

# SILICATO DE POTÁSSIO VIA FOLIAR NO MILHO: FOTOSSÍNTESE, CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE

## FOLIAR APPLICATION OF THE POTASSIUM SILICATE IN CORN: PHOTOSYNTHESIS, GROWTH AND YIELD

Juni Vicente de SOUSA<sup>1</sup>; Carlos Ribeiro RODRIGUES<sup>2</sup>; José magno Queiroz LUZ<sup>3</sup>;  
Paulo César de CARVALHO<sup>1</sup>; Tatiana Michlovská RODRIGUES<sup>2</sup>;  
Césio Humberto de BRITO<sup>3</sup>

1. Engenheiro Agrônomo; 2. Engenheiro Agrônomo, Professor, Doutor; Universidade Federal Rural de Pernambuco, Campus de Garanhuns, Garanhuns, PE, Brasil. [carlos\\_rodrigues@yahoo.com.br](mailto:carlos_rodrigues@yahoo.com.br); 3. Engenheiro Agrônomo, Professor, Doutor; Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Campus Umuarama, Uberlândia, MG, Brasil. [jmagno@umuarama.ufu.br](mailto:jmagno@umuarama.ufu.br)

**RESUMO:** O objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito de doses de silicato de potássio via foliar na cultura do milho, cultivar 2B587, na safra 2007/2008. O delineamento utilizado foi blocos casualizados, com sete doses de  $K_2SiO_3$  (0, 1, 2, 3, 4, 5 e 6 litros  $ha^{-1}$ ) aplicadas nas fases de V4 e V6, com quatro repetições. Foram avaliados teores de clorofila, crescimento e a produtividade. Diferença significativa para teores de clorofila foi verificada apenas no terço inferior da planta. A relação clorofila A/B foi máxima de 4,0 com a dose de 2,7 L  $ha^{-1}$  de  $K_2SiO_3$ . Não foi detectada diferença quanto à massa seca da planta. A massa seca de colmo teve peso máximo de 61,66 gramas com 4,0 L  $ha^{-1}$  de  $K_2SiO_3$ . A massa de mil grãos foi de 360,2 gramas com 3,9 L  $ha^{-1}$  de  $K_2SiO_3$ . A produtividade apresentou 10.580,4 kg  $ha^{-1}$  com um incremento de 1.098,8 kg  $ha^{-1}$ , com aplicação de 3,2 L  $ha^{-1}$  de silicato de potássio, quando comparado à testemunha. A aplicação via foliar de  $K_2SiO_3$ , nas doses estudadas, proporcionou incrementos de produtividade e na massa de mil grãos e no peso de colmo da planta de milho. Os menores teores de clorofila no terço inferior comprovam a melhor incidência de luz e a melhor eficiência fotossintética da planta de milho com uso de silicato de potássio, efeito conjunto dos elementos silício e potássio.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Zea mays* L. Silício. Clorofila. Potássio.

## INTRODUÇÃO

A área de plantio de milho (*Zea mays* L.) vem crescendo sistematicamente ao longo dos anos devido a sua importância tanto na alimentação humana e como fonte protéica em rações. Atualmente surgiu como alternativa para a produção de etanol, tornando-se uma excelente possibilidade de redução no uso de fontes não renováveis de energia. Seu uso para etanol, em países onde a cana-de-açúcar não é uma realidade, vem aumentando o preço deste cereal no mercado internacional, reduzindo os estoques mundiais e diminuindo a disponibilidade deste para a alimentação animal. Neste contexto, a produção de milho no Brasil (1ª e 2ª safra) totaliza o volume recorde de 58,5 milhões de toneladas em uma área de 14,7 milhões de hectares, com uma produtividade nacional de 3.983 kg  $ha^{-1}$ . Isso representou um aumento de 4,7 % em relação à safra de 06/07. Os preços altamente estimulantes, aliados às boas condições climáticas na maioria dos estados produtores justificam este aumento (CONAB, 2008).

A adubação na cultura do milho é uma prática que nas últimas safras vem despertando bastante interesse devido às altas crescentes no preço dos adubos. Portanto a busca por alternativas

faz-se de fato necessária para os produtores. O silício é capaz de aumentar a resistência das plantas aos ataques de insetos, nematóides, bactérias e fungos na melhoria do estado nutricional, na redução da transpiração e possivelmente também em alguns aspectos da eficiência fotossintética (KORNDORFER et al., 2002; KORNDORFER; DATNOFF, 2000). Esse efeito pode ser consequência dos benefícios da aplicação, seu efeito físico com deposição e polimerização de sílica na epiderme foliar, e seu efeito bioquímico segundo atuando na indução da síntese de fitoalexinas (VIDHYASEKARAN, 1997; MENZIES et al., 1991).

Adubos contendo silício são atualmente usados em vários países e este elemento tem sido considerado chave para a sustentabilidade, não apenas da agricultura convencional, mas também da agricultura orgânica e biodinâmica (KORNDÖRFER, 2006). Esse elemento ocorre principalmente em mineral inerte das areias, quartzo ( $SiO_2$  puro), caulinita, micas, feldspato e em outros minerais de argilas silicatadas. Sua absorção pode trazer inúmeros benefícios, principalmente para culturas acumuladoras como as gramíneas (MENGEL; KIRKBY, 1987).

Os efeitos benéficos do silício são, em geral, óbvios em culturas que o acumulam de modo ativo. Isto porque, muitos dos seus efeitos benéficos são expressos por meio do silício depositado nas folhas e ramos. A resposta benéfica pode ser observada quando se aplica fertilizantes silicatados em campos de arroz, cevada, milho e cana-de-açúcar (MA et al., 2001), culturas essas acumuladoras de silício.

Um dos principais paradigmas da adubação de silício está no uso de fontes que possam aumentar a disponibilidade desse nutriente na rizosfera. As fontes tradicionalmente utilizadas, como os silicatos de cálcio e magnésio e, ou, as escórias de siderurgia, além de apresentarem baixíssimos teores de Si solúvel também são insolúveis ou apresentam baixa solubilidade em água. O uso de silício solúvel, na forma de silicato de potássio, tem proporcionado aumentos significativos de produção pelo aumento da eficiência no uso de nutrientes imóveis, como o cálcio, ferro, zinco, manganês e cobre, e conseqüentemente maior resistência ao ataque de pragas e doenças (RODRIGUES et al., 2007c).

