

ADUBAÇÃO SILICATA NO SULCO E NITROGENADA EM COBERTURA NO ARROZ DE SEQUEIRO E IRRIGADO POR ASPERSÃO

SILICON IN ROW AND NITROGEN IN TOPDRESSING FERTILIZATION ON RICE UNDER DRY LAND AND SPRINKLER IRRIGATION CONDITIONS

Angela Cristina Camarin Alvarez ARTIGIANI¹; Carlos Alexandre Costa CRUSCIOL²; Adriano Stephan NASCENTE³; Orivaldo ARF⁴; Rita de Cassia Félix ALVAREZ⁵

1. Engenheira Agrônoma, Doutora, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Departamento de produção vegetal, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Campus Botucatu, SP, Brasil; 2. Professor Titular, Doutor, UNESP, Departamento de produção vegetal, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Campus Botucatu, SP, Brasil, Bolsista do CNPq; 3. Pesquisador Doutor, Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO, Brasil, adriano.nascente@embrapa.br; 4. Professor titular, Doutor, UNESP, Faculdade de Engenharia, Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Socioeconomia, Campus Ilha Solteira, SP, Brasil, Bolsista do CNPq; 5. Professora, Doutora, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), Unidade Universitária de Chapadão do Sul, MS, Brasil.

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da aplicação do silício no sulco de semeadura, combinado com adubação nitrogenada em cobertura, na produtividade de grãos, nos teores de silício no solo, no tecido vegetal e teor de nitrogênio na planta, em condições de sequeiro e irrigado. O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados com parcelas subdivididas e quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos pelos sistemas de cultivo (sequeiro e irrigado) e as subparcelas pela combinação do silício (0 e 100 kg ha⁻¹), tendo como fonte o silicato de Ca e Mg (com 23% de SiO₂) e quatro doses de nitrogênio (ureia) em cobertura (0, 30, 60 e 90 kg ha⁻¹). A aplicação de silício no sulco de semeadura demonstrou ser técnica viável, pois proporcionou aumento significativo do teor desse elemento na zona de crescimento radicular da cultura do arroz. A aplicação de silício no sulco não altera o teor do elemento e nem a nutrição nitrogenada em plantas de arroz. A adubação nitrogenada em cobertura reduz os teores de silício e aumenta a nutrição nitrogenada nas plantas de arroz. A aplicação de silício no sulco de semeadura não proporcionou incremento na produtividade de grãos de arroz. Quando não houve limitação hídrica a adubação nitrogenada proporcionou incremento linear na produtividade de grãos, enquanto que sob deficiência hídrica o efeito da fertilização nitrogenada foi limitada.

PALAVRAS-CHAVE: *Oryza sativa* L.. Silicato. Sistemas de cultivo. Nutrição de plantas.

INTRODUÇÃO

O cultivo de arroz no ecossistema terras altas vem crescendo em importância mundial, uma vez que a água disponível para a irrigação dessa cultura vem reduzindo, devido à maior demanda populacional e industrial, principalmente na Ásia onde concentra 90% da produção mundial desse cereal (PRASAD, 2011; NASCENTE et al., 2012a, 2012b, 2013a, 2013b). No Brasil, esse ecossistema ocupa aproximadamente 65% da área total cultivada com a cultura, contribuindo com apenas 41% da produção nacional (GUIMARÃES et al., 2010; CONAB, 2011). A baixa produtividade do arroz no ecossistema de terras altas é resultado da distribuição irregular de chuvas nas principais regiões produtoras, o que compromete as fases em que o suprimento adequado de água é indispensável, acarretando reduções significativas na produtividade de grãos (SANTOS et al., 2006; CRUSCIOL et al., 2013).

Além disso, o déficit hídrico causa redução na qualidade de grãos, quando comparado com os oriundos do cultivo irrigado por inundação (GUIMARÃES et al., 2010). Assim, verifica-se que

a porcentagem de espiguetas chochas e gessadas aumenta consideravelmente quando a deficiência hídrica ocorre durante as fases de emissão da panícula e enchimento dos grãos (SANT'ANA, 1989; HEINEMANN; STONE, 2009). Com o uso da irrigação, a planta de arroz não fica sujeita à deficiência hídrica e, como resultado, o processo de enchimento dos grãos é contínuo, acarretando em maior número de espiguetas granadas por panícula e massa de grãos (GIÚDICE et al., 1974; PINHEIRO et al., 1985; GUIMARÃES et al., 2010). Rodrigues et al. (2004) relataram que maior quantidade e melhor distribuição de água durante o desenvolvimento da cultura influenciaram positivamente o número total de espiguetas por panícula e a produtividade de grãos, que foi 30% superior ao cultivo do arroz no sequeiro sem irrigação suplementar.

Nesse contexto, em busca de maiores produtividades pode-se utilizar a combinação da adubação com nitrogênio e silício. O nitrogênio é um dos nutrientes mais importantes para os vegetais, sendo em alguns casos, fator limitante para altas produtividades (NASCENTE et al., 2011).

Entretanto, quando em excesso pode promover aumento da altura da planta, deixando-a suscetível ao acamamento, ao sombreamento e à ocorrência de doenças (PRABHU et al., 2007). O silício, apesar de não ser considerado nutriente, é o elemento mais extraído pela cultura do arroz (TAKAHASHI, 1995; CAMARGO et al., 2007). Esse mineral, após ser absorvido, se polimeriza nas células da epiderme foliar formando uma camada rígida (YOSHIDA et al., 1959; MARSCHNER, 1995; TAKAHASHI, 1995; COSTA et al., 2012). A formação dessa camada rígida de silício proporciona menor incidência de doenças, influencia a arquitetura das plantas, que ficam eretas, evitando o acamamento, a perda excessiva de água e promovendo melhor eficiência fotossintética, o que normalmente contribui para maior produtividade de grãos (KORNDÖRFER; DATNOFF, 1995; BARBOSA FILHO et al., 2000; KORNDÖRFER et al., 2002; MAUAD et al., 2003a, 2003b; PRABHU et al., 2007; GIONGO; BOHNEN, 2011; GUERRERO et al., 2011).

