

# Alterações fisiológicas após aplicação de silício em cacau e sua influência na preferência por pulgões<sup>1</sup>

Diego Guimarães Pinto<sup>2</sup>, Marco Antonio Galeas Aguilar<sup>3</sup>, Carlos Alberto Spaggiari Souza<sup>3</sup>, Diolina Moura Silva<sup>4</sup>, Paulo Roberto Siqueira<sup>5</sup>, Jelber Rigato Cao<sup>6</sup>, Leonardo Valandro Zanetti<sup>7</sup>

## RESUMO

Os aspectos fisiológicos e bioquímicos influenciados pelo silício e que condicionam reações de resistência a pragas no cacau ainda são pouco conhecidos. O objetivo deste experimento foi avaliar os efeitos da aplicação de silício sobre a fotossíntese, sobre o teor foliar de fenóis solúveis totais e a sua influência na preferência de *Toxoptera aurantii* em genótipos de cacau. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, no delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições, em arranjo fatorial 3 x 3, constituído por três genótipos (TSH 1188, CCN 51 e Catongo), duas doses de silicato de potássio (3 e 6 mL L<sup>-1</sup>), aplicadas por via foliar e um controle pulverizado somente com água. Foram realizadas avaliações das trocas gasosas, da fluorescência da clorofila *a* e do teor de compostos fenólicos foliar, além de um teste de preferência com chance de livre escolha com *T. aurantii*. Os genótipos TSH 1188 e CCN 51 apresentam maior eficiência fotoquímica e fotossintética, comparados com o Catongo. Independentemente do genótipo, a aplicação de silicato de potássio não alterou o índice de desempenho das plantas (PI<sub>ABS</sub> e PI<sub>TOTAL</sub>); no entanto, a dose 3 mL L<sup>-1</sup> aumentou a fotossíntese líquida e o teor de fenóis solúveis totais. A dose 6 mL L<sup>-1</sup> reduziu a preferência de *T. aurantii* pelas folhas do genótipo TSH 1188. A aplicação de silicato de potássio é promissora no aumento da resistência do cacau a *T. aurantii*.

**Palavras-chave:** *Theobroma cacao* L., *Toxoptera aurantii* (Boy.) Homoptera:Aphididae, indução de resistência, trocas gasosas, compostos fenólicos, fluorescência da clorofila *a*.

## ABSTRACT

### Physiological changes after application of silicon on cocoa and its influence on aphid preference

The physiological and biochemical aspects influenced by silicon and that influence reactions of resistance to pests in cocoa are still poorly understood. The aim of this research was to evaluate the effects of silicon application on photosynthesis, the leaf content of total soluble phenols and preference of *Toxoptera aurantii* in cocoa genotypes. The experiment was conducted in a greenhouse in a randomized block design with four replications in a factorial 3 x 3, consisting of three genotypes (TSH 1188, CCN 51 and Catongo), two doses of potassium silicate (3 and 6 mL L<sup>-1</sup>)

Recebido para publicação em 24/06/2011 e aprovado em 11/06/2012

<sup>1</sup> Parte da dissertação de Mestrado apresentada pelo primeiro autor à Universidade Federal do Espírito Santo (UFES).

<sup>2</sup> Biólogo, Mestre. Departamento de Biologia Vegetal, Universidade Federal do Espírito Santo, Avenida Fernando Ferrari, 514, 29075-910, Goiabeiras, Vitória, Espírito Santo, Brasil. diegog.pinto@gmail.com

<sup>3</sup> Engenheiro-Agrônomo, Doutor. Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira (CEPLAC/ESFIP), Rua Augusto Pestana, 1122, 29900-192, Linhares, Espírito Santo, Brasil. magaguilar@uol.com.br, ceplacesfip@gmail.com (\*Autor para correspondência).

<sup>4</sup> Bióloga, Doutora. Departamento de Biologia Vegetal, Universidade Federal do Espírito Santo, Avenida Fernando Ferrari, 514, 29075-910, Goiabeiras, Vitória, Espírito Santo, Brasil. biovegetal@terra.com.br

<sup>5</sup> Engenheiro-Agrônomo, Mestre. Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira (CEPLAC/ESFIP), Rua Augusto Pestana, 1122, 29900-192, Linhares, Espírito Santo, Brasil. siqueira@ceplac.gov.br

<sup>6</sup> Biólogo. Faculdade de Ciências Aplicadas "Sagrado Coração" (UNILINHARES), Avenida São Mateus, 1458, 29901-396, Linhares, Espírito Santo, Brasil. jellberrigato@bol.com.br

<sup>7</sup> Biólogo. Departamento de Biologia Vegetal, Universidade Federal do Espírito Santo, Avenida Fernando Ferrari, 514, 29075-910, Goiabeiras, Vitória, Espírito Santo, Brasil. leovalandro@hotmail.com

applied to the leaves and a control sprayed with water. Evaluations were conducted for gas exchange, chlorophyll *a* fluorescence and phenolic content in leaf level, besides a preference test with a chance of free choice with *T. aurantii*. The genotypes TSH 1188 and CCN 51 had higher photochemical efficiency and photosynthesis compared with Catongo. Regardless of genotype, the application of potassium silicate did not affect the performance index of the plants (and  $PI_{ABS} - PI_{TOTAL}$ ), however, the dose 3 mL L<sup>-1</sup> increased net photosynthesis and total soluble phenol content. The dose 6 mL L<sup>-1</sup> reduced the preference of *T. aurantii* to the leaves of genotype TSH 1188. The application of potassium silicate is promising to increase the resistance of cacao to *T. aurantii*.

