

## Índice de clorofila em plantas de arroz de terras altas submetidas a estresse por alumínio e aplicação de silício <sup>(1)</sup>

**Beatriz Gallucci Mazziero<sup>(2)</sup>; Dirceu Maximino Fernandes<sup>(3)</sup>; Lucas Barbosa de Freitas<sup>(4)</sup>; Suelen Cristina Mendonça Maia<sup>(4)</sup>.**

<sup>(1)</sup> Trabalho executado com recursos da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo.

<sup>(2)</sup> Graduanda; Departamento de Solos e Recursos Ambientais, Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA), Universidade Estadual Paulista (Unesp), Botucatu, SP, bgmazziero@fca.unesp.br; <sup>(3)</sup> Professor Assistente Doutor – Bolsista CNPq; Departamento de Solos e Recursos Ambientais, FCA/UNESP, dmfernandes@fca.unesp.br; <sup>(4)</sup> Doutorandos; Departamento de Solos e Recursos Ambientais, FCA/UNESP, lucasbf@fca.unesp.br e suelen.maia@fca.unesp.br.

**RESUMO:** A aplicação de Si em plantas tem promovido além de melhor incidência de luz, maior absorção de CO<sub>2</sub> e diminuição da transpiração excessiva, aumento do conteúdo de clorofila nas folhas e permitindo incremento da taxa fotossintética, em especial em situação de estresse para a planta. Desta maneira, objetivou-se avaliar o índice SPAD de plantas de arroz de terras altas sob estresse por Al<sup>3+</sup> e aplicação de Si, em três experimentos (solução nutritiva, solo médio arenoso e médio argiloso). O delineamento experimental foi o mesmo para os três experimentos, utilizando blocos casualizados, em esquema fatorial 2x5, com quatro repetições. Os tratamentos foram dois cultivares de arroz de terras altas, BRS Talento - não tolerante e Guarani - tolerante ao Al<sup>3+</sup> e cinco doses de Si (0, 30, 60, 90 e 120 mg dm<sup>-3</sup>). O Si não contribuiu para o aumento do índice SPAD das plantas sob estresse por Al<sup>3+</sup>.

**Termos de indexação:** índice SPAD, clorofila, clorofilômetro

### INTRODUÇÃO

Os valores de índice SPAD obtidos pelo clorofilômetro são proporcionais ao teor de clorofila presente na planta, estes por sua vez tem boa correlação na folha (Silveira et al., 2003; Godoy et al., 2008). Assim, dependendo do teor de N na folha pode haver redução ou aumento no teor de clorofila. Portanto, a utilização de elementos benéficos que possam melhorar a arquitetura da planta e consequentemente sua fotossíntese seria de grande interesse.

Plantas de arroz de terras altas absorvem e acumulam elevadas quantidades de silício (Si) (Pereira et al., 2007), elemento este considerado benéfico (Epstein, 1999). Nas plantas seu efeito mais evidente é observado em cultivos sob condições de estresse (Ma, 2004). Isto ocorre porque o Si é capaz de proteger as plantas contra

vários estresses bióticos e abióticos (Ma & Yamaji, 2006), entre eles o estresse por Al<sup>3+</sup>. A adubação com Si tem sido interessante no intuito de insolubilizar o Al<sup>3+</sup> pela interação do Si x Al<sup>3+</sup> (Freitas et al., 2012).

Além disso, a acumulação de silício na cutícula (epiderme) determina alterações na arquitetura das plantas, podendo ficar mais ereta favorecendo assim, a incidência de luz sob as folhas baixas por diminuir o auto-sombreamento e evitando o acamamento (Epstein & Blomm, 2006).

Em plantas sob estresse, o uso do Si tem promovido além de melhor incidência de luz, maior absorção de CO<sub>2</sub> e diminuição da transpiração excessiva, permitindo incremento da taxa fotossintética (Savant et al., 1997) e aumento do conteúdo de clorofila nas folhas (Silva et al., 2012).

