

INFLUÊNCIA DA ESCÓRIA SIDERÚRGICA SOBRE TROCAS GASOSAS E PRODUÇÃO DE BIOMASSA DA CANA-DE-AÇÚCAR

Lúcio Bastos MADEIROS (1); Marcondes Lopes LEITE (2); Andreia de Oliveira VIEIRA (3); Lorrana Priscila BARBOSA SILVA (4); Boanerges Freire de AQUINO (5)

(1) IFAL; Campus Marechal Deodoro; R. Lorival Alfredo, Poeira, Marechal Deodoro/AL, CEP: 57.160-000;
e-mail: lucioagron@gmail.com

(2) IFMA; Campus São Luis-Maracanã; Av. dos Curiós, s/n, Vila Esperança, São Luís/MA,
CEP: 65095-460; e-mail: marcondeslosleite@hotmail.com

(3) IFMT; Campus Campos Novo do Parecis, Rod. MT 235, Km 12, Campo Novo do Parecis/MT, CEP: 78360-000;
e-mail: andreiaagronomia@hotmail.com

(4) IFMA; Campus São Luis-Maracanã, Av. dos Curiós, s/n, Vila Esperança, São Luís/MA, CEP: 65095-460;
e-mail: lorranaprisila@hotmail.com

(5) UFC; Campus do Pici, Departamento de Ciências do Solo, Fortaleza – CE, CEP: 60021-970;
e-mail: aquino@ufc.br

RESUMO

O experimento foi instalado em casa-de-vegetação, utilizando um dos solos mais representativos do Estado do Ceará em que se cultiva cana-de-açúcar, ARGISSOLO Vermelho-Amarelo. Objetivou-se avaliar a influência da escória siderúrgica sobre trocas gasosas e produção de biomassa de plantas de cana-de-açúcar cultivadas em solo franco-arenoso, aos 90 dias após a germinação. Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial (5x2) com cinco doses de escória siderúrgica: 0; 2,5; 5,0; 10,0 e 15,0 g vaso⁻¹, duas cultivares de cana-de-açúcar em quatro repetições. A escória (silicato de cálcio e magnésio) utilizada contém 11% de SiO₂ solúvel. Avaliaram-se as concentrações de silício na folha, produção de matéria seca da parte aérea, taxa de crescimento relativo da planta, uso eficiente da água, transpiração e condutância estomática da folha. Os resultados mostraram que a concentração foliar de silício aumentou, porém, não houve influência no crescimento e nas características fisiológicas das plantas.

Palavras-chave: argissolo, cálcio, casa-de-vegetação, silicato

1 INTRODUÇÃO

Nos dois primeiros séculos de desenvolvimento do Brasil, a cana-de-açúcar foi o principal produto de expansão e desenvolvimento. No Nordeste, assim como em novas áreas de cultivo como o Centro-Oeste do Brasil, tais lavouras empregam mão-de-obra qualificada e não qualificada, sendo a cana-de-açúcar uma das poucas culturas que envolve uma grande quantidade de diversos profissionais, como os trabalhadores rurais e técnicos que estudam e desenvolvem tecnologias de ponta de derivados da cana.

O silício é um elemento que ainda não se pode afirmar a sua essencialidade mas já há alguns estudos que mostram o seu benefício em gramíneas, como é o caso da cana-de-açúcar e o arroz, porém, poucos estudos foram realizados por cientistas e estudiosos até anos recentes. A razão provável reside no fato de não estar incluído no grupo de elementos considerados como essenciais para as plantas.

Dentre as principais fontes de silício para aplicação no solo há as escórias siderúrgicas, que são consideradas resíduos de mineração. O Brasil é o sexto maior produtor mundial de ferro-gusa (produzido nas siderúrgicas), com uma produção anual de cerca de 25 milhões de toneladas, o que corresponde à geração de cerca de 6,25 milhões de toneladas de escória por ano.