A aplicação foliar de silício utilizando silicatos solúveis como o silicato de potássio tem levado a resultados promissores e resultados benéficos em soja, milho (RODRIGUES et al., 2007a), batata (RODRIGUES et al., 2007b) e café (MERRIGHI et al., 2007). Os efeitos benéficos do silicato de potássio são atribuídos ao efeito conjunto de silício e do potássio na nutrição e na produção das plantas. Segundo Reis et al. (2008) e Figueiredo (2007) com a aplicação foliar do silicato de potássio em plantas de café houve maior recobrimento do tecido foliar devido a precipitação e polimerização do silício junto à cutícula da folha e com isso proporcionou menor incidência de doenças e maior produção e qualidade do produto final. Os efeitos relatados pelos autores corroboram com os efeitos benéficos de plantas adubadas com silício conforme relatado por Korndorfer et al. (2002) e também aos efeitos benéficos da aplicação do potássio, como melhor qualidade do produto final como relatado por Epstein; Bloom (2006) e Faquin; Andrade (2004). O potássio não faz parte de nenhum composto orgânico e não desempenha função estrutural na planta. Este macronutriente atua na ativação de aproximadamente 50 enzimas, destacando-se as sintetases, oxiredutases, desidrogenases, transferases, quinases, aldolases e a Rubisco, enzima chave no processo fotossintético. O potássio está ainda envolvido na síntese de proteínas, plantas com baixos teores de potássio apresentam redução na síntese, com acúmulo de compostos de baixa massa molecular como

aminoácidos, amidas, amins e nitratos (MARSCHNER, 1995; MALAVOLTA et al., 1997).

Diante do exposto, objetivou-se com a realização deste trabalho avaliar os teores clorofila, o crescimento e a produtividade de milho safra com a aplicação de doses crescentes de silicato de potássio líquido via foliar.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado na propriedade Chácara dos Ipês II, no município de Indianópolis-MG, localizada a 960 metros de altitude. A cultura da safra anterior foi soja, sendo que a área ficou em pousio na entressafra. A semeadura, em sistema de semeadura direta, foi feita em 07 de novembro de 2007 sendo utilizado o híbrido simples precoce 2B587 da empresa Dow Agrosciences, no espaçamento de 0,70 metros entre linhas de cultivo totalizando um stand final de 64.285 plantas por hectare, sendo média de 4,5 plantas por metro. Cada parcela foi constituída por cinco linhas de cultivo e dez metros de comprimento. Para as avaliações foi considerada área útil de três linhas de cultivo nos seis metros centrais.

No preparo da área foi realizada uma dessecação com 4,0 L ha<sup>-1</sup> de herbicida com princípio ativo glifosato. No momento da semeadura foi realizada a adubação de base com 420 kg ha<sup>-1</sup> do formulado comercial 12-32-06. Foi feito tratamento de sementes com 0,6 L de produto comercial a base de tiametoxan e 0,2 L de produto comercial à base de fipronil por 100 kg de sementes. As adubações de cobertura foram realizadas em duas aplicações de 150 e 160 kg ha<sup>-1</sup> de uréia aos 20 e aos 40 dias após a semeadura. O manejo de plantas infestantes foi realizado com a aplicação de 5,0 L ha<sup>-1</sup> de produto comercial com atrazina e óleo mineral na sua formulação. O controle de pragas da cultura foi feito com a aplicação foliar de inseticida na dosagem de 0,3 L ha<sup>-1</sup> com princípio ativo de lufenuron e 0,05 L ha<sup>-1</sup> de princípio ativo lambda-cialotrina. O manejo do complexo de doenças fúngicas do milho foi realizado com a aplicação de fungicida na dosagem de 0,3 L ha<sup>-1</sup> de princípio ativo azoxistrobina e ciproconazol.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com quatro repetições, em esquema seis mais um, com seis doses: 1, 2, 3, 4, 5 e 6 L ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>, mais uma testemunha sem aplicação. O produto utilizado foi o silicato de potássio contendo 12,2 % de silício e 15 % de óxido de potássio totalmente solúveis, pH igual a 12 e densidade de 1,4 g dm<sup>-3</sup>. O manejo de aplicações de fungicidas,

inseticidas, adubações e outros tratamentos culturais assim como as épocas de aplicação desses foram iguais para todos os tratamentos.

As aplicações dos tratamentos com o  $K_2SiO_3$  foram realizadas em duas épocas durante o desenvolvimento da cultura do milho. A primeira aplicação foi realizada no estádio V4, com quatro folhas totalmente expandidas, e a segunda aplicação em V6, com seis folhas totalmente expandidas. As aplicações foram realizadas com pulverizador costal de  $CO_2$  com pressão de trabalho de  $3 \text{ kgf cm}^{-2}$ , bico regulador de vazão com  $275 \text{ kPa}$  ( $40 \text{ lbf pol.}^{-2}$ ), tipo leque, utilizando também adjuvante siliconado de princípio ativo copolímero de poliéter e silicone com a dosagem de  $0,005\%$  do volume de calda utilizado que foi de  $150 \text{ L ha}^{-1}$ .

Na época de pleno pendoamento ou fase VT do desenvolvimento fisiológico do milho foi realizada a avaliação dos teores de clorofila com aparelho CFL1030 – clorofiLOG – medidor eletrônico de teor de clorofila. As medições de clorofila foram feitas em quatro plantas por parcela, onde foram determinados os teores de clorofila a, b, teor total em  $\mu\text{g } 8 \text{ cm}^{-2}$  e a relação clorofila a/b. Tais medições foram realizadas dividindo-se a planta em terços iguais, como a planta na época possuía em torno de 18-20 folhas foram divididos as folhas em conjuntos de 6-7 folhas para cada terço da planta, nos terços superior, mediano e inferior da planta. Foi utilizada sempre a mesma posição central da folha, evitando regiões de nervura e danificadas por pragas e patógenos. No mesmo período foram coletadas quatro plantas por parcela para análise de crescimento. Na coleta das plantas, as folhas foram divididas nos terços superior, mediano e inferior e também coletadas o colmo para posterior pesagem. Após coletadas, as amostras foram acondicionadas em sacos de papel e levadas à estufa a  $65 - 70 \text{ }^\circ\text{C}$  até massa constante. Em seguida o material foi pesado para a obtenção da massa seca de folhas de cada terço e do colmo.

A colheita foi realizada assim quando a umidade dos grãos atingiram aproximadamente  $13\%$  de umidade. Foram colhidas as plantas de 4 metros lineares dentro de cada parcela, descartando a linha de plantio que foi utilizada para a coleta das plantas para análise de crescimento. Após a colheita manual, as espigas foram debulhadas manualmente, avaliadas quanto à massa e mensurada a umidade em medidor de umidade universal. Na debulha manual também foi contados mil grãos e pesado para a determinação da massa de mil grãos. Posteriormente os dados de produtividade foram convertidos para  $\text{kg ha}^{-1}$ . Para o cálculo final de

produtividade a umidade dos grãos foi ajustada para  $13\%$ .

As variáveis foram submetidas à análise de variância ( $Prob < 5\%$ ) pelo programa Sisvar (FERREIRA, 2000), em função das doses foliares de  $K_2SiO_3$ . O teor de clorofila a, b, total e relação a/b dentro de cada terço foi analisada por teste de Scoot-Knott. O teor de clorofila em função das doses foliares de  $K_2SiO_3$ , assim como a massa seca de folhas, de colmo, a massa seca de mil grãos e a produtividade foi avaliada pela análise de regressão.