**Key words:** *Theobroma cacao* L., *Toxoptera aurantii* (Boy.) Homoptera:Aphididae, induced resistance, gas exchange, phenolic compounds, chlorophyll *a* fluorescence.

## INTRODUÇÃO

O ataque de insetos-praga na cultura do cacau (*Theobroma cacao* L.) pode ser limitante para a produção, pois eles são responsáveis por causarem destruição de todas as partes da planta, principalmente das folhas, e, alguns deles, como, por exemplo, os pulgões (*Toxoptera aurantii* B.), agem por sucção de seiva e injeção de toxinas, provocando clorose e necrose das folhas e caules (Gramacho *et al.*, 1992; Souza & Dias, 2001). Além disso, em alguns casos são vetores de doenças, principalmente as causadas por vírus (Lawrence *et al.*, 1991).

O controle desses insetos restringe-se, basicamente, à utilização de produtos químicos; no entanto, em virtude das limitações existentes ao uso de defensivos, resultados de pesquisas relacionadas com a resistência de plantas têm sido difundidos como importante alternativa ao uso de agroquímicos, dentro do manejo integrado de pragas (Goussain *et al.*, 2002). A resistência induzida envolve a ativação do sistema de autodefesa da planta, que pode ser obtida pela aplicação de agentes bióticos, como micro-organismos viáveis ou inativados, ou de agentes abióticos (Stadnik, 2000).

O silício (Si) tem sido citado como um exemplo de indutor de resistência (Fawe *et al.*, 2001), pois, além dos efeitos benéficos relatados em culturas adubadas com Si, este elemento também está envolvido no aumento da resistência ao ataque de insetos e doenças, principalmente em função da formação de uma barreira estrutural, proporcionada pela deposição de sílica na parede celular (Goussain *et al.*, 2002). No entanto, a barreira mecânica proporcionada pelo Si nas células, não constitui o único mecanismo de defesa contra a penetração de fungos e o ataque de insetos. Fawe *et al.* (1998) identificaram uma proteção induzida por este elemento dentro das células vegetais, demonstrando que o Si desencadeia uma série de eventos que se traduzem em mecanismos bioquímicos de defesa na planta atacada. Sendo assim, plantas trata-

das com Si, provavelmente, iniciam os mecanismos naturais de defesa como, por exemplo, produção de compostos fenólicos que podem interferir no crescimento e desenvolvimento de insetos-praga (Chérif *et al.*, 1994).

Além dos mecanismos bioquímicos envolvidos na resistência das plantas a estresses, o efeito das alterações ambientais no metabolismo fotossintético também pode ser verificado por meio de medições da atividade fotossintética, ou por meio da análise da cinética de emissão de fluorescência da clorofila *a*, que podem fornecer informações importantes sobre o estado fisiológico das plantas (Lambers *et al.*, 1997). Recentemente, os estudos da emissão da fluorescência da clorofila *a* têm sido difundidos, por ser uma ferramenta rápida, fácil e não destrutiva para avaliar o desempenho fotossintético da planta, sob diversas condições de estresse, além de fornecer informações detalhadas sobre a estrutura e função do aparato fotossintético, especialmente do fotossistema II (Lazár, 2006).

Poucas são as pesquisas envolvendo os efeitos do Si sobre os aspectos fisiológicos relacionados com a resistência do cacauero a insetos-praga. O objetivo deste experimento foi avaliar os efeitos da aplicação de silício sobre as trocas gasosas, a fluorescência da clorofila *a*, o teor foliar de fenóis solúveis totais e a preferência de *T. aurantii*, em três genótipos de cacau.

## MATERIAL E MÉTODOS

### *Material vegetal e condições de cultivo*

O experimento foi instalado em casa de vegetação, na Estação Experimental Filogônio Peixoto (ESFIP), pertencente ao Centro de Pesquisas do Cacau (CEPEC), órgão de pesquisa da Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira (CEPLAC), localizada no município de Linhares, ES.

As sementes de cacau dos genótipos TSH 1188, CCN 51 e Catongo, obtidas por polinização aberta, foram coletadas na própria estação, pré-germinadas em água

corrente e, após três dias, quando apresentavam prostrusão da raiz primária, semeadas em sacolas de polietileno de 28 x 15 cm com substrato composto por terra, areia e esterco bovino, na proporção 3:1:1, além de 700 g/m<sup>3</sup> de superfosfato simples. As mudas receberam irrigação diária e tratamentos culturais realizados conforme sugerido por Marques *et al.* (2006). Aos 45 dias após a semeadura, iniciou-se a aplicação dos tratamentos, constituídos de três doses de silicato de potássio 10%: 0, 3 e 6 mL L<sup>-1</sup>. Os tratamentos foram aplicados por via foliar, com borrifador manual, até o ponto de escorrimento (11 mL da solução por planta), em intervalos de 15 dias, perfazendo um total de quatro aplicações.

O experimento foi conduzido em delineamento experimental de blocos casualizados, com quatro repetições, no arranjo fatorial 3 x 3, sendo três genótipos de cacau, duas doses de silicato de potássio e um controle pulverizado com água, totalizando 36 parcelas com dez plantas cada.

