



Semina: Ciências Agrárias

ISSN: 1676-546X

semina.agrarias@uel.br

Universidade Estadual de Londrina  
Brasil

Moro, Edemar; Costa Crusciol, Carlos Alexandre; Cantarella, Heitor; Nascente, Adriano  
Stephan; Lima Moro, Adriana; Broetto, Fernando

Acidez do solo afetando concentração de micronutrientes, atividade da enzima nitrato  
redutase e produtividade em plantas de arroz de terras altas

Semina: Ciências Agrárias, vol. 1, núm. 34, 2013, pp. 3397-3410

Universidade Estadual de Londrina  
Londrina, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445744137024>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal

Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

# Acidez do solo afetando concentração de micronutrientes, atividade da enzima nitrato redutase e produtividade em plantas de arroz de terras altas

## Soil acidity as affecting micronutrients concentration, nitrato reductase enzyme activity and yield in upland rice plants

Edemar Moro<sup>1</sup>; Carlos Alexandre Costa Crusciol<sup>2\*</sup>; Heitor Cantarella<sup>3</sup>; Adriano Stephan Nascente<sup>4</sup>; Adriana Lima Moro<sup>1</sup>; Fernando Broetto<sup>5</sup>

### Resumo

A menor produtividade grãos de arroz no sistema plantio direto (SPD) em relação ao sistema convencional pode ser devido ao predomínio de nitrato no solo e da baixa atividade da nitrato redutase. Um outra causa pode ser a deficiência por micronutrientes causada pelas correções superficiais da acidez do solo. Assim, o objetivo desse estudo foi de avaliar as alterações que o pH do solo provoca nas formas de N do solo, no teor de micronutrientes das plantas de arroz, na atividade da enzima nitrato redutase, nos componentes de produção e produtividade do arroz. O experimento foi conduzido em casa de vegetação. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado no esquema fatorial três (níveis de acidez) x cinco (fontes de micronutrientes), com quatro repetições. A adição de micronutrientes não afeta os teores de amônio e nitrato no solo; a acidez do solo afeta significativamente os teores de nitrato e amônio no solo, os teores de micronutrientes pelas plantas de arroz, a produtividade da cultura e os componentes de produção; a acidez média do solo (pH 5,5) propicia teores médios a altos de Cu e Fe, médios de Zn e Mn, alta atividade da enzima NR, resultando em maiores valores de matéria seca, perfilhos, panículas, espiguetas, peso de 100 grãos e consequentemente produtividade de grãos.

**Palavras-chave:** *Oryza sativa*, fertilidade do solo, acidez do solo, produtividade, sistema plantio direto

### Abstract

The lowest grain yield of rice under no-tillage system (NTS) in relation to the conventional system may be due to the predominance nitrate in the soil and the low nitrate reductase activity. Another reason may be caused by micronutrient deficiency because of superficially soil acidity corrections. Therefore, the objective of this study was to evaluate the changes caused by soil pH in the N forms in the soil, micronutrients concentration in rice plants, nitrate reductase activity, yield of rice and its components. The experiment was performed in a greenhouse conditions. The experimental design was a completely randomized in a factorial three (levels of soil acidity) x five (micronutrients sources) with four replications. The addition of micronutrients does not affect levels of nitrate and ammonium

<sup>1</sup> Eng<sup>os</sup> Agr<sup>os</sup>, Profs. Drs. da Universidade do Oeste Paulista, UNOESTE, Faculdade de Ciências Agrárias, Presidente Prudente, SP. E-mail: edemar@unoeste.br; adrianamoro@unoeste.br

<sup>2</sup> Eng<sup>o</sup> Agr<sup>o</sup>, Prof. Titular, Dr. do Dept<sup>o</sup> de Produção Vegetal, Universidade Estadual Paulista, UNESP, Faculdade de Ciências Agronômicas, FCA, Botucatu, SP. Bolsista do CNPq. E-mail: crusciol@fca.unesp.br

<sup>3</sup> Eng<sup>o</sup> Agr<sup>o</sup>, Pesquisador VI, Dr. do Instituto Agronômico de Campinas, IAC, Centro de Solos e Recursos Ambientais, Campinas, SP. Bolsista do CNPq. E-mail: cantarella@iac.sp.gov.br

<sup>4</sup> Eng<sup>o</sup> Agr<sup>o</sup>, Pesquisador, Dr. Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO. E-mail: adriano.nascente@embrapa.br