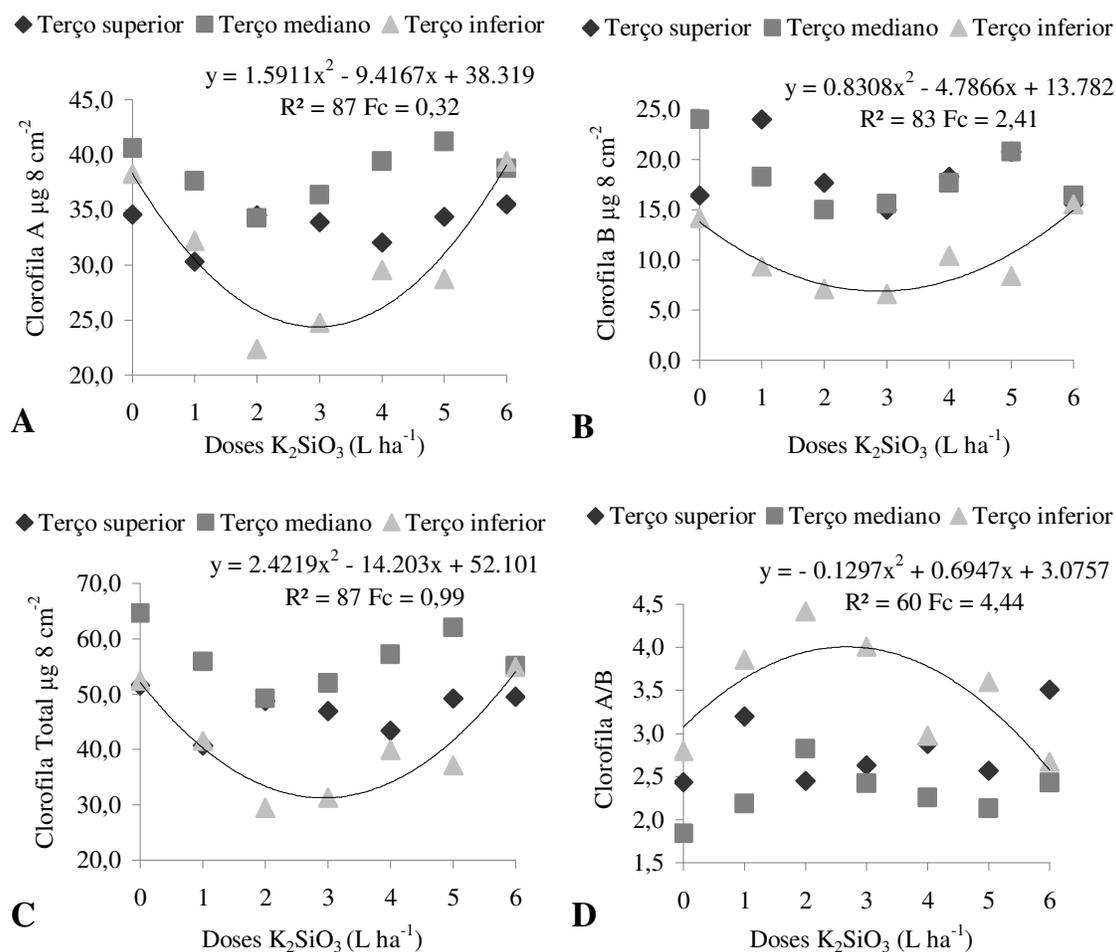
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Doses crescentes de  $K_2SiO_3$  proporcionaram alteração significativa nos teores de clorofila somente no terço inferior (Figura 1). O teor de clorofila a, b e o total (Figuras 1 A, B e C) tiveram um ajuste quadrático inverso em função das doses foliares de  $K_2SiO_3$ . A relação clorofila a/b (Figura 1D) apresentou ajuste quadrático positivo.

No terço inferior das plantas as doses de  $K_2SiO_3$  que proporcionaram os menores teores de clorofila a ( $24,4 \mu\text{g } 8\text{cm}^{-2}$ ), b ( $6,9 \mu\text{g } 8\text{cm}^{-2}$ ) e total ( $31,2 \mu\text{g } 8\text{cm}^{-2}$ ) foram de  $2,9$ ;  $2,8$  e  $2,9 \text{ L ha}^{-1}$ , respectivamente. A relação clorofila a/b apresentou o maior valor,  $4,0$  com a dose de  $2,7 \text{ L ha}^{-1}$  de  $K_2SiO_3$  via foliar.

De maneira geral ocorreu redução percentual mais acentuada dos teores de clorofila b em relação à clorofila a. A redução foi de  $9,4$  e  $4,8 \mu\text{g } 8\text{cm}^{-2}$  a cada  $1 \text{ L ha}^{-1}$  de  $K_2SiO_3$  para a clorofila a e b, respectivamente, o que equivale à redução percentual de  $24,6$  e  $34\%$  para cada  $1 \text{ L ha}^{-1}$  de  $K_2SiO_3$  para clorofila a e b, respectivamente (Figuras 1A e B) Esses resultados explicam o incremento da relação da clorofila a/b até a dose de  $2,7 \text{ L ha}^{-1}$  de  $K_2SiO_3$ .

Os teores de clorofila a, b, total e relação a/b diferiram entre si quando comparados dentro de cada terço (Tabelas 1 e 2). Quando ocorre uma diferença estatística dentro dos terços essa é notada, no terço inferior, onde existe tendencialmente um menor teor de clorofila porque a planta naquela região tem uma menor incidência de luz. Notou-se uma tendência de igualdade entre os teores o que evidencia que os teores não se diferiram estatisticamente nos terços superior e mediano na maioria das doses de silicato de potássio avaliadas. Esse comportamento de igualdade entre os terços vem comprovar que a planta ao receber a luz de forma mais homogênea dentro dos terços tem a capacidade de sintetizar clorofila de maneira equivalente.



**Figura 1.** Teor de Clorofila a, Clorofila b, Clorofila total (a+b) e relação Clorofila a/b em função de doses de  $\text{K}_2\text{SiO}_3$  aplicado via foliar na cultura do milho. Indianópolis-MG, 2008.

**Tabela 1.** Teor de clorofila a e b ( $\mu\text{g } 8 \text{ cm}^{-2}$ ) nos terços da planta com aplicação de  $\text{K}_2\text{SiO}_3$  foliar no milho. Indianópolis-MG, 2008. Letras diferentes são diferentes entre os terços da planta pelo teste de Scoot-Knott a 5% de probabilidade.