### **Características fotossintéticas**

As medições de trocas gasosas foliares foram realizadas após a última aplicação dos tratamentos, com um medidor portátil de fotossíntese (LCpro, ADC Bioscientific LTD. UK), e efetuadas na primeira folha madura, a partir do ápice do eixo ortotrópico, em irradiância saturante de 800 μmol de fótons m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>. Foram avaliadas a taxa fotossintética líquida (A) (μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), a transpiração (E) (mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), a condutância estomática (gs) (mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) e a concentração interna de CO<sub>2</sub> (Ci) (mol mol<sup>-1</sup>). A partir desses dados foram calculadas as razões: E/A, que corresponde à eficiência instantânea do uso de água, e E/A/gs, que corresponde à eficiência intrínseca do uso de água (Zhang *et al.*, 2001).

As medições dos parâmetros relacionados com a emissão de fluorescência da clorofila *a* foram efetuadas nas mesmas folhas e no mesmo período em que foram avaliadas as trocas gasosas, utilizando-se um fluorômetro portátil (Handy PEA, Hansatech Instruments, UK). As folhas selecionadas foram adaptadas ao escuro durante 30 minutos, utilizando-se cliques foliares apropriados. Após a adaptação, as folhas foram expostas a cinco segundos de um pulso de luz saturante, de aproximadamente 3000 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> (pico de 650 nm). Os resultados da cinética da fluorescência transiente foram tabulados com o programa PEA Plus para uma planilha eletrônica. A partir do teste JIP (Strasser & Strasser, 1995), foram determinados a densidade de centros de reação ativos do FSII (RC/ABS), o rendimento quântico máximo efetivo do FSII, φP<sub>0</sub>/(1-φP<sub>0</sub>), a eficiência de transporte de elétrons do FSII, Ψ<sub>0</sub>/(1-Ψ<sub>0</sub>), o desempenho das reações de oxi-redução do FSI, δR<sub>0</sub>/(1-δR<sub>0</sub>), além do índice de desempenho com base na absorção (PI<sub>ABS</sub>) e do índice de

desempenho total (PI<sub>TOTAL</sub>), em que FSII significa fotossistema II, FSI, fotossistema I; RC, centro de reação, ABS, fluxo de absorção de energia; PI<sub>ABS</sub>, o índice de desempenho para a conservação de energia dos fótons absorvidos pelo FSII para a redução dos aceptores de elétrons do intersistema (PI<sub>ABS</sub> = RC/ABS x [φP<sub>0</sub>/(1-φP<sub>0</sub>)] x [Ψ<sub>0</sub>/(1-Ψ<sub>0</sub>)]); PI<sub>TOTAL</sub>, índice de desempenho para a conservação de energia dos fótons absorvidos pelo FSII para a redução dos aceptores finais do FSI (PI<sub>TOTAL</sub> = PI<sub>ABS</sub> x [δR<sub>0</sub>/(1-δR<sub>0</sub>)]); φP<sub>0</sub>, também conhecido como Fv/Fm, representa o rendimento quântico máximo de FSII; Ψ<sub>0</sub>, a eficiência com que os elétrons podem-se mover para a cadeia transportadora de elétrons, e δR<sub>0</sub>, a eficiência com que um elétron pode ser movido dos aceptores de elétrons do intersistema para os aceptores finais de elétrons do FSI (Tsimilli-Michael & Strasser, 2008).

### **Determinação da concentração de fenóis solúveis totais**

Após a última aplicação dos tratamentos, folhas novas atacadas por pulgões foram coletadas das plantas, transportadas em isopor com gelo e armazenadas em freezer a -20°C, até proceder-se à determinação do teor de fenóis solúveis totais, conforme metodologia descrita por Aguilar (1999).

### **Teste de preferência com chance de livre escolha**

Realizou-se o teste de preferência com chance de livre escolha com pulgões (*Toxoptera aurantii* B.), conforme proposto por Costa *et al.* (2007). Após a última aplicação dos tratamentos, folhas jovens, com aproximadamente 4 cm de comprimento, foram retiradas de cada tratamento e colocadas em placas de Petri (14,5 cm) no laboratório, de forma equidistantes e, em seguida, 40 pulgões adultos foram liberados no centro da placa. Após a liberação dos insetos, as placas foram fechadas com filme plástico perfurado com alfinete e mantidas em temperatura ambiente e fotoperíodo de 12h. Posteriormente, contou-se o número de pulgões adultos e ninfas presentes em cada folha, 32 h após a liberação dos afídeos. O teste foi conduzido no delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições, no mesmo arranjo fatorial do experimento, em casa de vegetação, no laboratório da própria estação experimental da CEPLAC, em duplicata.

### **Análise estatística**

Os resultados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey, a 5%, e, quando houve efeito significativo da interação genótipo x dose, foi realizado o seu desdobramento. Previamente, os dados do teste de preferência foram normalizados pela transformação  $\sqrt{x}$ .

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Trocas gasosas foliares

Não foi verificada interação entre os genótipos e as doses de silicato de potássio; no entanto, observaram-se diferenças intergenotípicas em relação às trocas gasosas (Tabela 1). As maiores taxas fotossintéticas (A) e condutância estomática (gs) foram encontradas no CCN 51, seguidas das encontradas em TSH 1188, as quais, por sua vez, não diferiram das encontradas em Catongo; já a eficiência do uso da água (EUA), variável que relaciona a taxa de carbono fixada por unidade de água perdida no processo transpiratório, foi maior no genótipo CCN 51, mostrando que houve maior assimilação de carbono por mol de água transpirada neste genótipo.