A principal forma de fornecimento de silício para as culturas no Brasil é por meio da aplicação de silicados de cálcio e magnésio em substituição ao calcário (CORRÊA et al., 2007). Nessa técnica há necessidade de grande quantidade do produto e em área total (CARVALHO-PUPATTO et al., 2003). Esses silicatos normalmente são produzidos em usinas de siderurgia, que estão localizadas na sua maioria nas regiões Sul e Sudeste do país. Assim, devido ao custo do frete, o custo de aplicação de silicatos fica inviável, em regiões onde o fornecimento de silício poderia proporcionar maior estabilidade produtiva em decorrência dos estresses abióticos (veranicos), notadamente o Cerrado brasileiro (CORRÊA et al., 2007). Por outro lado, tem-se as jazidas de calcário que estão distribuídas

por todo o território nacional (CARVALHO-PUPATTO et al., 2004). Assim, no presente trabalho, teve-se por hipótese que a aplicação de silício no sulco de semeadura poderia proporcionar incrementos do teor do elemento na zona de crescimento radicular e a adequada combinação desse elemento com o nitrogênio, poderia proporcionar incrementos na nutrição por nitrogênio pelas plantas de arroz bem como na produtividade de grãos da cultura e que a resposta da cultura seria potencializada pelo uso da irrigação por aspersão. Portanto, objetivou-se determinar os efeitos da aplicação do silício no sulco de semeadura nos teores do elemento na zona de crescimento radicular do arroz e sua combinação com a adubação nitrogenada em cobertura nos teores de nitrogênio e silício no tecido vegetal, e na produtividade de grãos do arroz em condições de sequeiro e irrigado por aspersão.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido no ano agrícola de 2008/09, em região caracterizada por clima tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno, apresentando umidade relativa do ar, temperatura e precipitação média anual de 70-80%, 23,5°C e 1.350 mm, respectivamente. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho Distrófico típico argiloso (EMBRAPA, 1999), possuindo 660 g kg⁻¹ de argila, 120 g kg⁻¹ de silte e 220 g kg⁻¹ de areia na camada de 0–20 cm. A caracterização química da área experimental antes da instalação do experimento encontra-se na Tabela 1. Realizou-se calagem na área, 60 dias antes da semeadura de modo a elevar o valor V para 50% (van RAIJ et al., 1996), utilizando-se calcário dolomítico com PRNT de 85%.

Tabela 1. Caracterização química do solo da área experimental e do silicato de cálcio e magnésio, Selvíria - MS.

Caracterização química do solo ¹											
P resina (mg dm ⁻³)	M.O. (g dm ⁻³)	pH	Si ² (mg dm ⁻³)	K	Ca	Mg	H+Al	Al	SB	CTC	V
							mmol _c dm ⁻³				
9,0	17,0	4,7	4,3	1,3	15,0	9,0	34,0	1,0	25,7	59,7	43,0
Composição química do silicato de cálcio e magnésio ³											
CaO	MgO	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	SO ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	Mo	Zn		
								%		µg g ⁻¹	
42	12	23	0,42	0,19	0,37	11	1,8	0,400	0,133		

¹Metodologia de RAIJ e QUAGGIO (1983). ²Extrator ácido acético 0,5 M. ³Fonte: Universidade Federal de Viçosa (MG)

O delineamento experimental foi de blocos completos casualizados com parcelas subdivididas e quatro repetições. As parcelas foram constituídas pelos sistemas de cultivo (sequeiro e irrigação) e as subparcelas pela combinação do silício aplicado no sulco de semeadura (0 e 100 kg ha⁻¹) e doses de nitrogênio em cobertura (0, 30, 60 e 90 kg ha⁻¹). Cada subparcela foi constituída por seis linhas de seis metros de comprimento, sendo considerada como área útil as três linhas centrais, desprezando-se 0,5 m das extremidades.

Na instalação do experimento, sementes de arroz cv. Primavera foram tratadas com carbofuran (1,5 kg ha⁻¹ do i.a.) e semeadas manualmente em 25/11 no espaçamento de 0,33 m entrelinhas e densidade de 100 sementes viáveis por metro quadrado. A adubação de semeadura foi de 250 kg da fórmula (N-P₂O₅-K₂O) 04-30-10 + 0,4% Zn. Logo após a semeadura, foram aplicados no sulco de semeadura 100 kg de Si ha⁻¹ na forma de silicato de Ca e Mg (Tabela 1), que permaneceu em contato direto com as sementes.

Nas parcelas irrigadas (distantes 10 metros das parcelas no sequeiro) utilizou-se um sistema fixo de irrigação convencional por aspersão com vazão de 3,3 mm h⁻¹ nos aspersores. No manejo de água foram utilizados três coeficientes de cultura (Kc), distribuídos em quatro períodos compreendidos entre a emergência e a colheita. Para a fase vegetativa foi utilizado o valor de 0,4; para a fase reprodutiva foram dois valores de Kc, o inicial de 0,7 e o final de 1,0 e para a fase de maturação estes valores foram invertidos, ou seja, o inicial de 1,0 e o final de 0,7 conforme sugerido por Rodrigues et al. (2004).

A adubação nitrogenada em cobertura foi realizada aos 31 dias após emergência das plântulas (DAE), próximo à diferenciação floral, utilizando a ureia como fonte de nitrogênio. O controle de plantas daninhas foi realizado aplicando-se os herbicidas oxadiazon (750 g ha⁻¹ do i.a.), em pré-emergência, e aos 17 DAE foi aplicado bentazon (720 g ha⁻¹ do i.a.). Após esse período foram realizadas apenas capinas manuais. A emergência das plantas ocorreu aos 8 dias após semeadura (DAS) e o florescimento aos 66 DAE. A cultura apresentou ciclo de 86 DAE.

A colheita do arroz foi efetuada quando as sementes de 2/3 superiores de 50% das panículas apresentaram-se duras e as do terço inferior, semi-duras. A seguir, foi realizada a trilha manual, secagem à sombra e a limpeza, separando-se a palha e as sementes chochas. Em seguida, determinou-se o peso das sementes colhidas por tratamento,

calculando-se a produtividade de sementes por hectare (kg ha⁻¹) (13% base úmida).