O silício é absorvido pela planta na forma de ácido monossilícico H_4SiO_4 (YOSHIDA, 1975; TAKAHASHI, 1995). No interior da planta, 99 % de silício acumulado encontra-se na forma de ácido silícico polimerizado, o restante, 1 %, encontra-se na forma coloidal ou iônica (YOSHIDA, 1975).

O silício ao ser absorvido pelas plantas é facilmente translocado no xilema e tem tendência natural a se polimerizar (BARBER & SHONE, 1966). Segundo Balastra et al. (1989), a forma de deposição do silício é amorfa e hidratada ($SiO_2 \cdot nH_2O$). Uma vez depositado, o silício torna-se imóvel e não mais se redistribui nas plantas. O conteúdo médio de silício nas raízes é um décimo da concentração do caule.

O silício é um elemento químico envolvido em funções físicas de regulação da evapotranspiração e capaz de formar uma barreira de resistência mecânica à invasão de fungos e bactérias no interior da planta, dificultando, também, o ataque de insetos sugadores e herbívoros (EPSTEIN, 1999).

O efeito da proteção mecânica do Silício nas plantas é atribuído, principalmente, a concentração desse elemento na forma de silício amorfo ($SiO_2 \cdot nH_2O$) na parede celular.

O acúmulo de silício nos órgãos de transpiração provoca a formação de uma dupla camada de silício cuticular, a qual, pela espessura, promove uma redução da transpiração e faz com que a exigência de água pelas plantas seja menor. Isso pode ser de grande importância para as gramíneas que crescem em regiões onde o período de estiagem é longo e severo (MA, 1988; MA, MIYAKE, TAKAHASHI, 2001; FARIA, 2000).

Segundo Agarie et al. (1998), a redução da transpiração, quando o silício é aplicado, estaria ligada ao adensamento da camada cuticular devido à concentração de silício, contudo, a contribuição na redução da transpiração, principalmente nos estômatos e camada cuticular, devido a presença do silício, é muito pequena como um todo.

Ainda segundo os mesmos autores, estudos recentes indicam que essa pequena redução na taxa de transpiração, pela aplicação de silício, é atribuída principalmente à redução da transpiração pelos poros estomáticos.

Segundo Silva & Casagrande (1983) e Savant et al. (1999) em folhas de cana-de-açúcar, ricas em silício, o elemento preencheria os espaços interfibrilares, reduzindo o movimento de água através da parede celular, causando aumento da economia de água na planta, pela diminuição da taxa de transpiração.

Takahashi (1995), trabalhando com arroz nas fases de perfilhamento e alongamento observou que a transpiração foi 1,3 vezes maior na ausência do silício quando comparada com o tratamento que recebeu esse elemento químico.

Van Der Vorm (1980) mediu a diferença no coeficiente de transpiração das culturas do arroz, trigo e soja, cultivados em solução nutritiva, com três doses de silício (0,75; 30 e 162 mg Si L⁻¹). No caso do arroz, espécie que mais absorveu silício, o coeficiente de transpiração diminuiu significativamente com a aplicação de Si na solução. A soja, por outro lado, apresentou uma baixa absorção de silício e, possivelmente, por esta razão não mostrou diferença significativa no coeficiente de transpiração com o aumento nas doses de Si.

A cana-de-açúcar (*Sacharum spp.*) responde favoravelmente à adubação com silício, particularmente nos solos pobres com esse elemento. Ross e Nababsing (1974) cita uma remoção (exportação) de até 408 kg ha⁻¹ de Si para uma produtividade de apenas 74 t ha⁻¹ de cana-de-açúcar (folhas + colmos). Como resultado desta enorme exportação de silício, uma diminuição temporária desse elemento disponível no solo pode ocorrer.

Rendimentos de cana-de-açúcar no Havaí obtiveram aumento entre 10 e 15% quando o silicato foi utilizado em solos com baixos teores de Si (AYRES, 1966). Estudos feitos por Deren et al. (1994) e Korndörfer; Colombo e Rodrigues (1998) demonstraram que existem grandes variabilidades, quanto à capacidade genética das cultivares em acumularem silício.