A abertura estomática está diretamente ligada às taxas fotossintéticas e à transpiração, pois, ao mesmo tempo em que a planta absorve CO<sub>2</sub> para a fotossíntese, ela perde água. Além disso, os maiores valores de A e gs, encontrados no CCN 51 e TSH 1188, possibilitam maior disponibilidade de fotoassimilados para o crescimento e também para as rotas metabólicas de defesa, uma vez que estes genótipos apresentam crescimento mais vigoroso e elevada resistência genética a doenças, quando comparado com o Catongo (Pinto & Pires, 1998; Pires, 2003).

Em relação à aplicação de silicato de potássio (Tabela 2), independentemente do genótipo, a dose 3 mL L<sup>-1</sup> aumentou em 44% a taxa de fotossíntese líquida (A), em relação à do controle, seguida da dose 6 mL L<sup>-1</sup>, com 14%. No entanto, a condutância estomática (gs), a transpiração (E), a concentração de carbono interno no mesofilo foliar

(Ci) e as eficiências do uso da água (EUA e EIUA) não foram influenciadas.

Outros experimentos também têm demonstrado o efeito do silício sobre a fotossíntese, em *Lycopersicon esculentum* (Romero-Aranda *et al.*, 2006), *Sacharum spp.* (Madeiras *et al.*, 2009), *Coffea arabica* (Botelho *et al.*, 2009) e *Glycine max* (Shen *et al.*, 2010). De acordo com Takahashi (1995), a melhor arquitetura foliar proporcionada pelo Si permite maior penetração de luz solar, maior absorção de CO<sub>2</sub> e diminuição da transpiração excessiva, o que provoca o incremento das taxas fotossintéticas. Do mesmo modo, Gong *et al.* (2005) relataram que plantas de *Triticum aestivum*, adubadas com Si, sob condições de seca, apresentaram maior atividade fotossintética, associada ao aumento da atividade da Rubisco e da desidrogenase gliceraldeído-3-fosfato, dependente de NADPH+H<sup>+</sup>, como também dos teores de clorofila.

### Fluorescência da clorofila a

Os genótipos TSH 1188 e CCN 51, quando comparados com o Catongo, apresentaram alta densidade de centros de reação ativos do FSII (RC/ABS), maior rendimento quântico máximo efetivo do FSII [ $\phi P_o/(1-\phi P_o)$ ] e eficiência de transporte de elétrons do FSII [ $\Psi_o/(1-\Psi_o)$ ], o que contribuiu para o aumento do índice de desempenho fotossintético por energia absorvida (PI<sub>ABS</sub>) (Figura 1). Os valores de PI<sub>TOTAL</sub> também foram maiores nestes genótipos, o que sugere que o TSH 1188 e CCN 51 apresentaram uma melhor eficiência do aparato fotossintético, em relação ao Catongo, fato também observado pelos resultados obtidos para A e gs (Tabela 1).

**Tabela 1.** Variáveis de trocas gasosas foliares de três genótipos de *T. cacao*

Genótipos	A	gs	E	Ci	EUA	EIUA
TSH 1188	3,79 ab	34,14 ab	0,62 a	152,25 a	6,18 b	118,34 a
CCN 51	4,61 a	37,03 a	0,66 a	154,92 a	7,05 a	130,68 a
Catongo	3,12 b	26,87 b	0,52 a	170,29 a	5,82 b	115,76 a
C.V. (%)	24,18	27,23	23,72	19,46	12,61	13,84

A, fotossíntese líquida ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ); gs, condutância estomática ( $\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ); E, transpiração ( $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ); Ci, concentração interna de CO<sub>2</sub> no mesofilo foliar ( $\text{mol mol}^{-1}$ ); EUA, eficiência instantânea do uso de água ( $\mu\text{mol CO}_2 / \text{mmol H}_2\text{O}$ ); EIUA, eficiência intrínseca do uso de água ( $\mu\text{mol CO}_2 / \text{mol H}_2\text{O}$ ). Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey (P<0,05), n=12.

**Tabela 2.** Variáveis de trocas gasosas foliares de *T. cacao* em função de três doses de silicato de potássio

Doses de silicato de potássio	A	gs	E	Ci	EUA	EIUA
0 mL L <sup>-1</sup>	3,21 b	28,09 a	0,52 a	151,10 a	6,16 a	119,35 a
3 mL L <sup>-1</sup>	4,62 a	36,46 a	0,67 a	150,44 a	6,50 a	125,58 a
6 mL L <sup>-1</sup>	3,69 ab	33,49 a	0,61 a	175,93 a	6,38 a	119,86 a
C.V. (%)	24,18	27,23	23,72	19,46	12,61	13,84

A, fotossíntese líquida ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ); gs, condutância estomática ( $\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ); E, transpiração ( $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ); Ci, concentração interna de CO<sub>2</sub> no mesofilo foliar ( $\text{mol mol}^{-1}$ ); EUA, eficiência instantânea do uso de água ( $\mu\text{mol CO}_2 / \text{mmol H}_2\text{O}$ ); EIUA, eficiência intrínseca do uso de água ( $\mu\text{mol CO}_2 / \text{mol H}_2\text{O}$ ). Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey (P<0,05), n=12.