Foram avaliados: 1) teor de silício no solo: em função da aplicação de silício ter sido realizada no sulco de semeadura, foram determinados os teores de silício após a colheita do arroz, na linha e na entrelinha, utilizando como extrator o cloreto de cálcio 0,01 M, segundo a técnica descrita por Korndörfer et al. (1999b); 2) teor de silício no tecido vegetal: o teor de silício no tecido vegetal (folha bandeira e planta) foi determinado conforme técnica descrita por Elliott e Snyder (1991) adaptada por Korndörfer et al. (1999b). O material analisado foi coletado em duas épocas, no florescimento (folha bandeira) e no final do ciclo (plantas maduras – colmos e folhas); 3) Teor de nitrogênio na folha bandeira: no florescimento foram coletados os limbos foliares de 30 folhas bandeira por subparcela, que após secagem, foram moídas em moinho tipo Willey, para em seguida sofrerem digestão sulfúrica, conforme metodologia de Malavolta et al. (1997); 4) Produtividade de grãos: determinada mediante pesagem dos grãos em casca, provenientes da área útil das subparcelas, corrigindo-se a umidade para 13% e convertendo em kg ha⁻¹.

Os resultados foram analisados estatisticamente com auxílio do software SISVAR® (FERREIRA, 1999). Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, sendo que, para os sistemas de cultivo e silício foi realizada a comparação de médias (teste Tukey a 5%) e para as doses de nitrogênio, a análise de regressão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A adubação com 100 kg de Si ha⁻¹ proporcionou maior teor de silício na linha de semeadura em relação ao já existente no solo após a colheita do arroz (Tabela 2). Esse resultado apesar de parecer óbvio, é extremamente importante, uma vez que, mesmo sabendo que o silício é um dos elementos mais abundantes na crosta terrestre e que a maioria dos solos contém consideráveis quantidades de silício, cultivos consecutivos podem reduzir o nível deste elemento até um ponto em que a adubação com silício seja necessária para obtenção de máximas produções (KORNDÖRFER; DATNOFF, 1995). Dessa forma, verifica-se que a aplicação no sulco de semeadura foi eficaz para elevar os teores de silício no solo, o que pode contribuir de forma significativa para reduzir a quantidade aplicada, que normalmente é feita à lanço, com valores superiores a 1 ton ha⁻¹, principalmente em solos muito intemperizados,

altamente lixiviados, ácidos, e com baixos teores de silício trocável (KORNDÖRFER et al., 2002).

Tabela 2. Teor de silício no solo, na folha bandeira e na planta, teor de nitrogênio na folha bandeira e produtividade de grãos do arroz de terras altas, sob sistemas de cultivo e aplicação de silício.

Tratamentos	Teor de silício no solo ²		Teor de silício		Teor de Nitrogênio	Produtividade de grãos
	linha	entrelinha	folha bandeira	planta	folha bandeira	
	-----mg dm ⁻³ -----		-----g kg ⁻¹ -----			----kg ha ⁻¹ ----
Sistemas de cultivo						
Sequeiro	5,7 a ¹	5,1 a	26,3 a	23,3 a	28,2 a	2593 b
Irrigado	6,0 a	4,9 a	28,2 a	25,7 a	27,3 a	3398 a
Si (kg ha ⁻¹)						
0	5,6 b	4,8 a	26,4 a	24,3 a	27,8 a	3030 a
100	6,2 a	5,2 a	28,2 a	24,7 a	27,8 a	2960 a

¹ Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

² extrator cloreto de cálcio 0,01 M.

Houve comportamento quadrático para o teor de silício na linha de semeadura, em função do aumento das doses de N, com menores valores nas doses 30, 60 e 90 kg ha⁻¹ de N em relação à testemunha (sem N) (Figura 1A). Esse resultado discorda do encontrado por Mauad et al. (2003b), que não observou influência da adubação nitrogenada no teor de silício no solo. Entretanto, pode ser um indicativo de maior absorção desse

elemento pelas plantas de arroz causando redução de seus teores no solo. Para o teor de silício na entrelinha, não houve efeito significativo dos tratamentos, e os valores encontrados foram menores. Com isso pode-se inferir que a aplicação do silício na linha de semeadura tem efeito localizado e não pode ser utilizado com fins de correção do solo em área total.

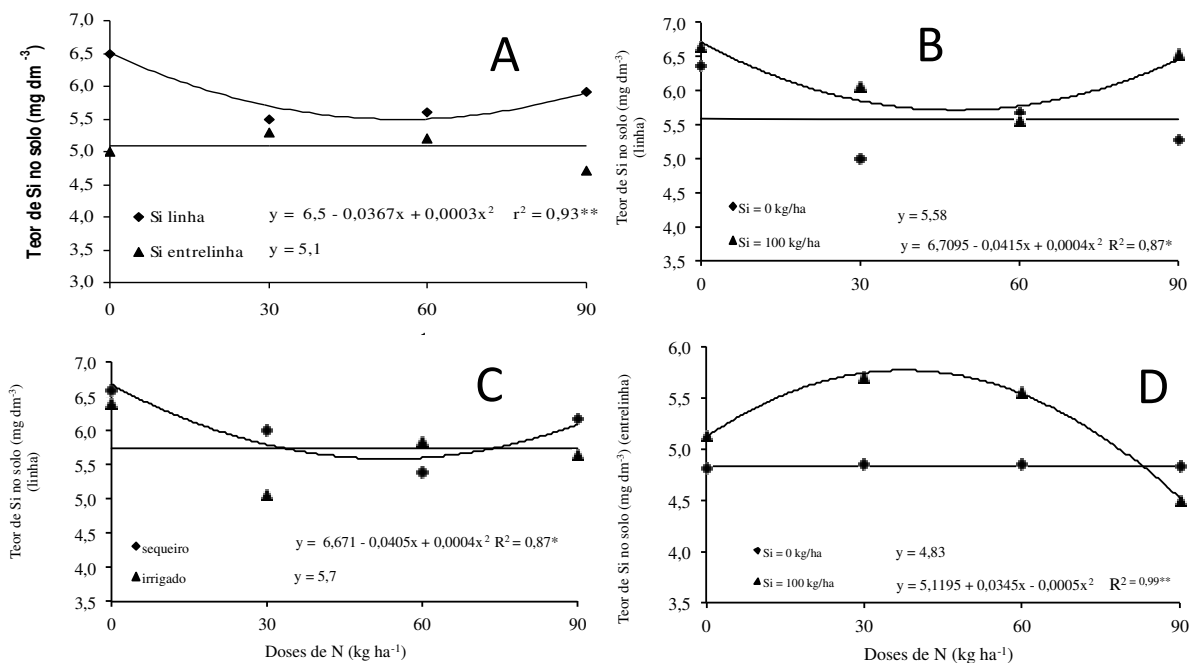


Figura 1. Teor de silício no solo (na linha e na entrelinha) (A), teor de silício na linha em função da adubação silicada (B), teor de silício no solo em função do sistema de cultivo (C), e teor de silício no solo (entrelinha) em função da adubação silicada (D) afetados pela adubação nitrogenada. Selvíria-MS.

