentou diferença significativa para as doses de SiO₂ utilizadas em todas as fontes testadas, pelo teste de F. O modelo que melhor se ajustou às médias de ICM em meio com ácido silícico e silicato de cálcio foi o modelo quadrático (Figura 5A e 5B). Foi observado um aumento no ICM até a dose de 666,7mg.dm⁻³ e 500mg.dm⁻³ de SiO₂, para os tratamentos com ácido silícico e silicato de cálcio, respectivamente, apresentando uma ligeira diminuição após essa dose. No entanto, os ICM, nos tratamentos com adição de

diferentes doses de escória ao meio, apresentaram um modelo de regressão linear com maior ICM na maior dose testada.

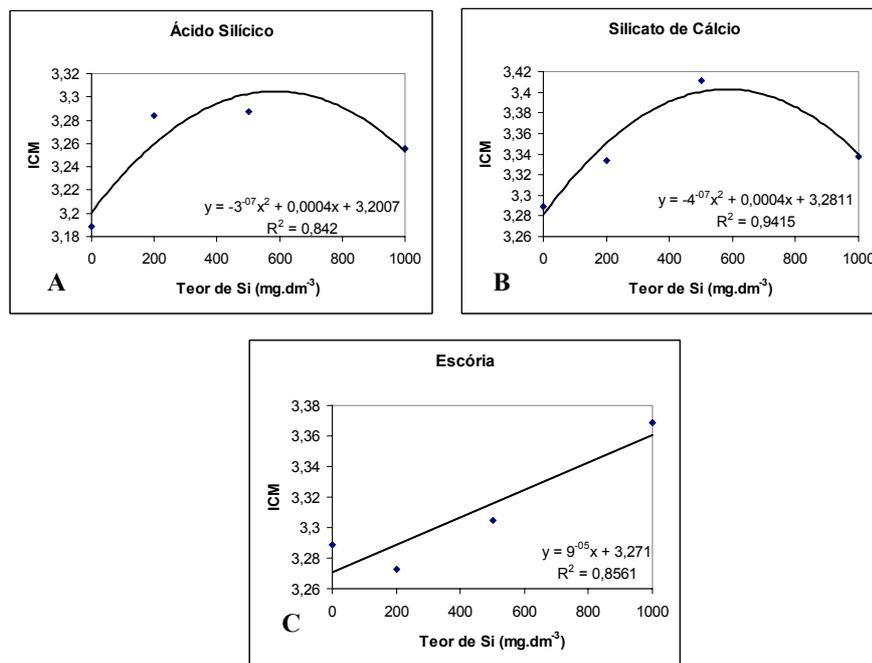


FIGURA 5 Efeito de doses de silício sobre o índice de crescimento micelial de *F. oxysporum* em meio de cultura BDA. 5A ácido silícico; 5B silicato de cálcio; 5C escória.

4.2.2 Efeito de doses e fontes de silício no diâmetro final de colônia e esporulação em placa de *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici*

Como não foi observada inibição do crescimento micelial nas doses testadas, no experimento 4.2.1 para escória, optou-se por utilizar novas e

maiores doses das fontes de silício já testadas, além de mais uma fonte comercial, largamente utilizada, o termofosfato.

O diâmetro final, em placa, de colônia de *Fusarium*, apresentou diferença significativa, pelo teste de F, entre as fontes e doses testadas, apresentando significância também para a interação entre estes dois fatores (Tabela 11). Comparando-se as fontes de silício utilizadas o ácido silícico apresentou os menores crescimentos radiais de colônias em todas as doses testadas, em contrapartida, a escória apresentou os maiores resultados para essa fonte de variação. Este resultado era esperado, visto que o ácido silícico, por ser uma fonte pura de silício, não disponibilizou micronutrientes ao meio de cultura para o fungo, os quais, poderia vir a estimular o seu crescimento, o que pode ter ocorrido com a fonte de silício escória, que, além de silício, possui cálcio e magnésio em sua formulação.

TABELA 11 Efeito das fontes de silício no crescimento radial da colônia de *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici*.

Fonte de Silício	Doses (mg.dm⁻³)			
	0	1000	2000	4000
Silicato de Cálcio	6,75 a	7,06 ab	6,77 a	6,34 a
Termofosfato	6,75 a	7,37 b	7,39 b	7,21 b
Ácido Silícico	6,75 a	6,92 a	6,82 a	6,47 a
Escória	6,75 a	7,95 c	7,83 c	7,56 b

¹ Médias seguidas de letras iguais nas colunas, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey

As doses de todas as fontes de silício testadas apresentaram significância ao modelo quadrático (Figuras 6A, 6B, 6C, 6D). Observou-se aumento no diâmetro da colônia até as doses de 1666,67mg.dm⁻³, 2500mg.dm⁻³, 1250mg.dm⁻³

³ e 3000mg.dm⁻³ para ácido silícico, escória, silicato de cálcio e termofosfato, respectivamente. Sendo assim, a melhor fonte testada foi o silicato de cálcio, pois a partir de uma menor dose, pode ser observado um menor crescimento da colônia fúngica.

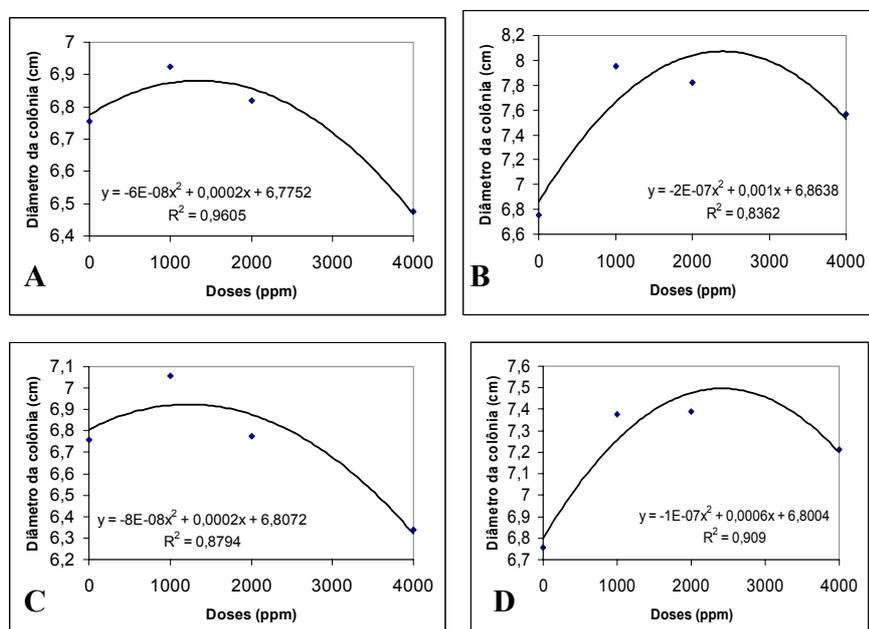


FIGURA 6 Crescimento radial da colônia de *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* em diferentes doses de (A) Ácido silícico; (B) Escória; (C) Silicato de cálcio; (D) Termofosfato.