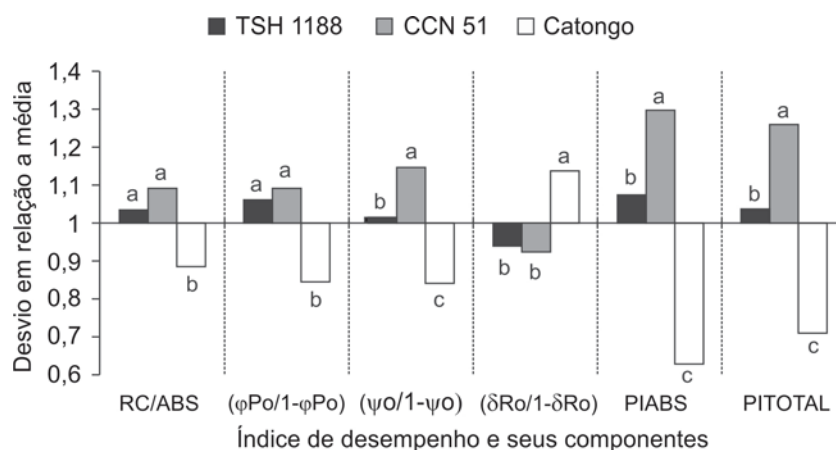
De acordo com Thach *et al.* (2007), reduções significativas nos valores dos rendimentos quânticos máximos do FSII ( $\phi P_o$ ), bem como nos valores do índice de desempenho ( $PI_{ABS}$  e  $PI_{TOTAL}$ ), indicam efeito de fotoinibição. Tais mudanças podem representar perda de eficiência fotoquímica pelas plantas e, como consequência, a diminuição da fotossíntese. Além disso, o maior desempenho das reações de oxi-redução do FSI [ $\delta R_o/(1-\delta R_o)$ ] no Catongo pode ser explicado pelo fato de o FSI ser mais tolerante ao excesso de radiação do que o FSII (Havaux & Davaud, 1994), o que permite a este genótipo utilizar a pequena quantidade de energia absorvida para redução da ferredoxina e do NADP<sup>+</sup>. Por outro lado, a fotoinibição, nesse genótipo, também pode estar relacionada com a ausência de antocianinas em suas folhas (Figueira & Cascardo, 2001), pigmentos que conferem efeito fotoprotetor ao aparato fotossintético (Close & Beadle, 2003).

Em relação às doses de silicato de potássio, com exceção do aumento de  $PI_{ABS}$  na dose 6 mL L<sup>-1</sup>, não foi verificada diferença em relação ao controle para os parâmetros de fluorescência da clorofila (Tabela 3). Tal comportamento poderia estar relacionado com o ambi-

ente em que o experimento foi instalado, ou seja, sem a presença de algum estresse, uma vez que em condições de campo, Pinto *et al.* (2010), com os mesmos tratamentos, verificaram que a aplicação de 3 mL L<sup>-1</sup> de silicato de potássio no genótipo TSH 1188 aumentou RC/ABS,  $\phi P_o/(1-\phi P_o)$ ,  $\Psi_o$  e  $PI_{ABS}$ .

Silva & Bohnen (2001), comparando a produção de matéria seca de raízes e da parte aérea e o rendimento de grãos de plantas de *Oryza sativa*, cultivadas em solução nutritiva, não observaram diferenças entre os resultados da adição, ou não, de Si. Este fato foi relacionado com as condições em que o experimento foi conduzido, ou seja, na ausência de algum estresse de ordem nutricional ou ambiental, o qual poderia ser amenizado pela presença do Si e provocar diferenças entre os tratamentos.

Feng *et al.* (2010), estudando os efeitos de Si sobre o crescimento, a fotossíntese e os parâmetros de fluorescência da clorofila *a* em plantas de *Cucumis sativus*, observaram que o Si tem um papel importante na proteção da maquinaria fotossintética em plantas com toxicidade por Cd, uma vez que a sua aplicação aumentou  $\phi P_o$  e  $\phi P_o/(1-\phi P_o)$ .



**Figura 1.** Índice de desempenho fotossintético ( $PI_{ABS}$  e  $PI_{TOTAL}$ ) e seus componentes: RC/ABS = densidade de centros de reação ativos do FSII;  $\phi P_o/(1-\phi P_o)$  = rendimento quântico máximo efetivo do FSII;  $\Psi_o/(1-\Psi_o)$  = eficiência de transporte de elétrons do FSII;  $\delta R_o/(1-\delta R_o)$  = desempenho das reações de oxi-redução do FSI; obtidos das medidas da fluorescência da clorofila *a* em três genótipos de *T. cacao*. Os dados foram representados na forma de desvio em relação à média dos três genótipos (Md=1). Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ( $P<0,05$ ),  $n=12$ .