O maior teor de Si na linha de semeadura foi obtido no sistema de sequeiro quando aplicado 100 kg de Si ha⁻¹ no sulco de semeadura (Tabela 3). Provavelmente por que no sistema irrigado a planta cresceu e desenvolveu mais do que no sistema de sequeiro absorvendo maior quantidade de silício do solo. Além disso, verificou-se efeito significativo apenas para o sistema de sequeiro, onde houve resposta quadrática quanto ao teor de Si na linha, sendo que este diminuiu até 60 kg de N ha⁻¹ (5,6 mg dm⁻³) aumentando com a dose de 90 kg de N ha⁻¹ (6,1 mg dm⁻³), no entanto, os valores ainda foram menores que o encontrado na ausência de N (6,7 mg dm⁻³) (Figura 1C). Os maiores teores de N proporcionam maior desenvolvimento das plantas (MALAVOLTA, 2006), o que também pode ter favorecido a maior absorção de Si, entretanto doses maiores de N (90 kg ha⁻¹) na ausência de irrigação pode ter sido prejudicial à planta, reduzindo a sua absorção de Si, contribuindo para a obtenção dos maiores teores do elemento no solo.

Para o efeito de silício dentro de doses de N (Figura 1B), os dados foram ajustados à função quadrática, onde com a aplicação de 100 kg de Si ha⁻¹, observou-se menor teor de silício no solo coletado na linha de semeadura (5,8 mg dm⁻³) até 60 kg de N ha⁻¹ e depois aumento, com 90 kg de N ha⁻¹

(6,5 mg dm⁻³). Quanto ao teor de silício no solo na entrelinha houve interação entre silício e doses de nitrogênio (Figura 1D), verificou-se que com a aplicação de 100 kg de Si ha⁻¹ no sulco de semeadura ocorreu aumento no teor de silício no solo na entrelinha até 30 kg de N ha⁻¹, e depois decréscimo com o aumento das doses de nitrogênio. O que pode ser um indicativo do maior desenvolvimento das plantas, e provavelmente maior absorção do silício. Entretanto, esses valores foram menores que os encontrados para silício na linha de cultivo, pois a adubação silicatada foi realizada no sulco de semeadura.

Com relação ao teor de silício na folha bandeira houve efeito da interação entre sistemas de cultivo e aplicação de silício (Tabela 3). Assim, verificou-se que o maior teor de Si na folha bandeira na ausência de aplicação do elemento no solo foi com o uso de irrigação. Esse resultado pode estar relacionado com o aumento da disponibilidade de água no solo que reflete em aumento na absorção de silício, pois sob essa condição ocorre despolimerização e a aplicação de silicatos de cálcio e magnésio no sulco pode aumentar o pH e desorção de Si dos argilominerais, portanto, esses fatores contribuem para sua maior absorção (MAUD et al., 2003b).

Tabela 3. Desdobramento das interações do sistema de cultivo com teor de silício no solo coletado na linha de semeadura, teor de silício na folha bandeira e teor de nitrogênio na folha bandeira.

Sistemas de cultivo	Teor de Si no solo - linha de semeadura (mg dm ⁻³)	
	Si - 0 (kg ha ⁻¹)	Si - 100 (kg ha ⁻¹)
Sequeiro	5,7 a B*	6,4 a A
Irigado	5,5 a A	6,0 a A
Sistemas de cultivo	Teor de silício na folha bandeira (g kg ⁻¹)	
Sequeiro	25,1 b A*	27,6 a A
Irigado	27,7 a A	28,8 a A
Sistemas de cultivo	Teor de nitrogênio na folha bandeira (g kg ⁻¹)	
Sequeiro	28,1 a A*	28,3 a A
Irigado	27,4 a A	27,2 b A

* Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Para os teores de silício na folha bandeira e na planta houve efeito significativo das doses de N e das interações entre sistemas de cultivo e doses de N

e entre silício e doses de N. Assim, os teores de Si na folha bandeira (Figura 2A e 2B) e na planta (Figura 2C e 2D) foram reduzidos linearmente à

medida que se aumentou a dose de nitrogênio, provavelmente em razão de efeito diluição, pois o aumento da adubação nitrogenada acarretou em maior desenvolvimento da planta, evidenciando a

interação entre esses dois elementos (MAUAD et al., 2003a, 2003b).