Tratamento ( $\text{L ha}^{-1}$ )	Terço da planta			Terço da planta		
	Superior	Médio	Inferior	Superior	Médio	Inferior
	Clorofila a	Clorofila a	Clorofila a	Clorofila b	Clorofila b	Clorofila b
0	34,600 a	40,6250 a	38,2750 a	16,400 a	24,000 a	14,1750 a
1	30,300 a	37,6250 a	32,2000 a	24,000 a	18,250 a	9,3500 a
2	34,520 a	34,2600 a	22,3600 b	17,700 a	14,980 a	7,0800 b
3	33,900 a	36,4000 a	24,7667 a	14,980 a	15,600 a	6,6000 a
4	32,025 a	39,4250 a	29,5250 a	18,250 a	17,700 a	10,4000 a
5	34,375 a	41,2000 a	28,7500 a	20,775 a	20,775 a	8,4000 b
6	35,525 a	38,7500 a	39,4000 a	15,600 a	16,400 a	15,5500 a

**Tabela 2.** Teor de clorofila total, a+b ( $\mu\text{g } 8\text{cm}^{-2}$ ) e relação a/b nos terços da planta com aplicação de  $\text{K}_2\text{SiO}_3$  foliar no milho. Indianópolis-MG, 2008. Letras diferentes são diferentes entre os terços da planta pelo teste de Scoot-Knott a 5% de probabilidade.

Tratamento (L ha <sup>-1</sup> )	Terço da planta			Terço da planta		
	Superior	Médio	Inferior	Superior	Médio	Inferior
	Clorofila a+b	Clorofila a+b	Clorofila a+b	Relação a/b	Relação a/b	Relação a/b
0	51,575 a	64,625 a	52,450 a	2,435 a	1,84 a	2,795 a
1	40,650 a	55,875 a	41,550 a	3,200 a	2,18 a	3,855 a
2	48,760 a	49,240 a	29,440 b	2,450 b	2,82 b	4,418 a
3	46,900 a	52,000 a	31,367 a	2,627 a	2,42 a	4,007 a
4	43,375 a	57,125 a	39,925 a	2,880 a	2,26 a	2,975 a
5	49,250 a	61,975 a	37,150 a	2,570 a	2,13 a	3,600 a
6	49,525 a	55,150 a	54,950 a	3,508 a	2,43 a	2,668 a

P Essas alterações nos teores, ocorridas devido à influência da aplicação do silicato de potássio, são confirmadas segundo Engel; Poggiani (1991) e Inoue et al. (1995) que observaram que o aparelho fotossintético das plantas sofre influências marcantes no âmbito da interação genótipo x ambiente. Essas alterações são fruto principalmente das condições de luminosidade e nutrientes que atuam de maneira preponderante.

Para a massa seca de parte aérea nos terços de planta não foi obtida variação significativa pelo teste  $F(Prob > 5\%)$  (Figura 2A). Carvalho (2000) também não observou variação significativa de massa seca de parte aérea de plantas de arroz quando fertilizadas com doses crescentes de silício via solo.

A massa seca de colmo (Figura 2B) apresentou variação significativa pelo teste de F em função das doses de  $\text{K}_2\text{SiO}_3$  foliar apresentando ajuste quadrático positivo. A máxima produção de colmo foi de 61,66 gramas quando aplicado 4,0 L ha<sup>-1</sup> de  $\text{K}_2\text{SiO}_3$ . Observou-se um incremento de 53% na massa seca de colmo em relação ao tratamento testemunha (40,3 g planta<sup>-1</sup>).

Mesmo não apresentando variação significativa para massa seca de folhas os resultados de clorofila permitem inferir que com as doses de  $\text{K}_2\text{SiO}_3$  foliar houve aumento da eficiência fotossintética da planta, o que pode ser atribuído à melhor arquitetura das folhas.

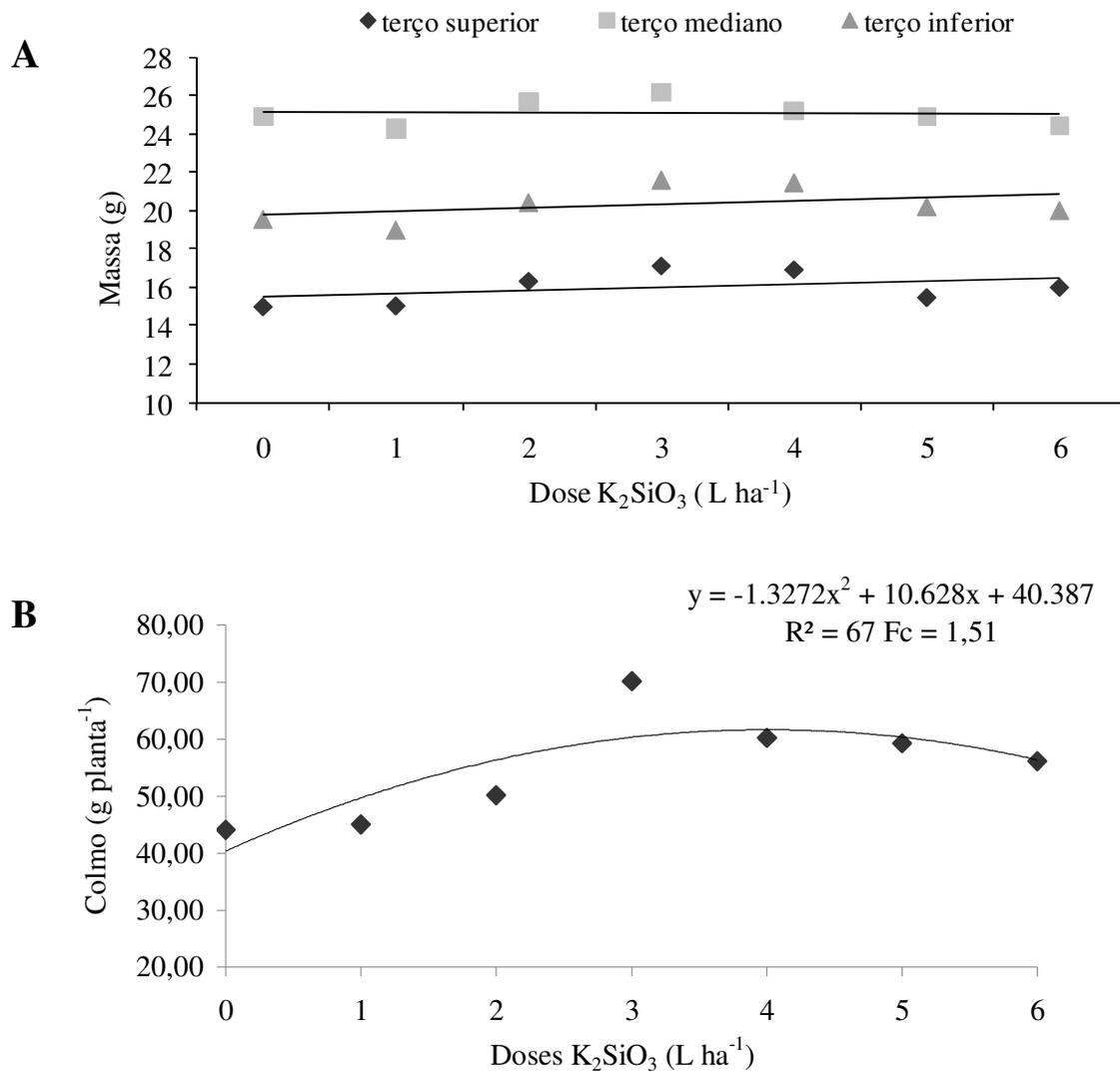
Esse efeito pode ser verificado pelo aumento da massa seca de colmo (Figura 1B) e também pela massa de mil grãos (Figura 3A) e produtividade (Figura 3B), que apresentaram variação significativa pelo teste de F ( $Prob > 5\%$ ) em função das doses de  $\text{K}_2\text{SiO}_3$ . A máxima massa de mil grãos (360,2 gramas) e a produtividade (10

580,4 kg ha<sup>-1</sup>) foram obtidos com as doses de 3,9 e 3,2 L ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Com os resultados obtidos verifica-se um incremento de 11,2 e 10,2 % na produção de mil grãos e na produtividade, respectivamente, em relação à testemunha.