Dessa forma a aplicação de Si pode ser uma ferramenta interessante, em especial solos com altos níveis de Al<sup>3+</sup>, visando diminuir a toxidez por esses elemento, consequentemente aumentar a eficiência fotossintética das plantas. Assim, o objetivo desse trabalho foi avaliar o índice SPAD de plantas de arroz de terras altas sob estresse por Al<sup>3+</sup> e aplicação de Si, em três experimentos (solução nutritiva, solo médio arenoso e médio argiloso).

### MATERIAL E MÉTODOS

Foram conduzidos três experimentos, sendo o primeiro em casa de vegetação (Experimento I) e solução nutritiva, o segundo e o terceiro em túnel plástico utilizando vaso com solo Latossolo Vermelho Escuro, textura média arenosa (Experimento II) e textura média argilosa (Experimento III), respectivamente. Os experimentos foram conduzidos junto ao Departamento de Recursos Naturais – Ciência do Solo da Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista - UNESP - Campus de Botucatu.

O delineamento experimental foi o mesmo para os três experimentos, utilizando blocos

casualizados, em esquema fatorial 2x5, com quatro repetições. Os tratamentos foram dois cultivares de arroz de terras altas, BRS Talento - não tolerante e Guarani - tolerante ao  $Al^{3+}$  e cinco doses de Si (0, 30, 60, 90 e 120  $mg\ dm^{-3}$ ).

### Experimento I

Foi utilizada solução nutritiva descrita por Furlani & Furlani (1988) e vasos com capacidade para quatro litros, com seis plantas por vaso. Após o período inicial de desenvolvimento das plantas (duas semanas), a solução nutritiva foi trocada e os tratamentos com Si foram adicionados, permanecendo assim por duas semanas. Posteriormente trocou-se a solução nutritiva, retirando o Si e adicionando 40  $mg\ dm^{-3}$  de  $Al^{3+}$ , sob a forma de  $AlK(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ . Portanto, as plantas ficaram quatorze dias na solução nutritiva com Si e em seguida, trocou-se a solução retirando o Si e adicionando o  $Al^{3+}$ , permanecendo mais sete dias na solução nutritiva. Após os sete dias em contato com o  $Al^{3+}$  realizou-se a colheita do experimento.

Utilizou-se o clorofilômetro portátil (SPAD-502) para as avaliações de índice SPAD, este que foi avaliado duas vezes no período de condução do experimento. A primeira após as plantas estarem em contato com o Si por 14 dias e a segunda após as plantas estarem em contato com o  $Al^{3+}$  por sete dias. A folha utilizada para as avaliações foi a última folha completamente expandida.

### Experimento II e III

Os solos utilizados nos experimentos II e III foram de baixa fertilidade natural e alumínico. O solo utilizado no experimento II foi classificado como Latossolo Vermelho Escuro, textura média arenosa, que apresentava as seguintes características químicas antes da instalação do experimento: 7  $mg\ dm^{-3}$  de fósforo; 15  $g\ dm^{-3}$  de MO; 4,1 pH em  $CaCl_2$ ; 0,7; 5; 3; 69; 11; 78  $mmol_c\ dm^{-3}$  de K, Ca, Mg, H+Al,  $Al^{3+}$ , CTC respectivamente; 2  $mg\ kg^{-1}$  de Si e  $V\% = 11$ .

Para o experimento III foi utilizado solo classificado como Latossolo Vermelho Escuro, textura média argilosa, apresentando as seguintes características químicas antes da instalação do experimento: 5  $mg\ dm^{-3}$  de fósforo; 22  $g\ dm^{-3}$  de MO; 4,2 pH em  $CaCl_2$ ; 0,8; 4; 4; 77; 10; 86  $mmol_c\ dm^{-3}$  de K, Ca, Mg, H+Al,  $Al^{3+}$ , CTC respectivamente; 6  $mg\ kg^{-1}$  de Si e  $V\% = 10$ .