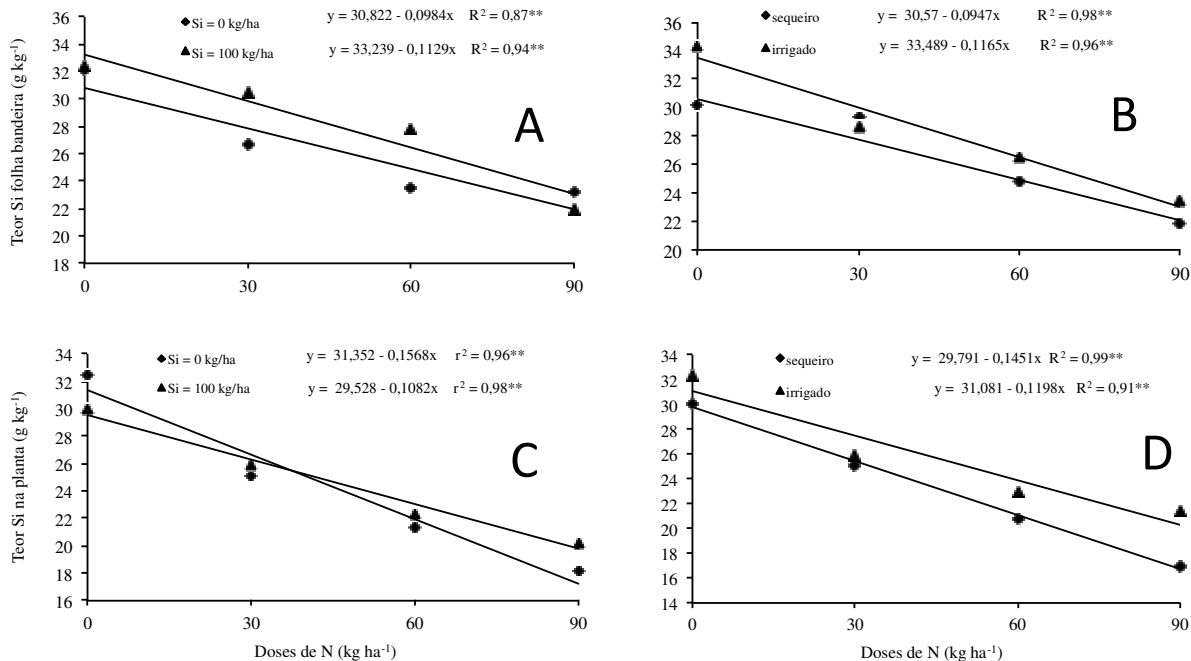


Figura 2. Efeito de doses de nitrogênio nos teores de silício na folha bandeira pelo efeito do silício (A) e sistema de cultivo (B) e na planta em função da adubação silicatada (C) e do sistema de cultivo (D) do arroz de terras altas. Selvíria-MS.

Para o efeito entre sistemas de cultivo e doses de N, observou-se que os teores de Si na folha bandeira (Figura 2B) e na planta (Figura 2D) reduziram linearmente com o aumento das doses de nitrogênio, sendo constatados maiores valores quando o arroz foi cultivado no sistema irrigado por aspersão, condição que provavelmente contribuiu para maior absorção do elemento, pois o contato desse íon com a raiz ocorre por fluxo de massa (YASSUDA, 1989) e o seu transporte da raiz até a parte aérea ocorre principalmente pelo movimento ascendente da água no interior da planta (JONES; HANDRECK, 1965). A absorção do silício é ativa (DALLAGNOL, 2008, 2010) e, segundo Ma e Takahashi (2002) e Ma et al. (2006), em arroz, por meio de proteínas de membrana específicas para este fim, ou seja, o processo de absorção de Si pode ocorrer inclusive contra um gradiente de concentração. Neste sentido, a planta melhor desenvolvida, como ocorre no sistema irrigado por aspersão, necessita de maiores teores de nutrientes para o seu pleno desenvolvimento, e o Si parece ter contribuído para crescimento e desenvolvimento destas plantas, uma vez que os teores na folha bandeira forma maiores nesse sistema de cultivo

(Figura 2). Além disso, houve maior redução dos teores de Si no sulco de semeadura (Tabela 3). Dessa forma, Ávila et al. (2010) acrescentam que a relação negativa entre os teores de Si e as concentrações de N nas plantas de arroz ocorreu devido ao efeito de diluição, conforme constatado no presente trabalho (Figura 2 e 3).

Para a cultura do arroz os teores de silício na planta são considerados baixos quando menores que 17 g kg⁻¹, médios entre 17 e 34 g kg⁻¹ e altos acima de 34 g kg⁻¹ (KORNDÖRFER et al., 2001; MAUAD et al., 2003a, 2003b). Portanto, os teores de silício na folha bandeira e na planta observados neste trabalho estavam na faixa considerada média.

Com relação ao teor de nitrogênio na folha bandeira, este foi influenciado pelas interações entre sistemas de cultivo e de silício (Tabela 3), entre silício e doses de N (Figura 3A) e entre sistemas de cultivo e doses de N (Figura 3B). Assim, os valores de teor de nitrogênio na folha bandeira tiveram aumento linear e quadrático, na ausência e presença de silício, respectivamente, em função das doses de N. Analisando os resultados de sistemas de cultivo dentro de silício, observou-se que o maior teor de N na folha bandeira com aplicação de 100 kg de Si ha⁻¹

¹ foi obtido em condições de sequeiro. Apesar de a dose de 100 kg de Si ha⁻¹ ter afetado o teor de N na folha bandeira, os valores do elemento estão dentro da faixa adequada (27–35 g kg⁻¹) relatada por van Raij et al. (1996). Segundo Malavolta (2006), o silício proporciona às plantas maior possibilidade de resposta à adubação, principalmente, a nitrogenada. Houve aumento do teor de N na folha bandeira nos

dois sistemas de cultivo em função da adubação nitrogenada, com os valores se ajustando a uma função quadrática e linear, em condições de sequeiro e de irrigação, respectivamente (Figura 3B). Sabe-se que a deficiência hídrica na cultura do arroz reduz a absorção de nutrientes (GUIMARÃES et al., 2010), no entanto, tal fato não foi observado em condições de sequeiro.

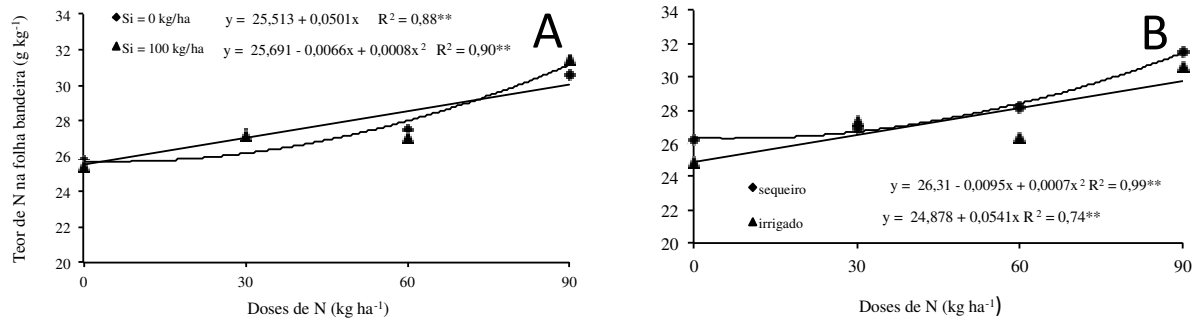


Figura 3. Teor de nitrogênio na folha em função das doses de nitrogênio na presença e ausência de silício (A) e com e sem irrigação (B). Selvíria-MS.