<sup>5</sup> Eng<sup>o</sup> Agr<sup>o</sup>, Prof. Adjunto, Dr. do Dept<sup>o</sup> de Química e Bioquímica, UNESP, Instituto de Biociências, Botucatu, SP. Bolsista do CNPq. E-mail: broetto@ibb.unesp.br

\* Autor para correspondência

in the soil; soil acidity significantly affects levels of nitrate and ammonium in the soil, concentration of micronutrients in rice plants and crop yield and its components; medium soil acidity (pH 5.5) result in medium to high levels of Cu and Fe, medium level of Zn and Mn, high nitrate reductase activity, resulting in higher dry matter, tillers, panicles, spikelets, weight of 100 grains and hence grain yield.

**Key words:** *Oryza sativa*, soil fertility, soil acidity, yield, no-tillage system

## Introdução

Em razão da redução da água disponível para a produção irrigada do arroz na Ásia, causada pelo aumento da demanda pelas indústrias e população, torna-se necessário o desenvolvimento de alternativas viáveis que possibilitem o aumento da produção com uso de forma racional desse recurso natural (BOUMAN et al., 2007). Uma das alternativas seria a produção do arroz no sistema plantio direto (SPD), cultivado em condições aeróbicas, caracterizado pela maior conservação da umidade do solo em relação ao sistema convencional (KLUTHCOUSKI et al., 2000; MAUAD; CRUSCIOL; GRASSI FILHO, 2011; NASCENTE et al., 2011a, 2011b).

A utilização do arroz de terras altas nesse sistema ainda necessita de ajustes, pois a cultura não tem tido adequado desenvolvimento no SPD (KLUTHCOUSKI et al., 2000; CRUSCIOL et al., 2010; NASCENTE et al., 2012). Uma das razões seria a baixa capacidade de assimilação do nitrato pelas plântulas de arroz, devido à baixa atividade da enzima nitrato redutase (MALAVOLTA, 1980). D'Andréa et al. (2004) relataram que no SPD há maior disponibilidade de  $\text{N-NO}_3^-$  no solo em relação ao sistema convencional de preparo do solo. Isso ocorre porque no ambiente em SPD devido à umidade, teor de nutrientes e maiores quantidades de matéria orgânica há maior atividade microbiológica, em especial das bactérias nitrificadoras (ARAÚJO, 2005). Araújo (2005) relatou que o arroz teve melhor desenvolvimento quando havia maiores quantidades de nitrogênio no solo na forma de amônio ( $\text{N-NH}_4^+$ ). Entretanto, Lin et al. (2005), Li et al. (2007) e Poletto et al. (2011) ressaltam que somente amônio pode ser prejudicial ao arroz.

A nitrato redutase é a enzima responsável pela assimilação do  $\text{N-NO}_3^-$  pelas plantas (EPSTEIN; BLOOM, 2006; SANTOS et al., 2009). Neste contexto, o arroz, por ser uma planta hidrófila de ambiente reduzido, com predominância do nitrogênio na forma de amônio, tem dificuldade de sintetizar no primeiro mês de desenvolvimento a enzima nitrato redutase, o que pode explicar o baixo desenvolvimento inicial da cultura (MALAVOLTA, 1980).

Adicionalmente, no SPD devido a correção superficial da acidez, pode acarretar em diminuição no teor de alguns micronutrientes, principalmente os catiônicos (Cu, Mn, Zn e Fe) (FAGERIA, 2000). Soratto e Crusciol (2008) observaram que a elevação do pH afetou a disponibilidade de manganês para a cultura do arroz. Fageria (2000) verificou redução na disponibilidade de Fe, o que poderia comprometer a conversão do  $\text{NO}_3^-$  a  $\text{NO}_2^-$ , visto que o Fe é essencial à redução do nitrato (MALAVOLTA, 1980; TISDALE; NELSON; BEATON, 1985).

Em função do relato acima, realizou-se o presente trabalho com objetivo de avaliar as alterações que o pH do solo provocam nas formas de N mineral do solo, na atividade da enzima nitrato redutase e nos teores de micronutrientes no arroz, bem como na produtividade de grãos da cultura e seus componentes.