As folhas de cana-de-açúcar contendo menos de 0,5% de silício são frequentemente afetadas por um sintoma denominado “freckling”. A causa deste sintoma ainda não tem esclarecimentos, mas, a maioria dos pesquisadores atribui à falta de silício e ao desequilíbrio nutricional (FOX & SILVA, 1978).

Objetivou-se avaliar a influência do silício sobre as trocas gasosas e produção de biomassa de plantas de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) cultivadas em solo franco-arenoso, em casa-de-vegetação, aos 90 dias após a germinação.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa-de-vegetação utilizando um dos solos mais representativos do Estado do Ceará na cultura da cana-de-açúcar, o Argissolo Vermelho-Amarelo. Objetivando avaliar a influência do silício sobre as trocas gasosas e a produção de biomassa de plantas de cana-de-açúcar aos 90 dias após a germinação, cultivadas em solo franco-arenoso, utilizou-se o Delineamento Inteiramente Casualizado em esquema fatorial (5x2) com cinco doses de escória siderúrgica: 0; 2,5; 5,0; 10,0 e 15,0 g vaso⁻¹, duas cultivares (RB72454 e SP791011) de cana-de-açúcar e quatro repetições.

Após o décimo quinto dia de brotação, a altura das plantas foi determinada semanalmente, até o nonagésimo dia, medindo-se seu comprimento desde a borda do vaso até o ápice da folha mais desenvolvida. Nesse mesmo período determinou-se a taxa de crescimento relativo das plantas, através da relação do valor da altura total da planta inicial pela altura aumentada do dia em que se estava aferindo (cm cm⁻¹ dia⁻¹).

Decorridos noventa dias após a germinação, as plantas foram coletadas, fazendo-se cortes a uma altura de cinco centímetros, acima da superfície do solo. Imediatamente após a coleta, o material foi separado em folhas e colmos e a área foliar determinada com o auxílio de um medidor de área foliar (LI-3000A, LICOR). Em seguida, as folhas e colmos foram colocados em sacos de papel e levados à estufa de circulação forçada de ar a 65°C. Depois de setenta e duas horas, retirou-se e pesou-se o material para a determinação da massa seca do mesmo.

2.1 Eficiência do Uso da Água

A eficiência do uso da água entre o décimo quinto e nonagésimo dia, após a brotação, foi calculada pela relação entre a produção de matéria seca da parte aérea, determinada após secagem em estufa de circulação forçada de ar a 65°C, por setenta e duas horas, e, o consumo de água nesse período, determinado pela reposição da água dos vasos, com pesagem a cada três dias.

2.2 Condutância Estomática e Transpiração Foliar

Na determinação das trocas gasosas aos 90 dias após a germinação da cana-de-açúcar foram medidas, ao final do período experimental, a taxa de transpiração e a condutância estomática do vapor d'água na superfície da terceira folha totalmente desenvolvida, a partir do ápice, com o auxílio de um porômetro de difusão (LI1600, LICOR), entre 9:00 e 11:00 h, utilizando-se a temperatura, a umidade e a radiação ambientes.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Efeito do Silício sobre o Crescimento das Plantas

No que concerne às variáveis: altura da planta, taxa de crescimento relativo, área foliar e matéria seca da parte aérea, somente a área foliar foi afetada pela aplicação do silício (Tabela 1).

Tabela 1 - Resumo das análises de variância para altura de planta (ALT), taxa de crescimento relativo (TCR), área foliar (AF) e da matéria seca da parte aérea (MSPA) das cultivares RB72454 e SP791011

Causas de variação	GL	Quadrados Médios			
		ALT	TCR	AF	MSPA
Tratamentos ¹	4	460,44 ^{ns}	0,227e-01 ^{ns}	1257515**	37,36 ^{ns}
Cultivares ²	1	562,5 ^{ns}	0,119 ^{ns}	13844460**	331,37**
Tratamentos x cultivares	4	162,6875 ^{ns}	0,121e-02 ^{ns}	681350,1 ^{ns}	2,436 ^{ns}
Resíduo	50	235,00	0,925e-02	379978,30	13,99
CV(%)		10,32	1,96	35,18	14,82