Toda a condução dos experimentos II e III foram as mesmas, na qual foram utilizados como parcela experimental vasos com capacidade para 40 litros de solo (0,4 x 0,4 x 0,3 m). Antes da semeadura as sementes foram tratadas com carboxin + tiram (60 + 60 g do i.a. por 100 kg de sementes) e tiametoxam (140 g do i.a. por 100 kg de semente). A semeadura dos dois cultivares de arroz foi realizada no dia 08

de janeiro de 2010, utilizando-se 100 sementes em 0,40 m por unidade experimental. Após a emergência das plântulas foi realizado desbaste, de modo que cada unidade experimental apresentasse 30 plantas.

Na adubação de semeadura foi aplicado 33, 300 e 150  $mg\ dm^{-3}$  de N, P e K respectivamente. Como fonte de macronutrientes utilizou-se uréia, superfosfato triplo, cloreto de potássio e cloreto de magnésio. O N foi aplicado duas vezes em cobertura usando a mesma quantidade da semeadura. O cloreto de magnésio foi aplicado visando fornecer Mg ao solo, na dose de  $\frac{1}{4}$  do Ca fornecido pelo superfosfato triplo aplicado. A fonte de Si utilizada foi o silicato de potássio, o qual apresentou as seguintes garantias: 15% de Si; 25% de  $SiO_2$  e 15% de  $K_2O$ .

O florescimento pleno dos cultivares ocorreu aos 83 e 101 dias após a semeadura (DAS) para o Guarani e BRS Talento respectivamente, nessa época foram realizadas as avaliações utilizando o clorofilômetro. Foram aferidas cinco folhas bandeiras por parcela experimental.

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F. Os cultivares foram comparados pelo teste F ( $p < 0,05$ ), enquanto que os efeitos das doses de Si foram avaliados por meio de análise de regressão.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Experimento I

A aplicação de Si não influenciou a leitura de índice SPAD, mesmo após as plantas estarem em contato com o Si ou após  $Al^{3+}$  (Figura 1A e B). O Si não contribuiu para o aumento do índice SPAD nas folhas de arroz de terras altas em ambos cultivares, dessa forma contrariando a hipótese formulada que o Si pode incrementar o conteúdo de clorofila nas folhas de plantas em estresse (Silva et al., 2012), em especial, nesse caso estresse por  $Al^{3+}$ .

Ao comparar os cultivares quanto ao índice SPAD, o BRS Talento apresentou valores mais elevados tanto nas plantas inicialmente em contato com o Si quanto posteriormente com o  $Al^{3+}$  (Tabela 1).

### Experimento II e III

A aplicação de Si não alterou o índice SPAD no experimento II (solo textura média arenosa) (Figura 2A). Confirmando que na presença de  $Al^{3+}$  em solo de textura média arenosa, as plantas sob estresse e com aplicação de Si não apresentam alteração no índice SPAD das folhas. Resultados que estão de acordo com Freitas et al. (2011), aplicaram doses crescentes de Si na cultura do milho e não observaram aumento do índice SPAD na folha.

Em contrapartida, no experimento III, com solo

médio argiloso, ao aplicar Si houve decréscimo do índice SPAD do cultivar tolerante ao  $Al^{3+}$  (Figura 2B). Isso pode estar relacionado ao comportamento do teor de Mg na folha bandeira deste cultivar, pois conforme aumentou-se as doses de Si houve decréscimo no teor de Mg na folha bandeira. O Mg pode ter influenciado o decréscimo do índice SPAD devido a este macronutriente fazer parte da molécula central da clorofila (Mengel & Kirkby, 1979).

Já no solo argiloso, a relação inicial era de 4  $mmol_c dm^{-3}$  de Ca para 4  $mmol_c dm^{-3}$  de Mg, na qual foi feita a mesma aplicação de Mg ( $\frac{1}{4}$  do Ca) para balancear o Ca contido no superfosfato triplo. Esta por sua vez, pode ter causado desbalanceamento das bases no solo provocando desequilíbrio no complexo de troca (Sousa & Lobato, 2004) e influenciando a absorção de Mg pela planta. Talvez, no solo argiloso fosse necessário aplicação de Mg em quantidade diferente do solo arenoso.