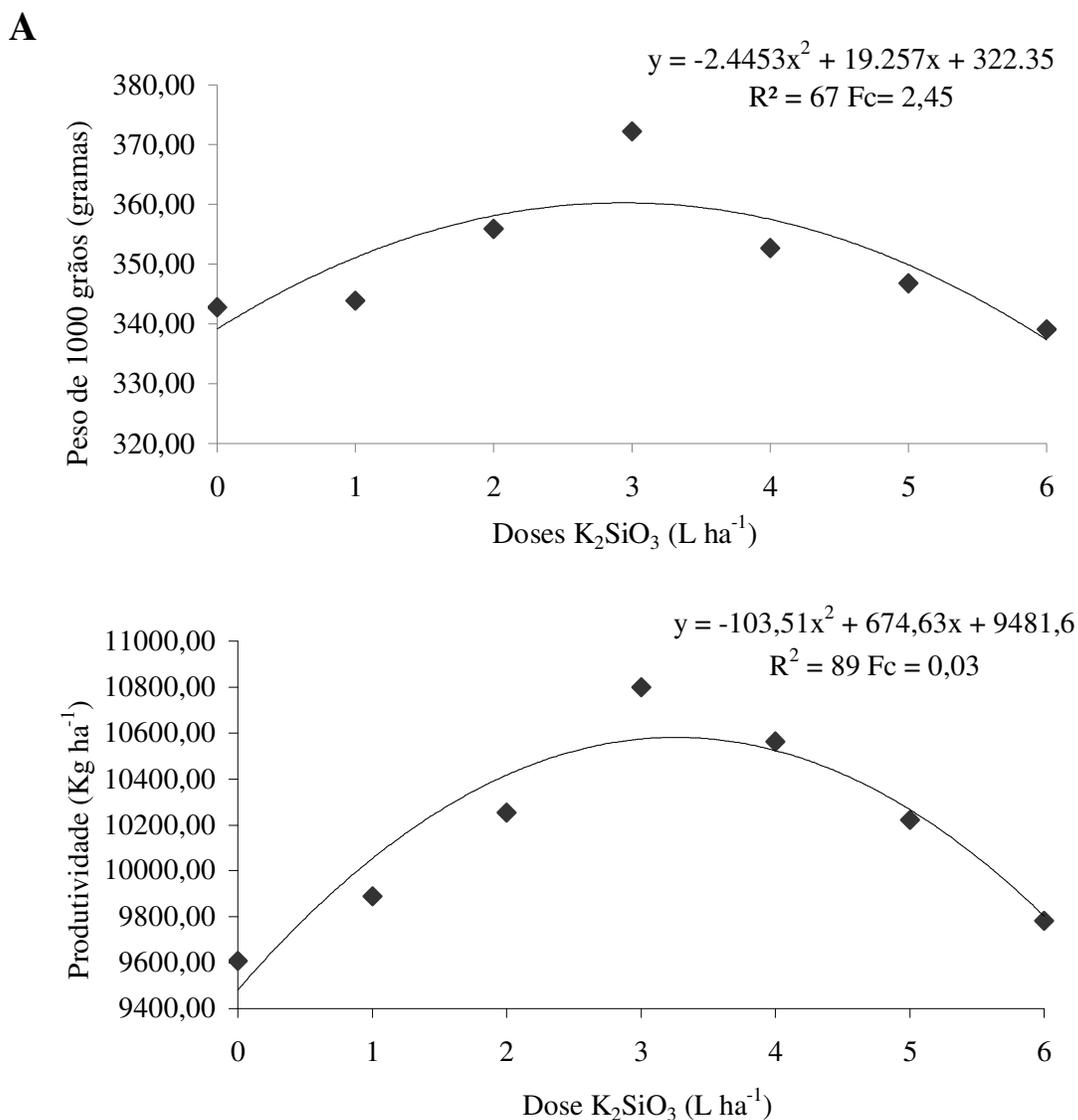
Modificações nos níveis de luminosidade os quais uma espécie está adaptada podem condicionar diferentes respostas fisiológicas em suas características bioquímicas, anatômicas e de crescimento (ATROCH et al., 2001).

O aumento da clorofila b em plantas sombreadas pode ser devido a um aumento da proporção do complexo coletor clorofila a/b-proteína, em relação ao complexo P<sub>700</sub> – clorofila a - proteína. Um outro fator importante pode ser o maior desenvolvimento de “grana” em cloroplastos de folhas de sombra em relação a folhas de sol, que é onde se encontra o complexo a/b-proteína (MEBRAHTU; HANOVER, 1991).

O crescimento e a adaptação da planta a diferentes condições de ambiente relacionam-se a sua eficiência fotossintética que, por sua vez, está associada, entre outros fatores, aos teores de clorofila foliar. Diversos fatores externos e internos afetam a biossíntese de clorofilas, por isso, os seus conteúdos foliares podem variar de maneira significativa. Entre estes fatores, a luz é essencial a sua biossíntese (WHATLEY; WHATLEY, 1982). A clorofila está sendo constantemente sintetizada e destruída (foto-oxidação) em presença de luz, porém sob intensidades luminosas mais elevadas ocorre maior degradação, e o equilíbrio é estabelecido a uma concentração mais baixa. Portanto, folhas de sombra possuem concentração maior de clorofila do que as folhas de sol (KRAMER; KOZLOWSKI, 1979).



**Figura 2.** Massa seca de folhas (A) e massa seca de colmo (B) em função de doses de  $K_2SiO_3$  aplicado via foliar na cultura do milho. Indianópolis-MG, 2008.



**Figura 3.** Massa de mil grãos (gramas) e produtividade ( $kg\ ha^{-1}$ ) em função de doses de  $K_2SiO_3$  aplicado via foliar na cultura do milho. Indianópolis-MG, 2008.