Com relação à produtividade de grãos houve efeito significativo de sistemas de cultivo (Tabela 2) e de interações entre silício e doses de nitrogênio e entre sistemas de cultivo e doses de nitrogênio (Figuras 4A e 4B). Dessa forma, os valores de produtividade em relação às doses de nitrogênio, na presença e ausência de silício, apresentaram comportamento quadrático (Figura 4A). Não houve efeito do Si sobre a produtividade provavelmente

devido à ausência de ocorrência de doenças e aos teores altos de Si encontrados nas plantas. Este resultado discorda dos encontrados por Faria (2000), Korndörfer et al. (1999a), Deren et al. (1994) e Liang et al. (1994); entretanto, estão de acordo com os de Carvalho (2000), Mauad et al. (2003a; 2003b; 2011) que em condições de campo e túnel plástico não obtiveram aumentos significativos na produtividade de grãos na cultura do arroz.

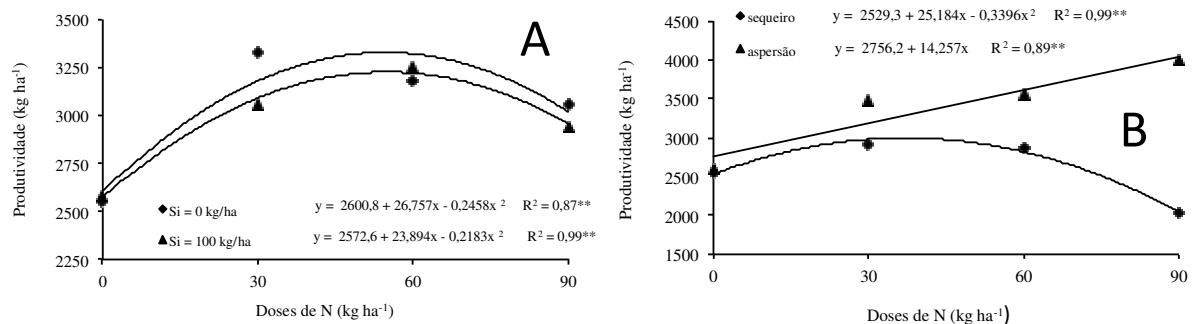


Figura 4. Efeito de doses de N na produtividade de grãos do arroz de terras altas em função da adubação silicatada (A) e dos sistemas de cultivo (B). Selvíria-MS.

A produtividade de grãos foi significativamente maior sob sistema irrigado por aspersão com aumento linear em função do incremento da adubação nitrogenada (Figura 4B). No sistema de sequeiro, a máxima produtividade foi obtida com aplicação de 37 kg de N ha⁻¹. Altas doses de N estimulam o perfilhamento e a formação de novas folhas causando sombreamento, condições favoráveis a doenças, acamamento e queda na

produtividade (MALAVOLTA; FORNASIERI FILHO, 1983; BARBOSA FILHO, 1987; EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO, 2009; GUIMARÃES et al., 2010). Nas condições experimentais, não ocorreram acamamento e doenças; assim, a queda na produtividade com aumento da adubação nitrogenada, provavelmente, pode ser decorrente da soma de diversos fatores, em especial do elevado número de colmos, que, apesar

de não ter sido determinado, visualmente foi notado que a condição de sequeiro não interferiu no perfilhamento das plantas, tendo os tratamentos com e sem irrigação comportamento semelhante. Com isso a planta não teve carboidratos suficientes para o enchimento de todas as espiguetas, quando sob condições de deficiência hídrica, limitando o efeito da adubação nitrogenada, o que refletiu em produtividades de grãos menores, pela falta de fotoassimilados suficientes para o enchimento de todas as espiguetas (FORNASIERI FILHO; FORNASIERI, 2006). Assim, houve incremento na produtividade grãos até a dose calculada de 37 kg de N ha⁻¹.

Pelos resultados obtidos pode-se inferir que apesar da adubação silicatada no sulco ter proporcionado incrementos nos teores de silício na linha de semeadura, o que poderia representar economia para o produtor rural, uma vez que normalmente essa adubação é feita à lanço e em quantidades bem superiores aos 100 kg ha⁻¹. No entanto, isso não se traduziu em aumento na produtividade de grãos do arroz. Ou seja, a adubação com silício não se justificou, possivelmente devido à grande quantidade desse elemento presente na maioria dos solos agrícolas. Por outro lado, a adubação com nitrogênio proporcionou incrementos lineares na produtividade de grãos quando a cultura foi irrigada, e resposta até determinada dose no cultivo de sequeiro. Nesse sentido, verifica-se que a utilização da irrigação

além de proporcionar aumento de produtividade, pode contribuir para a estabilidade da produção em anos com a ocorrência de veranicos.

CONCLUSÕES

A aplicação de silício no sulco de semeadura demonstrou ser técnica viável pois proporcionou aumento significativo do teor desse elemento na zona de crescimento radicular da cultura do arroz;

A aplicação de silício no sulco não altera o teor do elemento e nem a nutrição nitrogenada na cultura do arroz;

A adubação nitrogenada em cobertura reduz os teores de silício e aumenta a nutrição nitrogenada nas plantas de arroz;

A aplicação de silício no sulco de semeadura não proporcionou incremento na produtividade de grãos de arroz;

Quando não houve limitação hídrica a adubação nitrogenada proporcionou incremento linear na produtividade de grãos, enquanto que sob deficiência hídrica o efeito da fertilização nitrogenada foi limitada.

AGRADECIMENTOS

À FAPESP pelo financiamento da pesquisa e ao CNPq pela bolsa de produtividade em pesquisa concedida ao segundo e terceiro autores.