Nenhuma das fontes testadas afetou significativamente ($p \leq 0,05$) a esporulação de *F. oxysporum* f. sp. *oxysporum* (Tabela 12).

Segundo Kúc (2001), produtos indutores de resistência, no *sensu stricto*, não atuam sobre o patógeno, contudo, no *sensu amplo*, os indutores podem atuar induzindo resistência e afetando o patógeno. Estudos têm mostrado que o

controle de doenças mediado pela aplicação de silício ocorre por indução dos mecanismos de defesa do hospedeiro (Rodrigues et al., 2001). No caso de *Phoma costaricensi*, Nojosa (2003) observou que os indutores ASM e fosfito interferem no desenvolvimento do fungo, diminuindo o tamanho do tubo germinativo dos conídios de *Phoma costarricensis* aparentemente não afetando a germinação de conídios.

TABELA 12 Efeito *in vitro* do ácido silícico e fontes de silício na esporulação em placa de *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici*.

<i>Fonte de Silício</i>	<i>Dose (mg.dm⁻³ de SiO₂)</i>	<i>Esporulação em placa (Nº de esporos.mL⁻¹)</i>	
Ácido silícico	0	8,725 x 10 ⁶	a
	1000	6,500 x 10 ⁶	a
	2000	7,000 x 10 ⁶	a
	4000	8,025 x 10 ⁶	a
Escória	0	8,725 x 10 ⁶	a
	1000	7,350 x 10 ⁶	a
	2000	7,950 x 10 ⁶	a
	4000	7,720 x 10 ⁶	a
Silicato de cálcio	0	8,725 x 10 ⁶	a
	1000	7,475 x 10 ⁶	a
	2000	6,450 x 10 ⁶	a
	4000	9,650 x 10 ⁶	a
Termofosfato	0	8,725 x 10 ⁶	a
	1000	8,250 x 10 ⁶	a
	2000	8,125 x 10 ⁶	a
	4000	7,765 x 10 ⁶	a

¹ Dados são médias de três repetições

² Médias seguidas de letras iguais, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

4.3 Efeito *in vivo* de doses de ácido silícico e de fontes comerciais de silício na indução de resistência em mudas de tomateiro a *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici*

4.3.1 Efeito de fontes de silício na indução de resistência do tomateiro a *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici*

A severidade da doença foi reduzida pela adição de escória ao solo em 27,3%, os tratamentos com adição de termofosfato e ácido silícico não diferiram entre si, mas, diferiram significativamente da testemunha e do silicato de cálcio, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$) (Figura 7). A redução da severidade da doença em plantas tratadas com silício pode ter ocorrido devido à formação de barreira estrutural, diminuindo a penetração do fungo pelas raízes, partindo do pressuposto de que o tomateiro, por ser uma planta não acumuladora de silício, mantém a maior parte desse elemento absorvido retido nas raízes (Miyake & Takahashi, 1985).

O silício como barreira à penetração do fungo foi observado por Pozza et al. (2004), trabalhando com o patossistema *Cercospora coffeicola* e cafeeiro. Em plantas inoculadas e tratadas com silicato de cálcio foi obtida uma redução de 63,2% nas folhas lesionadas e de 43% no total de lesões por planta da cultivar Catuaí, em relação à testemunha e em plantas tratadas com silicato de cálcio. O silício foi observado depositado no sítio de infecção na superfície da folha.

Além da barreira física direta pela deposição do elemento, ele pode desencadear respostas de defesa. Cherif et al. (1994) citam que a adubação silicatada parece induzir o mecanismo de defesa da planta em resposta à invasão do patógeno. A indução é expressa por reações em cadeia de várias mudanças bioquímicas associadas, responsáveis por limitar a ação do patógeno. Essa característica explica a não especificidade da resistência induzida pelo silício, em plantas contra vários patógenos.

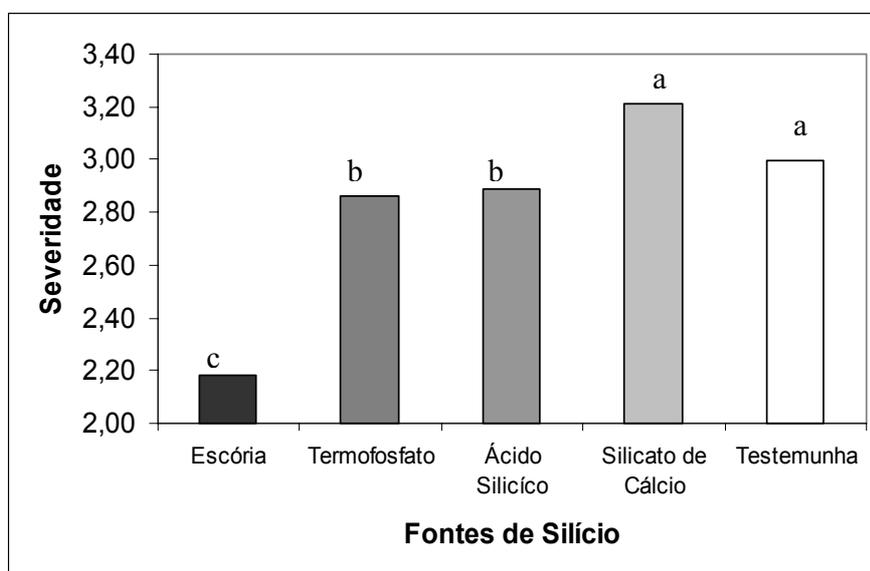


FIGURA 7 Severidade da murcha-de-*Fusarium* aos 30 dias após inoculação.