A planta com alta concentração de clorofila seria capaz de atingir taxas fotossintéticas mais altas, pelo seu valor potencial de captação de “quanta” na unidade de tempo. Entretanto, nem sempre esta relação existe, pois a etapa bioquímica da fotossíntese (fase escuro) pode limitar o processo (PORRA et al., 1989; CHAPPELLE; KIM, 1992).

Portanto, o ajuste quadrático inverso dos teores de clorofila no terço inferior das plantas significa que houve menor produção de clorofilas nessa parte, nas doses de  $K_2SiO_3$  estudadas, confirmando que a planta de milho foi fotossinteticamente mais eficiente. O não ajuste da análise de regressão para os terços mediano e superior provavelmente decorre do autosombreamento da planta nesses terços ser

pequeno, visto que a planta já tem uma nítida arquitetura onde as folhas superiores e medianas sofrem baixo grau de sombreamento e portanto maior inserção de luz. Segundo Mebrahtu; Hanover (1991) e Kramer; Kozłowski (1979), as folhas de sombra possuem maiores teores de clorofila devido ao aumento do complexo antena, conseqüentemente os menores valores dos teores de clorofila nas doses críticas vem comprovar indiretamente que nas plantas adubadas com  $K_2SiO_3$  havia uma melhor arquitetura, efeito benéfico propiciado pela aplicação de  $K_2SiO_3$  conforme relatado por Yoshida et al. (1969). Com a melhor arquitetura há menor sombreamento, melhor incidência dos raios solares e uma melhor conversão dessa luz incidente em fotoassimilados que posteriormente foram

convertidos em matéria orgânica na planta e amido nos grãos do milho. Ocorrendo uma ideal inserção de luz a planta não necessita produzir maiores quantidades de clorofila, visto que com a quantidade que já possui esta é capaz de captar a luz necessária.

A redução nos teores de clorofila do terço inferior também pode ser uma reação ao excesso de luz. De acordo com Taiz; Zeiger (2004) e Buchanan et al. (2001) o excesso de luz é um dos causadores do estresse oxidativo, que é o aumento de fluxo de elétrons na fase fotoquímica da fotossíntese, com conseqüente formação de formas reativas de oxigênio. Segundo os mesmos autores, um dos mecanismos contra o estresse oxidativo é a redução da biossíntese e/ou degradação de clorofila.

Os resultados obtidos no experimento realizado seguem o padrão dos resultados obtidos por CAT (2007), na safra 06/07 com duas aplicações de 3 L ha<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> foliar em híbrido AS1575, onde foi obtido um acréscimo de sete sacas ha<sup>-1</sup>, ou 420 kg ha<sup>-1</sup>. Quando aplicados altos volumes, como a dosagem de 6 L ha<sup>-1</sup> observou-se comportamento de redução da produtividade final, comportamento semelhante ao obtido nesse trabalho. No tocante à massa de mil grãos os resultados também são coincidentes com os valores encontrados por CAT (2007) onde houve acréscimo da massa na dose de 3,0 L ha<sup>-1</sup> em relação à testemunha, porém quando foi aplicada uma dose de 6,0 L ha<sup>-1</sup> foi observado redução no massa quando comparados à testemunha.

O comportamento de aumento da produtividade encontrado neste experimento também foram encontrados por Rodrigues et al. (2008) com duas aplicações de 3L ha<sup>-1</sup> em V4 e V6. Todavia, as produtividades obtidas pelos autores foram menores que os obtidos nesse trabalho. Essa diferença pode ser atribuída ao fato dos experimentos realizados por Rodrigues et al. (2008) terem sido realizados em milho safrinha, onde em médias as produtividades são numericamente menores, devido a problemas de ordem climática, como falta de chuvas nos momentos críticos onde a cultura mais necessita, como por exemplo, na fase de enchimento de grãos.

Os resultados obtidos por CAT (2006), com a aplicação de silicato de cálcio de magnésio via solo em milho também mostraram redução na massa de mil grãos e na produtividade com a dose de 250 kg ha<sup>-1</sup>. Com a aplicação de silicato de cálcio e magnésio via solos na linha de semeadura foi verificado incrementos de 1,7 e 7,1% na massa de mil grãos e na produtividade, respectivamente, do milho safra com a dose de 200 kg ha<sup>-1</sup>. Mesmo apresentado incrementos de produção, tanto com a

aplicação via solo em linha de plantio, quanto foliar, a comparação das tecnologias é complexa. Apesar do objetivo sendo o mesmo, fornecer silício para as plantas, a comparação é indevida, pois, os fatores que interferem na eficiência no fornecimento do nutriente são totalmente distintos, além do fato do cátion acompanhante (Ca e Mg ou K), também ser diferente e possuir função distinta na fisiologia das plantas. Para tal é necessário isolar o efeito dos cátions acompanhantes, Ca e Mg, para os silicatos via solo, e do K, para o silicato foliar, e, também avaliar a eficiência no incremento da produção para cada unidade de silício aplicada. Se feito isso, no trabalho apresentado por CAT (2006) observou-se que para a dose 200 kg ha<sup>-1</sup> de silicato de cálcio e magnésio, ou seja, 46 kg ha<sup>-1</sup> de silício houve incremento de 5 sacas ha<sup>-1</sup>, ou seja, para cada 1 kg ha<sup>-1</sup> de silício houve incremento de 0,11 sacas ha<sup>-1</sup> de milho. No presente trabalho, para a dose que obteve a máxima produção (3,2 L ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> com 171 g de Si l<sup>-1</sup>) em relação à testemunha, houve incremento de 18,3 sacas ha<sup>-1</sup>, ou seja, para cada 1kg ha<sup>-1</sup> de silício houve incremento de 33.3 sacas ha<sup>-1</sup>.

A redução de massa de mil grãos, da produtividade, da massa seca de colmo e da relação clorofila a/clorofila b e o aumento dos teores de clorofila a, b e total com altas dosagens de silicato de potássio vem demonstrar que altas dosagens desse sal possuem função fitotóxica dentro da planta, exemplificado nas doses testadas no presente experimento. Um possível desbalanço nutricional e de cargas dentro da planta também pode ser a causa de tal redução de caracteres agrônômicos. Segundo Alcarde et al. (1998) em relação à quantidade ou dose é fundamental levar também em consideração, principalmente no caso dos fertilizantes, a “Lei dos Incrementos Decrescentes”, que estabelece o seguinte: para cada incremento sucessivo da quantidade de fertilizante ocorre um aumento cada vez menor na produção. Em termos práticos, essa lei orienta no sentido de que as adubações não devem visar a Produtividade Máxima (PM), mas a produtividade que proporcione o maior lucro para o agricultor, ou seja, a Produtividade Máxima Econômica (PME). Portanto, seguindo o princípio da lei dos incrementos decrescentes ao se aumentar a dose excessiva de silicato de potássio, a produtividade tem uma tendência a não acompanhar tal acréscimo, visto que já foi alcançada a produtividade máxima econômica.