ABSTRACT: The objective of this work was to evaluate the effects of silicon application adjusted with nitrogen fertilization via top-dressing on grain productivity, the silicon contents of the soil, in the plant tissue and nitrogen contents in dry and irrigated conditions. The experimental outlining was from designed blocks with subdivided parcels and four repetitions. The treatments consisted of culture system (dry and irrigated) and the under parcels by the combination of silicon (0 and 100 kg ha⁻¹), in magnesium and calcium silicate form (with 23% of SiO₂), and four doses of N (urea) via top-dressing (0, 30, 60 and 90 kg ha⁻¹). Silicon application at sowing furrow was a viable technique because it provided significant increase in the content of this element in the root growth of rice. The application of silicon in the sowing furrow did not change the content of the element nor the nitrogen nutrition in rice plants. The nitrogen application reduced the silicon content and increased nitrogen nutrition in rice plants. Silicon application at sowing furrow provided no increase in rice grain yield. When there was no water limitation to nitrogen fertilization enhanced linearly on rice grain yield, whereas under water stress the effect of nitrogen fertilization was limited.

KEYWORDS: *Oryza sativa* L.. Silicate. Cultivation systems. Plant nutrition.

REFERÊNCIAS

AVILA, F. W.; BALIZA, D. P.; FAQUIN, V.; ARAÚJO, J. L.; RAMOS, S. J. Interação entre silício e nitrogênio em arroz cultivado sob solução nutritiva. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, p. 184-190, 2010.

BARBOSA FILHO, M. P. **Nutrição e adubação do arroz**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. 127 p.

BARBOSA FILHO, M. P.; SNYDER, G. H.; PRABHU, A. S.; DATNOFF, L. E.; KORNDÖRFER, G. H. Importância do silício para a cultura do arroz. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 89, p. 1-8, 2000 (Encarte técnico).

CAMARGO, M. S. PEREIRA, H. S.; KORNDÖRFER, G. H.; QUEIROZ, A. A.; REIS, C. B. Soil reaction and absorption of silicon by rice. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 64, p. 176-180, 2007.

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 p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Campus Botucatu.

CARVALHO-PUPATTO, J. G.; BÜLL, L. T.; CRUSCIOL, C. A. C. Atributos químicos do solo, crescimento radicular e produtividade do arroz de acordo com a aplicação de escórias. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, p. 1213-1218, 2004.

CARVALHO-PUPATTO, J. G.; BÜLL, L. T.; CRUSCIOL, C. A. C.; MAUAD, M.; SILVA, R. H. Efeito de escória de alto forno no crescimento radicular e na produtividade de arroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, p. 1323-1328, 2003.

CORRÊA, J. C.; BÜLL, L. T.; CRUSCIOL, C. A. C.; MARCELINO, R.; MAUAD, M. Correção da acidez e mobilidade de íons em Latossolo com aplicação superficial de escória, lama cal, lodos de esgoto e calcário. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, p. 1307-1317, 2007.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **4º Levantamento da produção de grãos - safra 2010/11**. Disponível em: <www.conab.gov.br>. Acesso em: 05 de dez. 2011.

COSTA, C. H. M.; CRUSCIOL, C. A. C.; SORATTO, R. P.; FERRARI NETO, J. Persistência e liberação de macronutrientes e silício da fitomassa de crotalaria em função da fragmentação. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, p. 384-394, 2012.

CRUSCIOL, C.A.C; SORATTO, R.P.; NASCENTE, A.S.; ARF, O. Root distribution, nutrient uptake, and yield of two upland Rice cultivars under two water regimes. **Agronomy Journal**, Madison, v. 105, p. 237-247, 2013.

DALLAGNOL, L. J. **Absorção ativa de silício e a mancha parda do arroz: componentes de resistência e mecanismos fisiológicos e bioquímicos da interação planta-patógeno**. Viçosa, 2008, 194p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa.

DALLAGNOL, L. J. **Epidemiologia e bioquímica do controle do oídio do meloeiro por silício**. Piracicaba, 2010, 66p. Tese (Doutorado) – Departamento de Fitopatologia. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

DEREN, C. W.; DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H. & MARTIN, F. G. Silicon concentration, disease response, and yield components of rice genotypes grown on flooded organic histosols. **Crop Science**, Madison, v. 34, p. 733-37, 1994.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Arroz e Feijão. **Informações Técnicas Sobre o Arroz de Terras Altas: Estados de Mato Grosso e Rondônia – Safra 2009/2010 e 2010/2011**. Documentos 247. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2009. 94p.

FARIA, R. G. **Influência do silicato de cálcio na tolerância do arroz de sequeiro ao déficit hídrico do solo**. Lavras, 2000, 47p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras.

FERREIRA, D. F. **SISVAR**: Sistema de análise de variância. Versão 4.2. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 1999.

FORNASIERI FILHO, D.; FORNASIERI, J. L. **Manual da cultura do arroz**. Jaboticabal: Funep, 2006. 589p.

GIONGO, V.; BOHNEN, H. Relação entre alumínio e silício em genótipos de milho resistentes e sensíveis a toxidez de alumínio. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 27, p. 348-356, 2011.

GIÚDICE, R. M.; BRANDÃO, S. S.; GALVÃO, J. D.; GOMES, F. R. Irrigação do arroz por aspersão: profundidade de rega e limites de água disponível. **Experientiae**, Viçosa, v. 18, p. 103-123, 1974.

GUERRERO, A.C.; BORGES, L.S.; FERNANDES, D.M. Efeito da aplicação foliar de silício em rúcula cultivada em dois tipos de solos. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 27, p. 591-596, 2011.

GUIMARÃES, C. M.; STONE, L. F.; CASTRO, A. P.; LIMA, G. B. **Desempenho de genótipos de arroz sob deficiência hídrica e irrigação adequada**. Comunicado Técnico, 194. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2010, 4p.

HEINEMMAN, A.B.; STONE, L.F. Efeito da deficiência hídrica no desenvolvimento e rendimento de quatro cultivares de arroz de terras altas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 39, p. 134-139.

JONES, L. H. P.; HANDRECK, K.A. Studies of silica in the oat plant. III. Uptake of silica from soils by plant. **Plant and Soil**, The Hague, v. 23, p. 79-95, 1965.