¹ Dados são médias de cinco repetições

² Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Scott-Knott.

A diferença entre os tratamentos com as mesmas doses de SiO_2 pode ser explicada pela presença, na fonte de silício, de outros nutrientes que ter interferido no patossistema testado. Estudos têm demonstrado que a murcha-de-*Fusarium* pode ser afetada pela fertilidade do solo e pelas diferentes fontes de nutrientes. Woltz & Jones (1973) citam que formas de nitrato em fertilizantes nitrogenados podem reduzir a murcha-de-*Fusarium* em tomateiro, enquanto a forma amoniacal pode aumentar a severidade da doença. A forma de nitrato tende a deixar a zona radicular menos ácida. Basicamente, o efeito benéfico do alto pH é perdido pela utilização da forma amoniacal que acidifica o meio. Estudos com tomate têm mostrado que o uso do nitrogênio, na forma de nitrato,

em solo com um pH já alto, resulta, quase sempre, em melhores resultados de controle da murcha. O nitrogênio aplicado na forma de nitrato ao solo também resultou em menores níveis de murcha-de-*Fusarium* em crisântemo, asters e cravos (Woltz & Ebgelhard, 1973)

Os níveis de fósforo no solo também podem influenciar na severidade da murcha-de-*Fusarium*. Jones et al. (1989) demonstraram que altas doses de fósforo, acima do nível necessário para o desenvolvimento da cultura, podem aumentar a severidade da murcha-de-*Fusarium* em algodão. Esta pode ser uma explicação para o fato do tratamento com termofósforo não ter apresentado o melhor controle para a severidade da doença.

Ganho de altura em copa e acúmulo de massa fresca e seca da parte aérea aos 45 dias após transplântio de tomateiros tratados, inoculados ou não, e controles (testemunha) foram observados como expressão de crescimento vegetativo. Em termos de acúmulo de massa fresca, houve diferenças significativas entre os tratamentos, para ambos, os quais as plantas foram inoculadas ou não. O tratamento baseado na aplicação de escória apresentou os melhores resultados, obtendo um acúmulo de massa fresca 23,4% maior no tratamento com escória inoculado de que no tratamento controle. (Tabela 13).

Com relação ao ganho em altura da copa (Tabela 13), plantas expostas aos tratamentos estudados apresentaram diferenças significativas apenas nos tratamentos inoculados. Foi observado um maior ganho em altura de copa nas plantas tratadas com silicato de cálcio, com um aumento de 205,53mm (tratamento sem aplicação de silício) para 225,80mm (tratamento com adição de silicato de cálcio), o que corresponde a 9,8% em relação ao tratamento controle. Apesar do acúmulo de massa seca apenas o material com escória com inoculação das plantas diferiu significativamente dos demais tratamentos, apresentando um aumento de 6,8% em relação ao tratamento controle.

A podridão de raízes em tomateiro causada por *Fusarium solani* foi controlada pela aplicação de silicato de potássio ao solo, que também resultou em maiores massas de parte aérea, seca e úmida, e maiores alturas de plantas infectadas em relação ao tratamento controle (El-Samman, 2000). Os resultados obtidos neste experimento concordam com os relatados por El-Samman (2000), observando-se que o tratamento baseado na aplicação de escória apresentou menor severidade e maiores massas de parte aérea, seca e úmida em relação à testemunha inoculada.

TABELA 13 Efeito das diferentes fontes de silício na massa seca e úmida de parte aérea e altura de tomateiros inoculados ou não com *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici*.

Fontes de silício	Altura de plantas (cm)		Massa úmida de parte aérea (g)		Massa seca de parte aérea (g)	
	Inoculada	Não inoculada	Inoculada	Não inoculada	Inoculada	Não inoculada
Escória	212,20 ab	216,00 a	126,90 a	128,45 a	27,40 a	30,73 a
Termofosfato	181,60 b	214,47 a	108,32 ab	108,95 ab	23,93 b	24,60 a
Ác. silícico	207,93 ab	196,93 a	114,71 ab	115,88 ab	26,00 b	28,80 a
S. de cálcio	225,80 a	215,93 a	105,38 b	105,35 b	23,06 b	25,80 a
Testemunha	205,53 ab	208,27 a	102,79 b	122,59 ab	25,66 b	30,20 a
CV (%)	12,46		10,27		28,70	

¹ Dados são médias de cinco repetições.

² Médias seguidas de mesma letra, nas colunas não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

4.3.2 Efeito de doses de fontes comerciais de silício na indução de resistência a *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* em mudas de tomateiro

A severidade da murcha-de-*Fusarium* apresentou diferença significativa, no teste de F, para as doses de escória e termofosfato utilizadas. Observou-se decréscimo linear de 33,3% e 16%, na dose de 4g.kg^{-1} de SiO_2 , quando aplicado escória e termofosfato como fonte de silício ao solo, respectivamente (Figuras 8 e 9). Na maior dose de SiO_2 (4g por kg de solo), ocorreu a menor severidade da murcha-de-*Fusarium* para ambas as fontes de silício.

Lima (1998) observou redução de até 90% nas lesões das plantas de soja infectadas pelo fungo *Diaporthe phaseolorum* f. sp. *meridionalis*, agente etiológico do cancro da haste. A redução da lesão foi linear até a adição de 40mg.kg^{-1} de Si ao meio nutritivo.

Moraes (2004), trabalhando com doses de silicato de cálcio (0, 1, 2 e 3g.kg^{-1} de solo) no patossistema *Colletotrichum lindemuthianum* – feijoeiro, observou que quanto maior a dose de silicato de cálcio menor a área abaixo da curva de progresso da incidência (AACPI).

Santos (2002), trabalhando com duas fontes de silício – silicato de cálcio e de sódio nas doses 0; 0,315; 0,63 e 1,26g de SiO_2 por quilo de solo em cafeeiro, não encontrou diferenças significativas para a área abaixo da curva de progresso de número de lesões por folha e para área abaixo da curva de progresso de severidade da cercosporiose, nos tratamentos utilizados.