Ainda, há possibilidade de que também tenha ocorrido interação entre o N e o Si, onde o  $H_3SiO_4$  e o  $NO_3^-$ , podem concorrer pelo mesmo sítio de absorção (Wallace, 1989), o que pode ter diminuído o acúmulo de N na parte aérea e por consequência o índice SPAD. É importante citar que essa interação e competição pelo mesmo sítio de absorção ocorreu somente no cultivar Guarani, o que evidencia que essa interação negativa ocorre somente em alguns cultivares.

Na comparação entre cultivares, para o solo de textura média arenosa, o cultivar Guarani apresentou maior índice SPAD (Tabela 2), o que era esperado para as condições do experimento, com solo contendo altos teores de  $Al^{3+}$ . No experimento III, com solo de textura média argilosa, o cultivar BRS Talento apresentou maior índice SPAD (Tabela 2).

## CONCLUSÕES

O Si não contribui para o aumento do índice SPAD das plantas sob estresse por  $Al^{3+}$ .

## AGRADECIMENTOS

À agência FAPESP pelo financiamento do projeto.

## REFERÊNCIAS

EPSTEIN, E. Silicon. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 50:641-664, 1999.

EPSTEIN, E. & BLOMM, A. J. Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas. 2ª ed. Londrina: Editora Planta, 2006. 403p.

FREITAS, L. B.; COELHO, E. M.; MAIA, S. C. M.; SILVA, T. R. B. Adubação foliar com silício na cultura do milho. Revista Ceres, 58:262-267, 2011.

FREITAS, L. B.; FERNANDES, D. M.; MAIA, S. C. M. Interação silício e alumínio em plantas de arroz de terras altas cultivadas em solo aluminoso. Revista Brasileira de Ciência do solo, 36:507-516, 2012.

FURLANI, P. R. & FURLANI, A. M. Composição de pH de solução nutritiva para estudos fisiológicos e seleção de plantas em condições nutricionais adversas. Campinas: Instituto Agrônomo, 1988. p. 21-26. (Boletim técnico, 121).

GODOY, L. J. G.; SANTOS, T. S.; VILLAS BÔAS, R. L.; LEITE JUNIOR, J. B. Índice relativo de clorofila e o estado nutricional em nitrogênio durante o ciclo do cafeeiro fertirrigado. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 32:217-226, 2008.

MA, J. F. Role of silicon in enhancing the resistanc of plants to biotic and abiotic stresses. Soil Science & Plant Nutrition, 50:11-18, 2004.

Mengel, K. & Kirkby, E. A. Principles of plant nutrition. 2.ed. Bern: International Potash Institute, 1979. 593p.

PEREIRA, H. S.; BARBOSA, N. C.; CARNEIRO, M. A. C.; KORNDÖRFER, G. H. Avaliacao de fontes e de extratores de silicio no solo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 42:239-247, 2007.

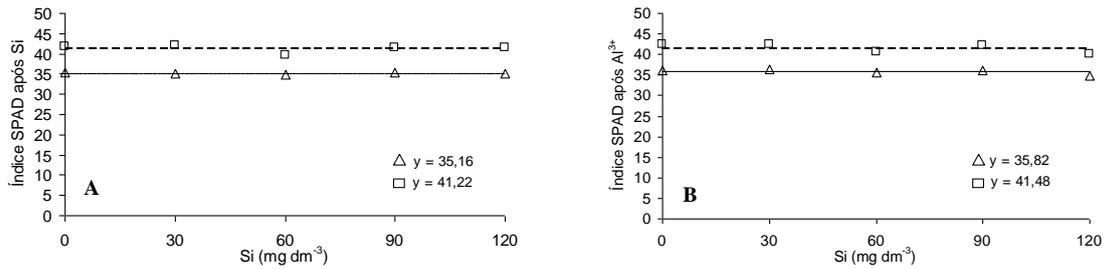
SAVANT, N. K.; SNYDER, G. H.; DATNOFF, L. E. Silicon management and sustainable rice production. Advances in Agronomy, 58:151-199, 1997.