* F significativo a 5% ($P < 0,05$); ** F significativo a 1% ($P < 0,01$); ^{ns} F não significativo ($P > 0,05$);
Tratamentos: cinco níveis de adubações com fonte de Silício (0,000; 0,275; 0,550; 1,100 e 1,650 g SiO₂ vaso⁻¹)

Apesar das alterações verificadas, não houve uma tendência consistente para as variáveis analisadas entre as doses de escória siderúrgica, houve, no entanto, uma diferença significativa da área foliar e da produção de matéria seca da parte aérea entre as cultivares RB72454 e a SP791011 aos 90 dias após a germinação (Figura 1).

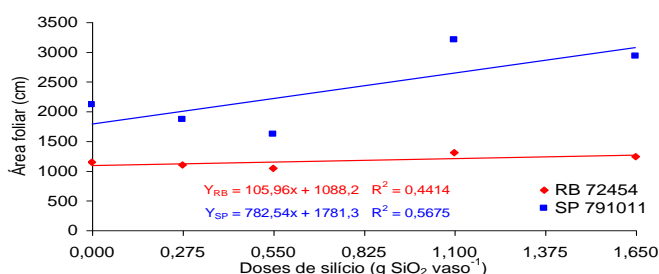


Figura 1 - Efeito das doses de Silício sobre o crescimento da área foliar das cultivares RB72454 e SP791011

Na Figura 1 tem-se a relação entre o crescimento da área foliar e as doses de silício aplicadas no solo em que se desenvolveram as cultivares de cana-de-açúcar. Observa-se que ao se aplicar 1,650 g SiO₂ por vaso, na cultivar SP791011, tem-se uma área foliar de 2924 cm² e uma produção de matéria seca de 27,588 g o que equivale a um aumento de 814 cm² da área foliar e 0,913 g na produção de matéria seca da parte aérea, em relação ao tratamento que não recebeu nenhuma aplicação de escória.

Na cultivar RB72454 ao aplicar 1,650 g SiO₂ por vaso resultou em uma área foliar de 1238 cm² e uma produção de matéria seca de 22,453 g, o que equivaleu a um acréscimo de 94 cm² de área foliar e 0,4 g de matéria seca da parte aérea, em relação ao tratamento que não foi aplicado escória.

Percebeu-se que a cultivar RB72454 teve a área foliar 1686 cm² menor que a cultivar SP791011, o que equivale uma diferença de 57,66 %. Tal fato afetou a produção de matéria seca da parte aérea da cultivar RB72454, a qual apresentou uma diferença de 5,535 g menor que a cultivar SP791011, quando se aplicou a maior dose de escória siderúrgica por vaso.

3.2 Efeito do Silício sobre as Características Fisiológicas da Planta

A análise de variância das variáveis, condutância foliar, transpiração foliar e eficiência do uso da água revelaram que a aplicação de silício afetou significativamente somente a transpiração foliar (Tabela 2).

Tabela 2 - Resumo das análises de variância para condutância estomática (CDE), transpiração foliar (TP) e eficiência do uso da água (EUA) das cultivares RB72454 e SP791011

Causas de Variação	GL	Quadrados Médios		
		CDE	TP	EUA
Tratamentos ¹	4	0,0075 ^{ns}	8,295*	204,82 ^{ns}
Cultivares	1	0,00345 ^{ns}	3,373*	1313,32**
Tratamentos x cultivares	4	0,0189 ^{ns}	8,266*	85,98 ^{ns}
Resíduo	50	0,0383	11,67	132,31
CV(%)		28,51	23,02	5,08

* F significativo a 5 % (P<0,05); ** F significativo a 1% (P<0,01); ^{ns} F não significativo (P>0,05);

Tratamentos: cinco níveis de adubações com fonte de Silício (0,000; 0,275; 0,550; 1,100 e 1,650 g SiO₂/vaso⁻¹)

Analisando a variação da transpiração, isoladamente, por cultivar, observou-se que não existiu diferença significativa entre os tratamentos da cultivar RB72454, no entanto houve uma tendência de aumento da transpiração devido a doses crescentes de silício no solo. Na cultivar SP791011 essa diferença foi desuniforme entre as doses de silício testadas (Tabela 3).