Um fator que também chama a atenção é o fato que a dose K<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> foliar de onde foi encontrada a massa de mil grãos não é a mesma onde foi encontrada a máxima produtividade. A dose onde

foi observada a maior massa de mil grãos foi a de 3,9 L ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> que colocada na equação do gráfico de produtividade fornece uma produtividade potencial de 10538,2 kg ha<sup>-1</sup>, sendo que a produtividade máxima real foi de 10580,4 kg ha<sup>-1</sup>. Essa diferença significa um aumento de 42,2 kg ha<sup>-1</sup>, que não foram obtidos diretamente do maior massa de grãos e sim de outros fatores como número de fileiras por espiga ou número de grãos por espiga. Esses caracteres são principalmente afetados pela genética do híbrido utilizado e portanto tem menor expressão que o massa dos grãos que tem correlação específica com o manejo adotado. O incremento de produtividade foi muito influenciado pela massa de mil grãos (99,6%), mais do que pelo outros caracteres (0,04%). Esse comportamento também foi observado por CAT(2007) onde a dose de 2,9 L ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> foi a que proporcionou a maior massa de mil grãos e quando calculada na equação da produtividade mostrou uma produtividade 24,48 kg ha<sup>-1</sup> menor. Essa pequena diferença evidencia que o caracter que mais influencia quando se trata de produtividade é a massa de mil grãos.

De maneira geral, a aplicação foliar do K<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> proporcionou incrementos significativos na produtividade do milho o que pode ser atribuído ao aumento da atividade fotossintética da planta, como verificado pela redução dos teores de clorofila a, b e total e aumento da relação clorofila a/b (Figura 1). Na literatura, vários trabalhos têm demonstrado que do Si aumenta a eficiência fotossintética das plantas (YOSHIDA et al., 1969; ADATIA; BESFORD, 1986; GONG et al., 2005). No entanto, o potássio, cátion acompanhante, é nutriente essencial e apresenta várias funções dentro da planta como controle osmótico e regulação da atividade enzimática da via glicolítica (BUCHANAN et al., 2001; TAIZ, ZEIGER; 2004; MALAVOLTA, 2006; EPSTEIN; BLOOM, 2006), sendo agente ativo dos incrementos observados no presente trabalho.

Para trabalhos futuros, é interessante isolar o efeito do potássio e do silício. Oliveira (2007) trabalhando com aplicação de diferentes fontes de potássio via foliar na cultura da soja observou, para a mesma dose de potássio, que o silicato apresentou maior eficiência agrônômica. O silicato de potássio proporcionou maior incremento de produção em relação ao fosfite de potássio, nitrato de potássio e sulfato de potássio. Devido ao exposto e ao apresentado no presente trabalho sabe-se que o

fornecimento conjunto desses nutrientes via foliar tem proporcionado incrementos na produtividade, não só do milho, como para várias culturas.

De maneira geral o que pode ser observado neste trabalho é que a aplicação de silicato de potássio tem influência na fotossíntese e na fisiologia da planta. Essa influência traz consigo aumentos de produtividades e de outros caracteres muito importantes como a massa de colmo e de mil grãos. Esse efeito da aplicação não pode ser analisado com um efeito singular do silício na arquitetura de plantas, lembrando sempre que o potássio tem papel primordial na fotossíntese, ativando a rubisco e na abertura dos estômatos. Portanto esse efeito em clorofila e fotossíntese deve ser analisado conjuntamente desses dois nutrientes essenciais. A melhor arquitetura de plantas e a resistência física da camada de sílica têm certamente influência na fisiologia da planta e já foi comprovada por vários autores com outras formas de aplicação de silício que não o silicato de potássio.

O efeito em produtividade e na massa de mil grãos é reflexo da melhoria da taxa fotossintética que foi promovida com a arquitetura de plantas e incidência correta de luz. Com o funcionamento balanceado da fotossíntese dentro dos terços da planta há uma maior produção de fotoassimilados e acúmulo destes nos grãos.

O efeito do silicato de potássio, portanto, é a combinação do efeito fisiológico, arquitetura e fotossíntese, com o reflexo em acúmulo de fotoassimilados e maiores produtividades finais.

## CONCLUSÕES

As doses de K<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> influenciaram nos teores de clorofila a, b, total (a + b) e relação a/b somente terço inferior, na massa seca de colmo, na massa de mil grãos e na produtividade.

A aplicação de silicato de potássio via foliar influenciou positivamente na produtividade e na massa de mil grãos e de colmo.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à UNAPROSIL pela disponibilização do produto SILI K, fonte do silicato de Potássio usado no experimento e pelo apoio aos trabalhos na linha de pesquisa com uso de Silício. Os autores agradecem ainda ao Grupo de Pesquisa com Silício da UFU.

---

**ABSTRACT:** Silicon is a micronutrient that confers resistance to physical attack by pests and pathogens, improves leaf architecture, increased photosynthetic rates. This work evaluated doses of potassium silicate foliar in maize,

cultivar 2B587, in season 2007/2008. The design was randomized blocks with seven doses of K<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> (0, 1, 2, 3, 4, 5 and 6 liters ha<sup>-1</sup>) applied during the V4 and V6, with four replications. Levels of chlorophyll, growth and productivity were evaluated. Significant difference in levels of chlorophyll was detected only in the lower third of the plant. The chlorophyll A / B was 4.0 with a maximum dose of 2.7 L ha<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>. No significant difference was detected on the dry mass of the plant. The dry mass of stem has a maximum weight of 61.66 grams with 4.0 L ha<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>. The mass of thousand grains was 360.2 grams with 3.9 L ha<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>. Productivity presented 10,580.4 kg ha<sup>-1</sup> with an increase of 1098.8 kg ha<sup>-1</sup> with application of 3.2 L ha<sup>-1</sup> of potassium silicate when compared to control. The foliar application of K<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> at the doses studied, has increased productivity and a thousand grain weight and the weight of the stem of the plant maize. The lowest levels of chlorophyll in the lower third show the best effect of light and photosynthetic efficiency of the plant of maize using potassium silicate, effect all of the elements silicon and potassium.

**KEYWORDS:** *Zea mays* L. Silicon. Chlorophyll. Potassium.

---

## REFERÊNCIAS

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

ALCARDE, J. C.; GUIDOLIN, J. A.; LOPES, A. S. **Os adubos e a eficiência das adubações**. 3. ed. São Paulo: ANDA, 1998. 35p. (Boletim Técnico, 6).

ATROCH, E. M. A. C.; SOARES, A. M.; ALVARENGA, A. A.; CASTRO, E. M. Crescimento, teor de clorofilas, distribuição de biomassa e características anatômicas de plantas jovens de *Bauhinia forficata*. submetidas a diferentes condições de sombreamento. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 25, n. 4, p. 853-862, 2001.

BUCHANAN, B. B.; GRUISSEM, W.; JONES, R. L. **Biochemistry & molecular biology of plants physiologists**. 3.ed. Rockville: American Society of Plant, 2001. 1367 p.