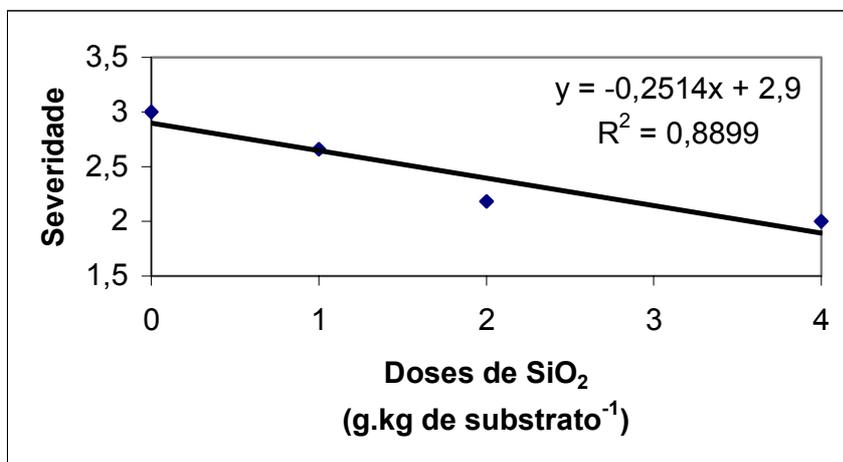


FIGURA 8 Severidade da murcha-de-*Fusarium* em tomateiro em diferentes doses de escória.

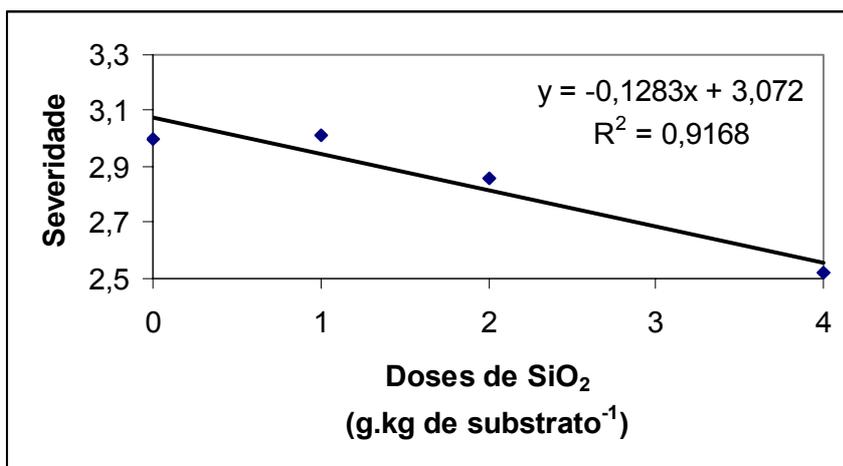


FIGURA 9 Severidade da murcha-de-*Fusarium* em diferentes doses de termofosfato.

Apenas o tratamento sem adição de escória e inoculado apresentou diferença significativa pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$) dos outros tratamentos, na massa, seca e úmida, de parte aérea (Tabela 14).

TABELA 14 Efeito das doses dos produtos comerciais na massa, seca e úmida, de parte aérea e altura de plantas, inoculadas ou não, com *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici*.

Dose (g de SiO ₂ .kg ⁻¹ de solo)	Escória				Termofosfato			
	Inoculado		Não Inoculado		Inoculado		Não Inoculado	
Massa úmida de parte aérea (g)								
0	106,98	b ¹	121,29	a	102,79	a	122,59	a
1	123,72	a	115,60	a	99,17	a	114,11	a
2	126,90	a	128,46	a	108,32	a	108,95	a
4	118,01	a	124,14	a	110,58	a	113,39	a
CV (%)	----- 11,42 -----							
Massa seca de parte aérea (g)								
0	21,66	b	30,20	a	25,66	a	30,20	a
1	23,80	a	26,00	a	22,13	a	24,26	a
2	29,66	a	33,66	a	23,93	a	24,60	a
4	26,06	a	28,06	a	24,06	a	26,53	a
CV (%)	----- 20,18 -----							
Altura de plantas (cm)								
0	205,53	a	216,93	a	205,53	a	216,93	a
1	196,47	a	197,00	a	186,20	a	210,47	a
2	212,20	a	216,00	a	183,20	a	214,47	a
4	191,00	a	213,67	a	191,33	a	229,93	a
CV (%)	----- 14,01 -----							

¹ Médias seguidas da mesma letra nas colunas, dentro de cada parâmetro de análise não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$).

Esta resposta pode ser explicada pelo fato do tomateiro ser uma planta não acumuladora de Si e assim, o aumento das doses de Si no solo não é absorvido pela planta, ficando armazenado na raiz. Lana et al. (2003) avaliaram o efeito de silicato de cálcio na produtividade e absorção de Si e acumulação em folhas de tomateiro (cv. Débora-Plus), utilizando as doses de 0, 500, 1000, 3000

e 4000 kg.ha⁻¹, não tendo encontrado diferença significativa na produtividade da cultura e absorção de Si nas diferentes doses testadas. Já Singh et al. (2005), trabalhando com arroz, uma planta acumuladora de Si, observaram que a produção de matéria seca aumentou significativa e progressivamente com o aumento das doses de Si até 150kg.ha⁻¹.

4.4 Avaliação do potencial de lignificação de plantas de tomateiro em solo tratado com fontes de silício.

4.4.1 Determinação de lignina

A deposição de lignina ácido-solúvel em hastes de tomateiros plantados em solo contendo ácido silícico ou escória, nas doses de 2g de SiO₂ por quilo de solo e testemunha sem adição de silício, inoculados ou não, foi determinada 45 dias após o transplante (Figura 10). Basicamente, as tendências acumulativas seguiram um padrão similar para os tratamentos onde as plantas foram inoculadas, que não diferiram significativamente, pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$) e apresentaram uma quantidade de lignina maior que os tratamentos, os quais as plantas foram inoculadas com o fungo. Dessa forma, parece que o silício não favorece o acúmulo de lignina em tomateiro. O tratamento baseado em escória sem inoculação apresentou o menor acúmulo de lignina diferindo significativamente dos outros tratamentos não inoculados.

A lignina pode ser definida como um material polifenólico, amorfo, originário da polimerização enzimática de monômeros dos álcoois coniferil, sinapil e ρ -cumaril (Dence & Lin, 1992).