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S. **Silicatos de cálcio e magnésio na agricultura**. Uberlândia: GPSi-ICIAG-UFU, 2002. 23 p. (Boletim Técnico, 1).

KORNDÖRFER, G. H.; SNYDER, G. H.; ULLOA, M.; POWELL, G.; DATNOFF, L. E. Calibration of soil & plant silicon analysis for rice production. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 24, p. 1071-1084, 2001.

KORNDÖRFER, G.H.; DATNOFF, L.E. Adubação com silício: uma alternativa no controle de doenças da cana-de-açúcar e do arroz. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 70, p. 1-5, 1995.

KORNDÖRFER, G.H.; ARANTES, V.A.; CORRÊA, G.F.; SNYDER, G.H. Efeito do silicato de cálcio no teor de silício e na produção de grãos de arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, p. 23, p. 635-41, 1999a.

KORNDÖRFER, G.H.; COELHO, N.M.; SNYDER, G. H.; MYZUTANI, C.T. Avaliação de métodos de extração de silício em solos cultivados com arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 101-106. 1999b.

LIANG, Y.C.; MA, T.S.; LI, F.J.; FENG, Y.J. Silicon availability and response of rice and wheat to silicon in calcareous soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 25, p. 2285-2297, 1994.

MA, J. F.; TAKAHASHI, E. **Soil, fertilizer and plant silicon research in Japan**. Amsterdam: Elsevier Science, 2002. 274 p.

MA, J. F., TAMAI, K., YAMAJI, N., MITANI, N., KONISHI, S., KATSUHARA, M., ISHIGURO, M., MURATA, Y.; YANO, M. Silicon transporter in rice. **Nature**, London, v. 440, p.688-691, 2006.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafos, 1997. 308p.

- MALAVOLTA, E.; FORNASIERI FILHO, D. **Nutrição mineral da cultura de arroz**. In: FERREIRA, M. E.; YAMADA, T. ; MALAVOLTA, E. (Ed.). *Cultura do arroz de sequeiro: fatores afetando a produtividade*. Piracicaba, 1983. p. 95-143.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2 ed. San Diego: Academic Press, 1995. 889 p.
- MAUAD, M.; CRUSCIOL, C. A. C.; GRASSI FILHO, H. Produção de massa seca e nutrição de cultivares de arroz de terras altas sob condição de déficit hídrico e adubação silicatada. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, p. 32, v. 939-948, 2011.
- MAUAD, M.; CRUSCIOL, C. A. C.; GRASSI FILHO, H.; CORRÊA, J. C. Nitrogen and silicon fertilization of upland rice. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 60, p. 761-765, 2003a.
- MAUAD, M.; GRASSI FILHO, H; CRUSCIOL, C. A. C.; CORRÊA, J. C. Teores de silício no solo e na planta de arroz de terras altas com diferentes doses de adubação silicatada e nitrogenada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 867-873, 2003b.
- NASCENTE, A. S.; KLUTHCOUSKI, J.; RABELO, R. R.; OLIVEIRA, P.; COBUCCI, T.; CRUSCIOL, C.A.C. Produtividade do arroz de terras altas em função do manejo do solo e da época de aplicação de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, p. 60-65, 2011.
- NASCENTE, A. S.; GUIMARÃES, C. M.; COBUCCI, T.; CRUSCIOL, C. A. C. *Brachiaria ruziziensis* and herbicide on the yield of upland rice. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 30, p. 729-736, 2012a.
- NASCENTE, A. S.; CRUSCIOL, C. A. C; COBUCCI, T. Ammonium and nitrate in soil and upland rice yield as affected by cover crops and their desiccation time. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, p. 1699-1706, 2012b.
- NASCENTE, A. S.; CRUSCIOL, C. A. C.; STONE, L. F.; COBUCCI, T. Upland rice yield as affected by previous summer crop rotation (soybean or upland rice) and glyphosate management on cover crops. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 31, p. 147-155, 2013a.
- NASCENTE, A. S.; CRUSCIOL, C. A. C.; COBUCCI, T. The no-tillage system and cover crops – alternatives to increase upland rice yield. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 45, 124-131, 2013b.
- PINHEIRO, B. S.; STEINMETZ, S.; STONE, L. F.; GUIMARÃES, E. P. Tipo de planta, regime hídrico e produtividade do arroz de sequeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 20, p. 85-87, 1985.
- PRABHU, A; S.; SANTOS, A. B.; DIDONET, A. D. Soluble tissue sugar content & leaf blast severity in response to the application of calcinated serpentinite as a silicon source in irrigated rice. **Summa Phytopathologica**, Jaguariuna, v. 33, p. 402-404, 2007.
- PRASAD, R. Aerobic rice systems. **Advances in Agronomy**, v. 111, p. 207-247, 2011.
- RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2.ed Campinas, Instituto Agronômico de Campinas, Fundação IAC, 1996. 285p.
- RAIJ, B.; QUAGGIO, J. A. **Métodos de análise de solo para fins de fertilidade**. Campinas: Instituto Agronômico, 1983. 31 p. (Boletim técnico, 81).
- RODRIGUES, R. A. F.; SORATTO, R. P.; ARF, O. Manejo de água em arroz de terras altas no sistema de plantio direto, usando o tanque classe A. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, p. 546-556, 2004.

SANT'ANA, E. P. Cultivo de arroz irrigado por aspersão. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 14, p. 71-76, 1989.

SANTOS, A. B. dos; STONE, L. F.; VIEIRA, N. R. e A. (Ed.). **A cultura do arroz no Brasil**. 2. ed. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2006. 1000 p.

TAKAHASHI, E. **Uptake mode and physiological functions of silica**. In: MATSUO, T.; KUMAZAWA, K.; ISHII, R.; ISHIHARA, K.; HIRATA, H. *Science of rice plant physiology*. Tokio: Nobunkyo, 1995. p. 420-433. 2 v.

YASSUDA, M. **Comportamento de fosfatos em solos de cerrado**. Piracicaba, 1989, 62 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

YOSHIDA, S.; OHNISHI, Y.; KITAGISHI, K. Role of silicon in rice nutrition. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 5, p. 127-133, 1959.