CARVALHO, J. C. **Análise de crescimento e produção de grãos da cultura do arroz irrigado por aspersão em função da aplicação de escórias de siderurgia como fonte de silício**. Botucatu, 2000. 119 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

CAT-Clube Amigos da Terra. **Boletim Técnico**: Resultados de Pesquisa - Safra 2005/2006. Uberlândia: CAT, 2006. Disponível em [http://www.catuberlandia.com.br/Boletim\\_tecnico\\_CAT\\_Safra\\_2005-06.pdf](http://www.catuberlandia.com.br/Boletim_tecnico_CAT_Safra_2005-06.pdf) . Acesso em: 18 de outubro de 2008

CAT-Clube Amigos da Terra. **Boletim Técnico**: Resultados de Pesquisa - Safra 2006/2007. Uberlândia: CAT, 2007. Disponível em [http://www.catuberlandia.com.br/Boletim\\_tecnico\\_CAT\\_Safra\\_2006-07.pdf](http://www.catuberlandia.com.br/Boletim_tecnico_CAT_Safra_2006-07.pdf) . Acesso em 18 de outubro de 2008.

CHAPPELLE, E. W.; KIM, M. S. Ratio analysis of reflectance spectra (RARS): an algorithm for a remote estimation of the concentrations of chlorophyll A, chlorophyll B, and carotenoids in soybean leaves. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 39, p. 239- 247, 1992.

CONAB- Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira - 12º Levantamento de Grãos 2007/2008**. Brasília: CONAB, 2008. Disponível em [http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/estudo\\_safra.pdf](http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/estudo_safra.pdf). Acesso em 05 de outubro de 2008

ENGEL, V. L.; POGGIANI, F. Estudo da concentração de clorofila nas folhas e seu espectro de absorção de luz em função do sombreamento em mudas de quatro espécies florestais nativas. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, São Paulo. v. 3, n. 1, p. 39-45, 1991.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição Mineral de Plantas: Princípios e Perspectivas**. Londrina: Editora Planta, 2006. 410 p.

FAQUIN, V. ; ANDRADE, Alex Teixeira . Nutrição mineral e diagnose do estado nutricional de hortaliças. 1. ed. Lavras: UFLA/FAEPE, 2004. v. 1. 88 p

FERREIRA, D.F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos, 2000, p. 255-258.

FIGUEIREDO, F.C. Nutrição, produção e qualidade da bebida do café sob pulverizações de silicato de potássio líquido solúvel. 2007. 97 p. Tese (Doutorado Solos e Nutrição de Plantas) – Curso de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

GONG, H. J.; ZHU, X. Y.; CHEN, K. M.; WANG, S. M.; ZHANG, C. C. Silicon alleviates oxidative damage of wheat plants in pots under drought. **Plant Science**, Limerick, v. 169, n. 2, p. 313-321, Aug. 2005.

INOUE, A.K., MELLO, R.N., NAGATA, T. & KITAJIMA, E.W. Characterization of Passionfruit woodiness virus isolates from Brasília and surrounding region, Brazil. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 20, p. 479-485, 1995.

KONDORFER, G. H.; DATNOFF, L. E. Papel do silício na produção de cana de açúcar. In: \_\_\_\_\_ **Secap 2000, Seminário de cana de açúcar de Piracicaba**, 5. Piracicaba. Julho/2000.

KORNDORFER G.H.; PEREIRA H. S.; CAMARGO M. S. **Silicato de cálcio e magnésio na agricultura**. Uberlândia: EDUFU, 2002. 23p. (Boletim técnico, 01).

KORNDORFER, G. H. Eficiência do silício como corretivo de solo. **Revista Campo e Negócios**, Uberlândia, ano 4, n. 42, p. 84-85, 2006.

KRAMER, T.; KOSLOWSKI, T. **Physiology of woody plants**. New York: Academic Press, 1979. 811p.

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

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 631 p.

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

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

MEBRAHTU, T.; HANOVER, J. W. Leaf age effects on photosynthesis and stomatal conductance of black locust seedlings. **Photosynthetica**, Praga, v. 25, n. 4, p. 537- 544, 1991.

MENGEL, K. E.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. 4. ed. Worblaufen-Bern: International Potash Institute, 1987. p. 573-588

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

MERRIGHI, A. L. N.; FERNANDES, A. L. T.; FIGUEIREDO, F. C. Novas pesquisas reforçam os efeitos do silício líquido solúvel aplicado via foliar em cafeeiros. **Revista Campo e Negócios**, Uberlândia, ano 4, n. 56, p. 25-27. 2007

PORRA, R. J.; THOMPSON, W. A.; KRIDEMANN, P. E. Determination of accurate extinction coefficients and simultaneous equations for assaying a and b extracted with four different solvents: verification of the concentration of chlorophylls standards by atomic absorption spectroscopy. **Biochimic et Biophysica Acta**, Amsterdam, v. 975, p. 384-394, 1989.

REIS, T.H.P.; FIGUEIREDO, F.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; BOTREL, P.P.; RODRIGUES, C.R. Efeito da associação silício líquido solúvel com fungicida no controle fitossanitário do cafeeiro. **Coffee Science**, Lavras, v. 3, n. 1, p. 76-80, jan./jun. 2008.

RODRIGUES, C. R.; FIGUEREDO, F.C.; RODRIGUES, T.M.; BOTREL, P.P. Sili-K supera prova de fogo. **Revista Campo e Negócios**, Uberlândia, ano 5, n. 67, p. 34-35. 2008

RODRIGUES, C. R.; RODRIGUES, T. M.; FIGUEIREDO, F. C. Aplicação de Silício Líquido Solúvel via Foliar em Batata: Aumento de 5 toneladas/ha de batata extra. **Revista Campo e Negócios HF**, Uberlândia, Ano 1, n. 10, p. 66-70. 2007b

RODRIGUES, C. R.; RODRIGUES, T. M.; FIGUEIREDO, F. C. Aumento de qualidade e produção com aplicação de silício solúvel. **Revista Campo e Negócios HF**, Uberlândia, Ano 2, n. 24, p. 34-40. 2007c

RODRIGUES, C. R.; RODRIGUES, T. M.; FIGUEIREDO, F. C. Aumento de qualidade e produção com aplicação de silício solúvel. **Revista Campo e Negócios HF**, Uberlândia, Ano 2, n. 24, p. 34-40. 2007a.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2004. 720 p.

VIDHYASEKARAN, P. **Fungal pathogenesis in plant and crops** – molecular biology and host defense mechanisms. New York: Marcel Dekker, 1997. 553p.

WHATLEY, J.M.; WHATLEY, F.R. **A luz e a vida das plantas**. São Paulo: EPU-EDUSP, 1982. 101p. (Temas de Biologia, 30).

YOSHIDA, S.; NAVASERO, S. A.; RAMIREZ, E. A. Effects of silica and nitrogen supply on some leaf characters of the rice plant. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 31, n. 1, p. 48-56, 1969.