**Tabela 3.** Parâmetros da cinética de emissão da fluorescência da clorofila *a* de *T. cacao* em função de três doses de silicato de potássio

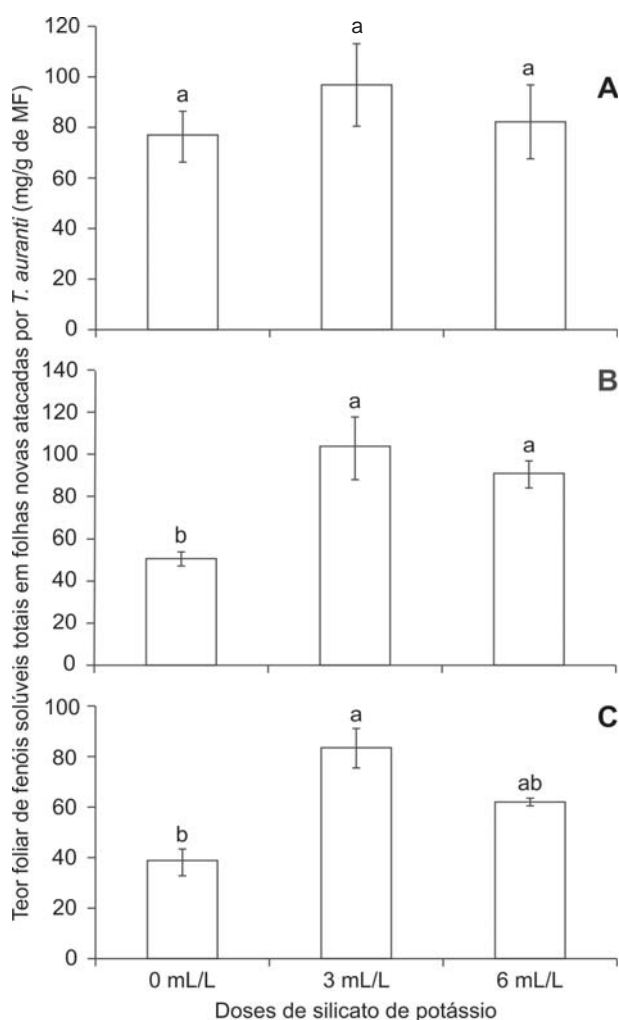
Doses de silicato de potássio	Parâmetros de fluorescência					
	RC/ABS	$\phi P_o/(1-\phi P_o)$	$\Psi_o/(1-\Psi_o)$	$\delta R_o/(1-\delta R_o)$	$PI_{ABS}$	$PI_{TOTAL}$
0 mL L <sup>-1</sup>	0,36 a	2,80 a	0,75 a	0,78 a	0,80 ab	0,62 a
3 mL L <sup>-1</sup>	0,35 a	2,79 a	0,71 a	0,87 a	0,76 b	0,60 a
6 mL L <sup>-1</sup>	0,37 a	2,93 a	0,80 a	0,78 a	0,92 a	0,69 a
C.V. (%)	6,90	7,45	12,47	16,96	19,34	18,69

RC/ABS = densidade de centros de reação ativos do FSII;  $\phi P_o/(1-\phi P_o)$  = rendimento quântico máximo efetivo do FSII;  $\Psi_o/(1-\Psi_o)$  = eficiência de transporte de elétrons do FSII;  $\delta R_o/(1-\delta R_o)$  = desempenho das reações de oxi-redução do FSI;  $PI_{ABS}$  e  $PI_{TOTAL}$  = Índices de desempenho fotossintético. Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ( $P<0,05$ ),  $n=12$ .

### Concentrações de fenóis solúveis totais

Não foi verificado efeito da aplicação de silicato de potássio sobre o teor de fenóis solúveis totais, em folhas novas do genótipo TSH 1188 atacadas por pulgão (Figura 2A). Em contrapartida, a aplicação da dose de 3 mL L<sup>-1</sup> aumentou em cerca de 100% o teor de fenóis no genótipo CCN 51 (Figura 2B) e, aproximadamente, em 117%, no Catongo (Figura 2C), sugerindo o aumento da síntese de metabólitos secundários de defesa, como de compostos fenólicos, nos locais de ataque, provocado por pulgões nestes genótipos.

A ausência do efeito do silício no TSH 1188 pode estar relacionada com os mecanismos constitutivos de defesa deste genótipo, pois, naturalmente, ele apresenta elevados níveis constitutivos (pré-existent) de fenóis em seus tecidos, o que lhe confere elevada resistência genética (Nojosa *et al.*, 2003).



**Figura 2.** Teor foliar de fenóis solúveis totais (TFST) em folhas novas atacadas por *T. aurantii* nos genótipos de *T. cacao* TSH 1188 (A), CCN 51 (B) e Catongo (C) em função da aplicação de doses de silicato de potássio e o controle. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ( $P < 0,05$ ). As barras verticais indicam o erro padrão da média,  $n = 4$ .

Gomes *et al.* (2005) sugeriram que o Si pode agir como elicitador do processo de indução de resistência, aumentando a atividade de enzimas relacionadas com a defesa de plantas de *Triticum aestivum* contra *Schizaphis graminum*, como por exemplo, as peroxidases e polifenoloxidasas e a enzima fenilalanina amônia-liase que estão relacionadas com a síntese de compostos fenólicos, que apresentam propriedades repelentes, tóxicas e antinutricionais aos insetos. Do mesmo modo, Bélanger *et al.* (2003), em observações usando microscópio ótico e eletrônico, verificaram que a aplicação de Si tem um papel ativo na resistência de plantas de *Triticum aestivum* infectadas por *Blumeria graminis* f.sp. *tritici*, principalmente em função do acúmulo de compostos fenólicos em paredes de células epidérmicas.