Observou-se que devido a aplicação da maior dose de escória siderúrgica, a cultivar RB72454 apresentou condutância estomática de 0,165 cm s⁻¹, transpiração de 3,42 µg cm⁻² s⁻¹ e eficiência do uso da água de 222,80 mL dia⁻¹, o que equivale a um acréscimo de, respectivamente, 0,018 cm s⁻¹, 0,89 µg cm⁻² s⁻¹ e um decréscimo de 2,74 mL dia⁻¹ em relação à testemunha.

Ao aplicar a maior dose de escória siderúrgica, a cultivar SP791011 apresentou uma condutância estomática de 0,167 cm s⁻¹, transpiração de 3,39 µg cm⁻² s⁻¹ e eficiência do uso da água de 226,80 mL dia⁻¹, o que equivale a um acréscimo respectivamente de 0,037 cm s⁻¹ e 0,28 µg cm⁻² s⁻¹ e um decréscimo de 15,12 mL dia⁻¹ em relação à testemunha, que não recebeu nenhuma dose de escória.

Observa-se que ao aplicar a maior dose de escória, a cultivar SP791011 apresentou uma transpiração 0,03 µg cm⁻² s⁻¹ menor que a cultivar RB72454, quanto à condutância estomática a cultivar SP791011 apresentou 0,035 cm s⁻¹ menor que a cultivar RB72454 e, em relação a eficiência do uso da água, a cultivar SP791011 apresentou melhor resultado com um acréscimo de 4 mL dia⁻¹ em relação a cultivar RB72454.

Tabela 3 - Médias da condutância estomática (CDE), transpiração foliar (TP) e eficiência do uso da água (EUA) das cultivares RB72454 e SP791011

Cultivar	Tratamentos	CDE	TP	EUA
	(g SiO ₂ vaso ⁻¹)	(cm s ⁻¹)	(µg cm ⁻² s ⁻¹)	(mL dia ⁻¹)
RB72454	0,000	0,147 ^a	2,53a	225,54a
	0,275	0,143 ^a	3,49a	218,03a
	0,550	0,103 ^a	2,30a	213,57a
	1,100	0,130 ^a	2,49a	224,18a
	1,650	0,165 ^a	3,42a	222,80a
	Média	0,133 ^a	2,772B	220,83B
SP791011	0,000	0,130 ^a	3,11b	241,92a
	0,275	0,170 ^a	3,93ab	237,05a
	0,550	0,213 ^a	4,89a	225,88a
	1,100	0,113 ^a	2,23b	229,78a
	1,650	0,167 ^a	3,39ab	226,80a
	Média	0,158 ^a	3,509A	232,29A

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05)

A variabilidade nos valores das médias de transpiração, em ambas as cultivares, não permitiu estabelecer uma relação matemática entre essa variável e as doses de silício (Figura 2). No entanto, estudo conduzido com arroz por Agarie et al. (1998) constatou uma menor transpiração dos poros estomáticos, quando se aplicou silicato de cálcio no solo. Quando se comparou as duas cultivares, a RB apresenta um nível de transpiração menor do que a da cultivar SP (Tabela 3).

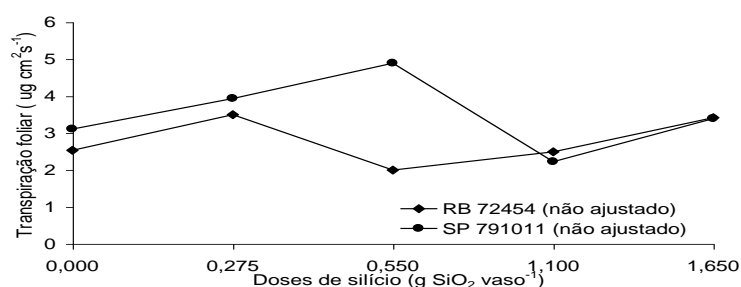


Figura 2 - Efeito das doses de Silício sobre a transpiração foliar das cultivares RB72454 e SP791011

4 CONCLUSÕES

A aplicação de silício no solo, durante os primeiros 90 dias de cultivo, praticamente não influenciou o crescimento e as características fisiológicas da planta.