O fato de não ter ocorrido diferença entre os tratamentos com adição de silício e testemunha, inoculados, para o acúmulo de lignina, provavelmente, ocorreu porque o silício pode atuar fortificando estruturas e, muitas vezes, se

complexando com compostos fenólicos em substituição aos processos de lignificação (Taiz & Zeiger, 1998; Ma et al., 2001).

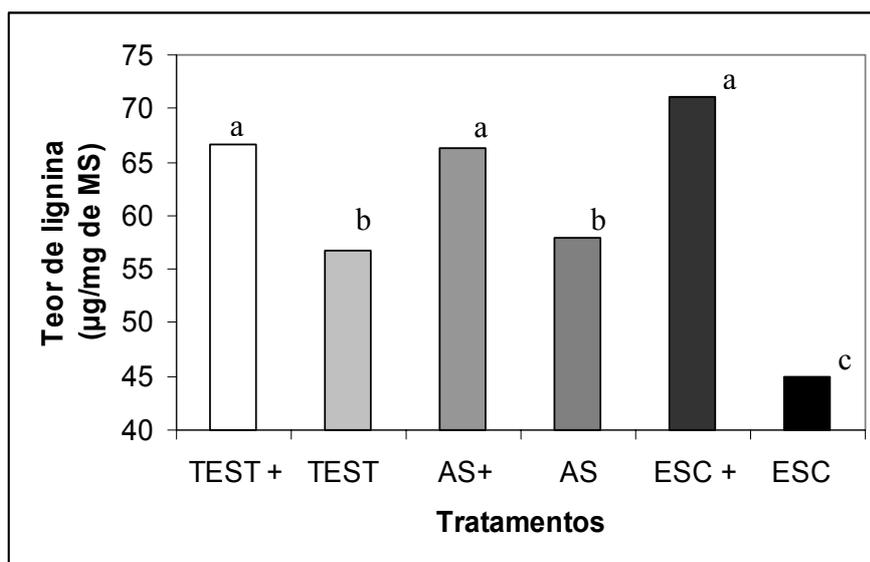


FIGURA 10 Deposição de lignina ácido solúvel (micrograma de lignina por miligrama de matéria seca) em caule de tomateiro cv. Kada aos 45 dias após o transplante em solo tratado com: ESC + (escória inoculado); ESC (escória não inoculado); AS + (ácido silícico inoculado); AS (ácido silícico); TEST + (testemunha inoculada); TEST (testemunha absoluta). Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott (1974).

A lignina geralmente é encontrada nos tecidos vegetais entre a parede celular e as células adjacentes. Desta forma, estruturas lignificadas podem interromper o desenvolvimento fúngico em tecidos vegetais, atuando como barreira, resistindo à penetração ou à colonização (Nicholson & Wood, 2001; Agrios, 1997; Pascholati & Leite, 1995; Misaghi, 1982; Hammerschmidt & Kuc, 1982). O fato da análise de lignina, deste experimento, ter sido feita em um

período muito tardio, após o aparecimento dos sintomas, pode ser, também, uma das explicações para o fato de não ter ocorrido diferença significativa entre os tratamentos, onde as plantas foram inoculadas e tratadas com fontes de silício.

5 CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos, nas condições dos ensaios realizados, pode-se concluir que:

✓ a aplicação de silício no solo, na forma de ácido silícico, apresentou aumento na germinação das sementes de tomateiro para ambas as cultivares testadas, até a dose de $359\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ de SiO_2 aplicadas ao solo;

✓ ocorreu aumento na altura de plantas e germinação de sementes, em solo com doses de escória, até o teor de $34,48\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ e $37,81\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ de Si, disponível no solo, para a cultivar Bônus e $36,48\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ e $41,50\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ de Si, disponível no solo, para a cultivar Ângela, respectivamente;

✓ ácido silícico, escória e silicato de cálcio, nas doses 200, 500 e $1.000\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$, estimularam o índice de crescimento micelial, não interferindo na porcentagem de germinação de esporos de *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici*;

✓ apenas a dose de $4.000\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ de ácido silícico e silicato de cálcio resultou em um diâmetro final de colônia de *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* significativamente menor que o da testemunha;

✓ nenhuma das fontes e doses de silício testadas afetou significativamente a esporulação em placa de *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici*;

✓ o tratamento do solo com escória (2g de $\text{SiO}_2\cdot\text{kg}^{-1}$ de solo) estimulou o crescimento das plantas, influenciou positivamente na massa úmida da parte aérea e diminuiu significativamente a severidade da murcha de *Fusarium* em tomateiro;

✓ a severidade da murcha-de-*Fusarium* foi menor à medida em que elevaram-se as doses de escória e termofosfato;

✓ a aplicação de ácido silícico e escória (2g de $\text{SiO}_2\cdot\text{kg}^{-1}$ de solo) não influenciou na lignificação das plantas de tomate, na época testada.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADATIA, M. H.; BESFORD, R. T. The effects of silicon on cucumber plants grown in recirculating nutrient solution. **Annals of Botany**, London, v. 58, n. 3, p. 343-351, Sept. 1986.

AGRIOS, G. N. **Plant pathology**. 4. ed. San Diego: Academic Press, 1997.

AGROECOLOGIA HOJE. Botucatu, v. 3, n. 16, 2002.

AGRANELLI. **Silicato de cálcio e magnésio (Escória)**. Disponível em: <<http://www.agronelli.com.br/>>. Acesso em: 14 fev. 2006.

ALEXANDER, L. J.; HOOVER, M. M. **Disease resistance in wild species of tomato**. Ohio, 1955. (Agricultural Experimental Station Research Bulletin; 752).

ALEXANDER, L. J.; TUCKER, C. M. Physiological specialization en the tomato wilt fungus *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. **Journal of Agricultural Research**, Cambridge, v. 70, n. 10, p. 303-313, 1945.

ANDERSON, D. L. Soil and leaf nutrient interaction following application of calcium silicate slag to sugarcane. **Fertilizer Research**, Amsterdam, v. 30, n. 1, p. 9-18, Oct. 1991.

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

ARRUDA, S. C. Murcha de Fusarium do tomateiro. **Biológico**, São Paulo, v. 7, p. 199-200, 1941.