### Teste de preferência com chance de livre escolha

A preferência de *T. aurantii* foi reduzida, com aplicação de 6 mL L<sup>-1</sup> de silicato de potássio, apenas para o genótipo TSH 1188 (Tabela 4). A não preferência de *T. aurantii* por este genótipo pode estar relacionada com os altos níveis constitutivos de compostos fenólicos encontrados nas suas folhas (Nojosa *et al.*, 2003) ou ser devida à formação da camada protetora na cutícula foliar, conferida pela aplicação de silicato de potássio (Menzies *et al.*, 1992). Moraes *et al.* (2005) verificaram que plantas de *Zea mays* adubadas com silicato de sódio foram menos preferidas por *Rhopalosiphum maidis*. Do mesmo modo, em *Triticum aestivum*, Costa *et al.* (2007) observaram a não preferência de *Schizaphis graminum* nas seções foliares de plantas tratadas com acibenzolar-S-methyl e Si.

**Tabela 4.** Número médio de *T. aurantii* em folhas novas atacadas de três genótipos de *T. cacao* em função da aplicação de três doses de silicato de potássio, 32 h após a liberação dos afídeos no centro da placa de Petri

Genótipos	Número de Pulgões		
	0 mL L <sup>-1</sup>	3 mL L <sup>-1</sup>	6 mL L <sup>-1</sup>
TSH 1188	2,31 a	1,50 ab	1,05 b
CCN 51	1,29 a	2,01 a	1,73 a
Catongo	1,69 a	1,29 a	1,71 a

Médias seguidas de mesma letra, nas linhas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ( $P < 0,05$ ),  $n = 4$ . C.V.(%) = 30,21.

### CONCLUSÕES

Os genótipos TSH 1188 e CCN 51 apresentaram maior rendimento do fotossistema II, quando comparado com o Catongo, o que contribuiu para o incremento das taxas fotossintéticas, permitindo a estes genótipos maior participação de fotoassimilados para a síntese de compostos fenólicos.

A aplicação de silicato de potássio em casa de vegetação não alterou os parâmetros de fluorescência da clorofila *a*, mas é promissora na proteção dos genótipos de cacau a *T. aurantii*, uma vez que incrementou os teores foliares de fenóis solúveis totais e aumentou as taxas fotossintéticas na dose 3 mL L<sup>-1</sup>.

## AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Espírito Santo (FAPES) pela concessão da bolsa de estudo.

## REFERÊNCIAS

- Aguilar MAG (1999) Influência do manganês sobre os aspectos bioquímicos e fisiológicos da tolerância de Cacau (*Theobroma cacao* L.) à vassoura-de-bruxa - *Crinipellis pernicioso* (Stahel) (Singer). Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 199p.
- Bélanger RR, Benhamou N & Menzies JG (2003) Cytological evidence of an active role of silicon in wheat resistance to powdery mildew (*Blumeria graminis* f.sp. *tritici*). *Phytopathology*, 93:402-412.
- Botelho DMS, Pozza EA, Alves E, Neto FAE, Barbosa JPRAD & Castro DM (2009) Aspectos anatômicos e fisiológicos de mudas de café (Coffea arabica L.) com cercosporiose (*Cercospora coffeicola* Berk. & Cook.) adubadas com ácido silícico. *Coffee Science*, 4:93-99.
- Chérif M, Asselin A & Bélanger RR (1994) Defense responses induced by soluble silicon in cucumber roots infected by *Pythium* spp. *Phytopathology*, 84:236-242.
- Close DC & Beadle CL (2003) The ecophysiology of foliar anthocyanin. *Botanical Review*, 69:149-161.
- Costa RR, Moraes JC & Antunes CS (2007) Resistência induzida em trigo ao pulgão *Schizaphis graminum* (Rondani, 1852) (Hemiptera: Aphididae) por silício e acibenzolar-S-methyl. *Ciência e Agrotecnologia*, 31:393-397.
- Fawe A, Abou-Zaid M, Menzies JG & Bélanger RR (1998) Silicon-mediated accumulation of flavonoid phytoalexins in cucumber. *Phytopathology*, 88:396-401.
- Fawe A, Menzies JG, Chérif M & Bélanger RR (2001) Silicon and disease resistance in dicotyledons. In: Datnoff LE, Snyder GH & Korndörfer GH (Eds.) *Silicon in agriculture*. The Netherlands, Elsevier Science. p.159-166.
- Feng J, Shi Q, Wanga X, Wei M, Yang F & Xu H (2010) Silicon supplementation ameliorated the inhibition of photosynthesis and nitrate metabolism by cadmium (Cd) toxicity in *Cucumis sativus* L. *Scientia Horticulturae*, 123:521-530.
- Figueira AVO & Cascardo JCM (2001) Marcadores moleculares no melhoramento. In: Dias LAS (Ed.) *Melhoramento genético do cacau*. Minas Gerais, FUNAPE. p.390-393.
- Gong H, Zhu X, Chen K, Wang S & Zhang C (2005) Silicon alleviates oxidative damage of wheat plants in pots under drought. *Plant Science*, 169:313-321.
- Gomes FB, Moraes JC, Santos CD & Goussain MM (2005) Resistance induction in wheat plants by silicon and aphids. *Scientia Agricola*, 62:547-551.
- Goussain MM, Moraes JC, Carvalho JG, Nogueira NL & Rossi ML (2002) Efeito da aplicação de silício em plantas de milho no desenvolvimento biológico da lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). *Neotropical Entomology*, 31:305-310.
- Gramacho ICP, Magno AES, Mandarino EP & Matos A (1992) Cultivo e beneficiamento do cacau. Brasília, CEPLAC – Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. 124p.
- Havaux M & Davaud A (1994) Photoinhibition of photosynthesis in chilled potato leaves is not correlated with a loss of photosystem II activity. Preferential inactivation of photosystem I. *Photosynthetic Research*, 40:75-92.
- Lammers H, Chapin III FS & Pons TL (1997) *Plant Physiological Ecology*. New York, Springer-Verlag. 610p.
- Lawrence JS, Campêlo AMFL & Figueiredo JM (1991) *Enfermidades do cacau*. IV – Doenças viróticas. *Agrotópica*, 3:115-118.
- Lazár D (2006) The polyphasic chlorophyll *a* fluorescence rise measured under high intensity of exciting light. *Functional Plant Biology*, 33:9-30.
- Madeiros LB, Vieira AO & Aquino BF (2009) Influência da escória siderúrgica sobre trocas gasosas e produção de biomassa da cana-de-açúcar. *Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia*, 6:121-129.
- Marques SC, Natal MAC, Binda Filho B & Conceição LR (2006) *Cultivo do Cacau*. CEPEC/CEPLAC, NEPLI. 48p.
- Menzies J, Bowen P, Ehret D & Glass ADM (1992) Foliar applications of potassium silicate reduce severity of powdery mildew on cucumber, muskmelon, and zucchini squash. *Journal American Society Horticulture Science*, 117:902-905.
- Moraes JC, Goussain MM, Carvalho GA & Costa RR (2005) Feeding non-preference of the corn leaf aphid *Rhopalosiphum maidis* (Fitch, 1856) (Hemiptera: Aphididae) to corn plants (*Zea mays* L.) treated with silicon. *Ciência e Agrotecnologia*, 29:761-766.
- Nojosa GBA, Resende MLV, Aguilar MAG, Bezerra KMT & Anher DE (2003) Componentes fenólicos e enzimas oxidativas em clones de *Theobroma cacao* resistentes e suscetíveis a *Crinipellis pernicioso*. *Fitopatologia Brasileira*, 28:148-154.
- Pinto DG, Aguilar MAG, Souza CAS, Silva DM, Contarato E & Siqueira PR (2010) Fluorescência da clorofila *a* e incidência de insetos-praga em genótipos de cacau pulverizados com silício. In: *Trabalhos Publicados na FERTIBIO, Guarapari. Anais, CD ROM*.
- Pinto LRM & Pires JL (1998) Seleção de plantas de cacau resistentes à vassoura-de-bruxa. Ilhéus, Ceplac/Cepec. 35p. (Boletim técnico, 181).
- Pires JL (2003) Avaliação quantitativa e molecular de germoplasma para o melhoramento do cacau com ênfase na produtividade, qualidade de frutos e resistência a doenças. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 226p.
- Romero-Aranda MR, Jurado O & Cuartero J (2006) Silicon alleviates the deleterious salt effect on tomato plant growth by improving plant water status. *Journal Plant Physiology*, 163:847-855.
- Silva LS & Bohnen H (2001) Rendimento e acúmulo de nutrientes pelo arroz em solução nutritiva com e sem adição de silício. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 25:771-777.
- Shen X, Zhou Y, Duan L, Li Z, Eneji AE & Li J (2010) Silicon effects on photosynthesis and antioxidant parameters of soybean seedlings under drought and ultraviolet-B radiation. *Journal Plant Physiology*, 167:1248-1252.
- Souza CAS & Dias LAS (2001) Melhoramento Ambiental e Sócio-Economia: controle de doenças e pragas. In: Dias LAS (Ed.) *Melhoramento genético do cacau*. Minas Gerais, FUNAPE. p.19-21.
- Stadnik M (2000) Indução de resistência a oídios. In: 23º Congresso paulista de fitopatologia, Campinas. Anais, GPF. p.176-181.

- Strasser BJ & Strasser RJ (1995) Measuring fast fluorescence transients to address environmental questions: The JIP-test. In: Mathis P (Ed.) Photosynthesis: from light to biosphere. Dordrecht, Kluwer Academic. p.977- 980.
- Takahashi E (1995) Uptake mode and physiological functions of silica. In: Matsuo T, Kumazawa K, Ishii R, Ishihara K & Hirata H (Eds.) Science of the rice plant. Tokyo, Food and Agriculture Policy Research Center. p.420-433.
- Thach LB, Shapcott A, Schmidt S & Critchley C (2007) The OJIP fast fluorescence rise characterizes *Graptophyllum* species and their stress responses. *Photosynthesis Research*, 94:423-436.
- Tsimilli-Michael M & Strasser R (2008) In vivo assessment of stress impact on plants vitality: applications in detecting and evaluating the beneficial role of Mycorrhization on host plants. In: Varma A (Ed.) Mycorrhiza: State of the art, genetics and molecular biology, ecofunction, biotechnology, eco-physiology, structure and systematic. Berlin, Springer. p.679-703.
- Zhang S, Li Q, Ma K & Chen L (2001) Temperature dependent gas exchange and stomatal/non-stomatal limitation to CO<sub>2</sub> assimilation of *Quercus liaotungensis* under midday higher irradiance. *Photosynthetica*, 39:383-388.