REFERÊNCIAS

- AGARIE, S.; UCHIDA, H.; AGATA, W.; KUBOTA, F.; KAUFMAN, P. B. Effects of silicon on transpiration and leaf conductance in rice plants (*Oryza sativa* L.). **Plant Production Science**. v. 1, n. 2, p. 89-95, 1998.
- AYRES, A. S. Calcium silicate slag as a growth stimulant for sugarcane on low-silicon soils. **Soil Science**. v. 101, n. 3, p. 216-227, 1966.
- BALASTRA, M. L. F.; PEREZ, C. M.; JULIANO, B. O.; VILLREAL, P. Effects of silica level on some properties of *Ori-a sativa* straw and hult. **Canadian Journal of Botany**. Ottawa, v. 67, p. 2356-2363, 1989.
- BARBER, D. A.; SHONE M. G. T. The absorption of silica from aqueous solutions by plants. **Journal of Experimental Botany**. Oxford, v. 17, p. 569-578, 1966.
- DEREN, C. W.; DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; MARTIN, F. G. Silicon Concentration, Disease Response, and Yeld Componenets of Rice Genotypes Grown on Flooded Organic Histosols. **Crop Science**. v. 34, p. 733-37, may-june, 1994.
- EPSTEIN, E. Silicon. **Annual Reviel Plant Physiology and Plant Molecular Biology**. n. 50, p. 641-664, 1999.
- FARIA, R, J. **Influência do silicato de cálcio na tolerância do arroz de sequeiro ao déficit hídrico do solo**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2000. 47p. Dissertação de Mestrado.
- FOX, R. L.; SILVA, V. A. 1978. Symptons of plant malnutrition silicon an agronomically essential nutrient for sugarcane. Agron. Assoc, **Soil Science**. Univ. Hawaii, (Série 8).
- KORNDÖRFER, G. H.; COLOMBO, C. A.; RODRIGUES, L. L. Effect of thermo-phosphate as silicon source for sugarcane. **Inter-American Sugar Cane Seminar**. 9-11 Sept. Miami, FL. 1998.
- MA, J. F. **Study on physiological role of silicon in rice plants**. Kyoto: University, 1988. Master thesis.
- 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. **Silicon in Agriculture**. Studies in plant science. Amsterdam: Elsevier, 2001. v. 8 p. 17-39.

ROSS, L.; NABABSING, P. and Wong You Cheong, Y. Residual effect of calcium silicate applied to sugarcane soils. **In: International Cong. the Soc. Sugar Cane Technol.** 15, Durban, Proc., v. 15 n. 2 p. 539-542, 1974.

SAVANT, N. K.; KORNDÖRFER G. H.; SNYDER, G. H.; DATNOFF, L. E. Silicon Nutrition and Sugarcane Production: A review. **Journal of Plant Nutrition.** New York, NY. v. 12, n. 22, p. 1853-1903. 1999.

SILVA, L. C. F.; CASAGRANDE, J. C. Nutrição mineral da cana-de-açúcar (macronutrientes). In: INSTITUTO DO AÇÚCAR E ÁLCOOL. **Adubação da cana-de-açúcar no Brasil.** Piracicaba: PLANALSUCAR, 1983. p. 77-96. (Coleção, 2).

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

VAN DER VORM, P. D. J. Uptake of Si by five plant species as influenced by variations in Si-supply. **Plant Soil.** v. 56, p. 153-156, 1980.

YOSHIDA, S. **The physiology of silicon in rice.** Taipei: Food and Fertilization Technology Center, 1975. (FFTC. Technical Bulletin, 25).