SILVA, O. N.; LOBATO, A. K. S.; ÁVILA, F. W.; COSTA, R. C. L.; OLIVEIRA NETO, C. F.; SANTOS FILHO, B. G.; MARTINS FILHO, A. P.; LEMOS, R. P.; PINHO, J. M.; MEDEIROS, M. B. C. L.; CARDOSO, M. S.; ANDRADE, I. P. Silicon-induced increase in chlorophyll is modulated by the leaf water potential in two water-deficient tomato cultivars. Plant Soil Environment, 58:481-486, 2012.

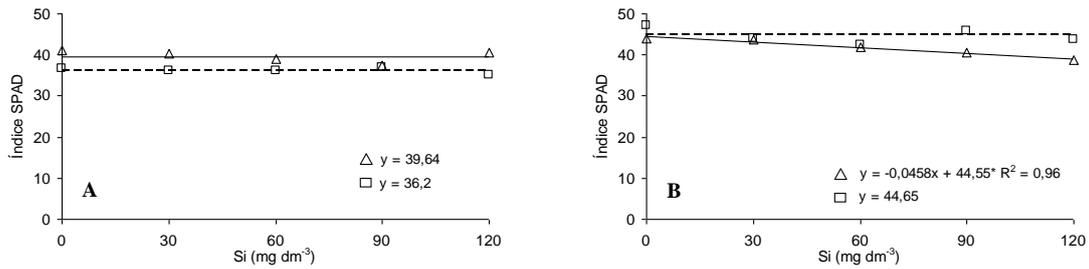
SILVEIRA, P. M.; BRAZ, A. J. B. P.; DIDONET, A. D. Uso do clorofilômetro como indicador da necessidade de adubação nitrogenada no feijoeiro. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 38:1083-1087, 2003.

SOUSA, D. M. G. & LOBATO, E. Cerrado: Correção do solo e adubação. 2.ed. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004. 416p.

WALLACE, A. Relationships among nitrogen, silicon, and heavy metal uptake by plants. Soil Science, 147:457-460, 1989.



**Figura 1.** Índice SPAD, após 14 dias em contato com silício (A) e após 7 dias em contato com  $Al^{3+}$  (B) docultivares de arroz Guarani ( $\Delta$ ) e BRS Talento ( $\square$ )



**Figura 2.** Índice SPAD, experimento solo arenoso (A) e experimento solo argiloso (B) dos cultivares de arroz Guarani ( $\Delta$ ) e BRS Talento ( $\square$ ) em função de doses de silício. \* e \*\* são, respectivamente, significativos a 5% e 1% pelo teste t

**Tabela 1.** Média do índice SPAD na folha das plantas após 14 dias em contato com silício e após 7 dias em contato com alumínio nos cultivares de arroz Guarani e BRS Talento

Cultivares	Silício	Alumínio
----Índice SPAD ----		
Guarani	35,2b	35,8b
BRS Talento	41,2a	41,5a
CV(%)	2,74	4,77

Médias seguidas de letras diferentes, dentro de cada parâmetro, diferem entre si, pelo teste t a 5% de probabilidade

**Tabela 2.** Média do índice SPAD na folha bandeira das plantas em função da aplicação de Si nos cultivares de arroz Guarani e BRS Talento cultivados em vasos com solo médio arenoso e médio argiloso

Cultivares	Solo arenoso	Solo argiloso
	----Índice SPAD ----	
Guarani	39,6a	41,8b
BRS Talento	36,2b	44,6a
CV(%)	6,6	8,6

Médias seguidas de letras diferentes, dentro de cada parâmetro, diferem entre si, pelo teste t a 5% de probabilidade