BARBOSA FILHO, M. P.; SNYDER, G. H.; PRABHU, A. S. DATNOFF, L. E.; KORNDORFER, G. H. Importância do silício para a cultura do arroz: uma revisão de literatura. **Informações Agronômicas 89**. Piracicaba, 2000. 11 p. (Encarte Técnico).

BÉLANGER, R. R.; BOWEN, P. A.; EHRET, D. L.; MENZIES, J. G. Soluble silicon – its role in crop and disease management of greenhouse crops. **Plant Disease**, St. Paul, v. 79, n. 4, Apr. 1995.

BIRCHALL, J. D. The essentiality of silicon in biology. **Chemical Society Reviews**, Cambridge, v. 24, n. 5, p. 351-357, Oct. 1995.

BIRCHALL, J. D.; BELLIA, J. P.; ROBERTS, N. B. On the mechanisms underlying the essentiality of silicon – interactions with aluminium and copper. **Coordination Chemistry Reviews**, Lausanne, v. 149, p. 231-240, Mar. 1996.

BIRCHALL, J. D.; EXLEY, C.; CHAPPEL, J. S.; PHILLIPS, M. J. Acute toxicity to fish eliminated in silicon-rich acid waters. **Nature**, London, v. 338, n. 6211, p. 146-148, Mar. 1989.

BOHN, G. W.; TUCKER C. M. Studies on Fusarium wilt of the tomato. I. Immunity in *Lycopersicon pimpinellifolium* Mill. and its inheritance in hybrids. **Missouri Agricultural Experimental Station Research Bulletin**, Missouri, n. 311, 1940.

CARLISLE, E. M. Silicon as an essential element for the chick. **Science**, Washington, v. 178, n. 4061, p. 619-621, 1972.

CARVER, T. L. W.; ZEYEN, R. J.; AHLSTRAND, G. G. The relationship between insoluble silicon and success or failure of attempted primary penetration by powdery mildew (*Erysiphe graminis*) germinating on barley. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, London, v. 31, n. 1, p. 133-148, July 1987.

CHEN, C. H.; LEWIN, J. Silicon as a nutrient element for *Equisetum arvense*. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v. 47, n. 1, p. 125-131, Jan. 1969.

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

CHÉRIF, M., BENHAMOU, N., MENZIES, J. G., AND BÉLANGER, R. R. Silicon induced resistance in cucumber plants against *Pythium ultimum*. **Physiological and Molecular Plant Pathology** v. 41 p.411-425, 1992a.

CHÉRIF, M., MENZIES, J. G., BENHAMOU, N., AND BÉLANGER, R. R. Studies of silicon distribution in wounded and *Pythium ultimum* infected cucumber plants. **Physiological and Molecular Plant Pathology** v. 41, p.371-385, 1992b.

CORRALES, I.; POSCHENRIEDER, C.; BARCELÓ, J. Influence of silicon pretreatment on aluminium toxicity in maize roots. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 190, n. 2, p. 203-209, Mar. 1997.

COTXARRERA, L.; TRILLAS-GAY, M. I.; STEINBERG, C.; ALABOUVETTE, C. Use of sewage sludge compost and *Trichoderma asperellum* isolates to suppress *Fusarium* wilt of tomato. **Soil biology & Biochemistry**, Oxford, v. 34, n. 4, p. 467-476, Apr. 2002.

DE DATTA, S. K. **Principles and practices of rice production**. New York: John Willey, 1981. 618 p.

DENCE, C. W.; LIN, S. Y. Introduction. In: LIN, S. Y.; DENCE, C. W. (Ed.). **Methods in lignin chemistry**. Berlin: Springer-Verlag, 1992. p. 1-19.

DEREN, L. W.; DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H. Variable silicon content of rice cultivars grown on Everglades Histosols. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 15, n. 11, p. 2363-2368, 1992.

EL-SAMMAN, M. G. The role of soluble silicon in controlling some root rot disease of cucumber and tomato. **Annals of Agricultural Science**, Cairo, v. 4 p. 1411-1419, 2000.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro de Pesquisa de Hortaliças. **A cultura do tomateiro** (para mesa). Brasília: EMBRAPA-SPI, 1993. 92 p. (EMBRAPA-CNPQ. Coleção Plantar, 5).

EPSTEIN, E. The anomaly of silicon in plant biology. **Proceedings of National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 91, n. 1, p. 11-17, Jan. 1994.

EPSTEIN, E. Photosynthesis, inorganic plant nutrition, solutions, and problems. **Photosynthesis Research**, Dordrecht, v. 46, n. 1/2, p. 37-39, Nov. 1995.

EXLEY, C.; CHAPPELL, J. S.; BIRCHALL, J. D. A. A mechanism for acute aluminium toxicity in fish. **Journal of Theoretical Biology**, London, v. 151, n. 3, p. 417-428, Aug. 1991.

FAO-FAOSTAT. **Database Results**. Disponível em: <<http://www.apps.fao.org>>. Acesso em: 12 dez. 2005.

FAWE, A.; MENZIES, J. G.; CHERIF, M.; BÉLANGER, R. R. Silicon and disease resistance in dicotyledons. In: DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDORFER, G. H. (Ed.). **Silicon in Agriculture**. Elsevier Science, 2001. p. 159-169.

FERTIMITSUI. **Termofosfato Yoorin** Disponível em: <<http://www.fertimitsui.com.br/verde/index.htm>>. Acesso em: 14 fev. 2006.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de Olericultura: Agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. Viçosa: UFV, 2000. p. 189-234.

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

FOSTER, R. E.; WALKER, J. C. Predisposition of tomato to *Fusarium* Wilt. **Journal of Agricultural Research**, Cambridge, v. 74, n. 3, p. 165-185, 1943.

FRIESEN, D. K.; SANZ, J. I.; CORREA, F. J.; WINSLOW, M. D.; OKADA, K.; DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H. Silicon deficiency of upland rice on highly weathered savanna soils in Colombia. I. Evidence of a major yield constraint. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL DE ARROZ PARA A AMÉRICA LATINA E PARA O CARIBE, 9., 1994, Goiânia.

GRATTIDGE, R.; O'BRIEN, R. G. Occurrence of a third race of *Fusarium* wilt of tomatoes in Queensland. **Plant Disease**, St. Paul, v. 66, n. 2, p. 165-166, 1982.

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

HAMMERSCHMIDT, R.; KUC, J. Lignification as a mechanism for induced systemic resistance in cucumber. **Physiological Plant Pathology**, London, v. 20, n. 1, p. 61-71, 1982.

HEATH, M. C., AND STUMPF, M. A. Ultrastructural observations of penetration sites of the cowpea rust fungus in untreated and silicon-depleted French bean cells. **Physiol. Mol. Plant Pathol.** V. 29, p.27-39, 1986.

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

JONES, J. P.; ENGELHARD, A. W.; WOLTZ, S. S. Management of Fusarium wilt of vegetables and ornamentals by macro- and microelement nutrition. In: ENGELHARD, A. W. (Ed.). **Soilborne plant pathogens: management of diseases with macro- and microelements**. American Phytopathological Society. 217, 1989. p. 18-32.

JULIATTI, F. C.; PEDROSA, M. G.; LANNA, R. M. Q.; BRITO, S. H. de; MELO, B. Influência do silício na redução de podridão de sementes por *Fusarium semitectum* na cultura da soja. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 20, n. 2, p. 57-63, May/Aug. 2004.

JULIATTI, F.C., RODRIGUES, F.A., KORNDÖRFER, G.H., SILVA, O.A., CORREA, G.F. & PEIXOTO, J.R. Efeito da aplicação de silício na indução de resistência a *Diaporthe phaseolorum* f. sp. *meridionalis* em cultivares de soja com diferentes níveis de resistência. *Fitopatologia Brasileira*. v. 21 p.551. 1996. (Suplemento)

KOGA, J., YAMAUCHI, T., SHIMURA, M., OGAWA, N., OSHIMA, K., UMEMURA, K., *ET AL.* Cerebrosides A and C, sphingolipid elicitors of hypersensitive cell death and phytoalexin accumulation in rice plants. **J Biol Chem** v. 273, p. 31985–31991, 1998.

KORNDÖRFER, G. H.; COELHO, N. M.; SNYDER, G. H.; MIZUTANI, C. T. Avaliação de métodos de extração de silício para solos cultivados com arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 1, p. 101-106, jan./mar. 1999.

KUC J. Concepts and direction of induced systemic resistance in plants and its application. **Eur J Plant Pathol**. v. 107, p. 7-12, 2001.

LANA, R. M. Q.; KORNDORFER, G. H.; ZANARO JUNIOR, L. A.; SILVA A. F. da; LANA, A. M. Q. Efeito do silicato de cálcio sobre a produtividade e acumulação de silício no tomateiro. **Bioscience Journal**, Uberlândia. v. 19, n. 2, p. 15-20, May/Aug. 2003.

LANNING, F. C. Nature and distribution of silica in strawberry plants. **Journal of American Society for Horticultural Science**, Maryland, v. 76, p. 349-358, Dec. 1960.

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

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

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]. (Tese de Doutorado). Piracicaba. Centro de Energia Nuclear na Agricultura, ESALQ/USP. 1998.

MA, J. F.; MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Silicon as a beneficial element for crop plants. In: DATNOFF, L. E. , SNYDER, G. H.; KORNDORFER, G. H. (Ed.) **Silicon in agriculture**. Elsevier Science, 2001. p. 17-39.

MAJUNDER, N. D.; RAKSHIT, S. C.; BORTHAKUR, D. N. Genetics of silica uptake in selected genotypes of rice (*O. sativa* L.). **Plant Soil**, Dodrecht, v. 88, n. 3, p. 449-453, 1985.

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

MATYCHENKOV, V. V.; PINSKLY, D. L.; BOCHARNIKOVA, Y. A. Influence of mechanical compaction of soils on the state and form of available silicon. **Eurasian Soil Science**, Silver Spring, v. 27, n. 12, p. 58-67, Dec. 1995.

MENZIES, J. G.; EHRET, D. L.; GLASS, A. D. M.; HELMER, T.; KOCH, C.; SEYWARD, F. Effects of soluble silicon on the parasitic fitness of *Sphaerotheca fuliginea* on *Cucumis sativus*. **Phytopathology**, St. Paul, v. 81, n. 2, p. 84-99, Feb. 1991.

MINAMI, K.; HAAG, H. P. **O Tomateiro**. 2. ed. Campinas, SP, Fundação Cargill, 1989. 397 p.

MISAGHI, I. J. **Physiology and biochemistry of plant-pathogen interactions**. Tucson: University of Arizon, 1982.

MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Effect of silicon on the growth of soybean plants in a solution culture. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 31, n. 4, p. 625-636, Dec. 1985.

MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Silicon deficiency of tomato plant. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 24, n. 2, p. 175-189, June 1978.

MONTIES, B. Lignins. In: DEY, P. M.; HARBORNE, J. B. (Ed.). **Methods in plant biochemistry**. New York: Academic Press, 1989. p. 113-158.

MORAES, S. R. G. **Fontes e doses de silício na intensidade da antracnose do feijoeiro**. 2004. 100 p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

NABLE, R. O.; LANCE, R. C. M.; CARTWRIGHT, B. Uptake of boron and silicon by barley genotypes with differing susceptibilities to boron toxicity. **Annals of Botany**, London, v. 66, n. 1, p. 83-90, July 1990.

NAGAI, H. O caráter “fushi-nari” em tomateiro (*Lycopersicon esculentum* Mill). In: CONGRESSO DA SOCIEDADE DE OLERICULTURA DO BRASIL, 16., 1976, Lavras. **Resumos**. Lavras: ESAL, 1976.

NICHOLSON, R. L.; WOOD, K. V. Phytoalexins and secondary products, where are they and how can we measure them? **Physiological and Molecular Plant Pathology**, London, v. 59, n. 2, p. 63-69, Aug. 2001.

NOJOSA, G. B. A. **Efeito de indutores de resistência de *Coffea arabica* L. à *Hemileia vastatrix* BERK & BR. e *Phoma costarricensis* ECHANDI**. 2003. 102 p. Tese (Doutorado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

OLIVEIRA, J. A. **Efeito do tratamento fungicida em sementes e no controle de tombamento de plântula de pepino (*Cucumis sativus* L.) e pimentão (*Capsicum annuum* L.)**. 1991. 111 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

PASCHOLATI, S. F.; LEITE, B. Hospedeiro: mecanismos de resistencia. In: BERGAMIN FILHO, A.; KIMATI, H.; AMORIM, L. (Ed.) **Manual de fitopatologia: princípios e conceitos**. São Paulo: Agronomica Ceres, 1995. v. 1, p. 417-453.

PEREIRA, H. S.; VITTI, G. C.; KORNDORFER, G. H. Comportamento de diferentes fontes de silício no solo e na cultura do tomateiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 1, p. 101-108, jan./fev. 2003.

PERSHIN, B. M.; PERSHINA, A. N.; EGORINA, L. M. Silicon and rice production in the Primorskii region. **Agrokhimiya**, Lebedeva, v. 10, n. 1, p. 68-74, 1995.

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 de cercosporiose em três variedades de cafeeiro. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 2, p. 185-188, mar./abr. 2004.

RAFI, M. M.; EPSTEIN, E.; FALK, R. H. Silicon deprivation causes physical abnormalities in wheat (*Triticum aestivum* L.). **Journal of Plant Physiology**, Jena, v. 151, n. 4, p. 497-501, Oct. 1997.

RAVEN, J. A. The transport and function of silicon in plants. **Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society**, v. 58, p. 179-207, 1983.

REIS, A.; COSTA, H.; BOITEUX, L. S.; LOPES, C. A. First report of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* race 3 on tomato in Brazil. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 3, p. 426-428, 2005.

RESENDE, M. L. V.; FLOOD, J.; COOPER, R. M. Effect of method of inoculation, inoculum density and seedling age at inoculation on the expression of resistance of cocoa (*Theobroma cacao* L.) to *Verticillium dahliae* Kleb. **Plant Pathology**, Oxford, v. 44, n. 2, p. 374-383, Apr. 1995.

RIBEIRO JÚNIOR, P. M. **Efeito do silicato e fosfito de potássio na indução de resistência em mudas de cacaueteiro a *Verticillium dahliae* Kleb.** 2005. 75p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

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**, St. Paul, v. 85, n. 8, p. 827-832, Aug. 2001.

RODRIGUEZ, R. R.; RODRIGUEZ, J. M. T.; SAN JUAN, J. A. M. **Cultivo moderno del tomate.** Madrid: Ediciones Mundi Prensa, 1984. 206 p.

SAMUELS, A. L., GLASS, A. D. M., EHRET, D. L., AND MENZIES, J. G. Distribution of silicon in cucumber 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 café (Coffea arabica L.)** 2002. 43 p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

SAVANT, N. K.; DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H. Depletion of plantavailable silicon in soils: a possible cause of declining rice yields. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 28, n. 13/14, p. 1245-1252, 1997a.

SAVANT, N. K.; SNYDER, G. H.; DATNOFF, L. E. Silicon management and sustainable rice production. **Advances in Agronomy**, New York, v. 58, p. 151-199, 1997b.

SIDHU, G. S.; WEBSTER, J. M. The use of aminoacid fungal auxotrophs to study the predisposition phenomena in the root-knot: wilt fungus disease complex. **Physiological Plant Pathology**, London, v. 11, n. 2, p. 117-127, 1977.

SILVA, J. B. C.; GIORDANO, L. B. **Tomate para processamento industrial**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2000.

SINGH, K. K.; SINGH, K.; SINGH, R. Effect of nitrogen and silicon levels on growth, yield attributer, and yield of rice in alfisols. **International Rice Research Notes**, Manila, v. 30, n. 1, p. 40-41, 2005.

STUMPF, M. A.; HEATH, M. C. Cytological studies of the interactions between the cowpea rust fungus and silicon-depleted French bean plants. **Physiological Plant Pathology**, London, v. 27, p. 369-385, 1985.

TAIZ, L. ; ZEIGER, E. **Plant physiology**. Sunderland, Massachusetts: Sinauer Associates 1998.

TAKAHASHI, E. Uptake mode and physiological functions of silica. In: MATSUO, T.; KUMAZAWA, K.; ISHII, R.; ISHIHARA, K.; HIRATA, H. , (Ed.). **Science of the rice plant: physiology**. Tokyo: Food and Agriculture Policy Research Center, 1995. cap. 5, p. 420-433.

TOKESHI, H.; CARVALHO, P. C. T. Doenças do tomateiro *Lycopersicon esculentum* Mill. In: **Manual de fitopatologia**. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 1980.

TOOPSEED. **Sementes de solanáceas.**

Disponível em: <<http://www.agristar.com.br>>. Acesso em: 20 fev. 2006.

WAGNER, H. K. Die Bedeutung der Kieselsäure für das Wachstum einiger Kulturpflanzen, ihren Nährstoffhaushalt und ihre Anfälligkeit gegen echte Mehltaupilze. **Phytopathology** v. 12, p.427-479, 1940.

WERNER, D.; ROTH, R. Silica metabolism. In: LÄUCHLI, A.; BIELESKI, R. L. (Ed.). **Encyclopedia of plant physiology**. Berlin: Springer-Verlag, 1983. v. 15B, p. 682-694. (New Series).

WILD, A. **Russel's soil conditions and plant growth**. 11. ed. London: Longman, 1988. 991 p.

WINSLOW, M. D. Silicon, disease resistance and yield of rice genotypes under upland cultural conditions. **Crop Science**, Madison, v. 32, n. 5, p. 1208-1213, Sept./Oct. 1992.

WOLTZ, S. S.; EBGELHARD, A. W. Fusarium wilt of chrysanthemum: effect of nitrogen source and lime on disease development. **Phytopathology**, St. Paul, v. 63, n. 1, p. 155-157, Jan. 1973.

WOLTZ, S. S.; JONES, J. P. Tomato *Fusarium* wilt control by adjustments in soil fertility. **Proceedings of the Florida State Horticulture Society**, Orlando, v. 86, p. 157-159, 1973.

YEO, A. R., FLOWERS, S. A., RAO, G., WELFARE, K., SENANAYAKE, N. & FLOWERS, T. J. Silicon reduces sodium uptake in rice (*Oryza sativa* L.) in saline conditions and this is accounted for by a reduction in the transpirational bypass flow. **Plant, Cell & Environment** , v. 22 (5), p. 559-565, 1999