## Material e Métodos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação em Botucatu-SP. Foi utilizado solo proveniente da camada arável (0-20 cm) de um Latossolo Vermelho eutrófico cultivado sob

SPD já consolidado (seis anos). A sequência de culturas neste período foi: 1. soja/aveia preta, 2. milho/*Brachiaria brizantha*, 3. milho/*Brachiaria brizantha*, 4. soja/aveia branca, 5. feijão/aveia branca, e 6. soja/pousio. O solo coletado foi dividido em três porções iguais. Uma das porções foi mantida com o pH original (4,5) e nas outras duas procedeu-se a elevação do pH à 5,5 e a 6,3. Para a elevação do pH aos valores propostos foi utilizado  $\text{CaCO}_3$  +  $\text{MgCO}_3$  p.a., sendo que, a quantidade utilizada foi determinada pelo método de incubação (30 dias) (RAIJ et al., 2001). As quantidades determinadas

de calcário foram aplicadas nas porções de solo, as quais permaneceram em incubação durante 30 dias, com umidade na capacidade máxima de retenção de água do solo para reação do corretivo. As características químicas foram avaliadas antes e após a incubação de 30 dias, seguindo metodologia proposta por Raij et al. (2001) (Tabela 1). O solo foi retirado dos vasos, secado à sombra e cada porção de solo foi adubada com 150  $\text{mg dm}^{-3}$  de P e 80  $\text{mg dm}^{-3}$  de K, nas formas de superfosfato triplo e cloreto de potássio, respectivamente (RAIJ et al., 1996).

**Tabela 1.** Atributos químicos do solo antes da incubação com calcário e 30 dias após. Botucatu-SP, 2009.

Níveis de acidez	pH	M.O.	P (resina)	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V
	CaCl <sub>2</sub>	g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	----- mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----						%
	Antes da incubação									
Alta	4,5	16,9	8,2	55,1	0,46	14	5	19,5	74,5	26
	30 dias após a incubação									
Média	5,5	15,4	7,7	30,7	0,56	25	18	43,6	74,2	59
Baixa	6,3	15,6	11,2	20,6	0,60	59	29	88,6	109,2	81
Níveis de acidez	Fe <sup>2+</sup>	Mn <sup>2+</sup>	Zn <sup>2+</sup>	Cu <sup>2+</sup>				NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	
	-----mg dm <sup>-3</sup> -----						-----mg dm <sup>-3</sup> -----			
	Antes da incubação									
Alta	16,6	41	1,1	8,8				7,0	10,2	
	30 dias após a incubação									
Média	11,0	14,4	0,8	7,0				14,0	6,6	
Baixa	7,5	9,7	0,6	6,2				30,0	7,2	

**Fonte:** Elaboração dos autores.

Assim, o delineamento experimental foi inteiramente casualizados no esquema fatorial 3 x 5, com quatro repetições. O experimento foi constituído por três níveis de acidez (pH  $\text{CaCl}_2$ ) do solo (alta – pH = 4,5, média – pH = 5,5 e baixa – pH = 6,3) e quatro tratamentos com micronutrientes (1 – Zn, 2 – Fe, 3 – Mn, 4 – Zn+Fe+Mn (COQUETEL) e 5 – controle (ausência de micronutrientes)). Os micronutrientes foram fornecidos nas seguintes fontes e doses: Zn-ZnSO<sub>4</sub> 10  $\text{mg dm}^{-3}$ , Fe-ferrilene (EDDHA 6%) 10  $\text{mg dm}^{-3}$ , Mn-MnSO<sub>4</sub> 3  $\text{mg dm}^{-3}$  e Zn+Fe+Mn (foram fornecidos na mesma fonte e

dose dos tratamentos individuais) (RAIJ et al., 1996). As unidades experimentais foram constituídas por vasos plásticos totalmente preenchidos com solo, com capacidade para 17 kg. Foram alocadas 20 sementes de arroz por vaso (cultivar IAC-202) e após a germinação foram mantidas 10 plantas.

A adubação de cobertura foi realizada com nitrato de amônio ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ), utilizando-se 80  $\text{mg dm}^{-3}$ , e parcelada em duas épocas, sendo metade imediatamente após a emergência do arroz e o restante aos 15 dias após a primeira. A umidade do solo durante todo o experimento teve monitoramento

diário, por meio de pesagem dos vasos, sendo que a reposição da água evapotranspirada ocorria quando essa atingia 85%, elevando a 100% da capacidade de campo.

A amostragem de solo e de plantas foi realizada em todas unidades experimentais aos 7, 14, 21 e 28 dias após a emergência (DAE), sendo o solo mantido a  $-20^{\circ}\text{C}$ , até o momento da análise. As amostras de solo foram retiradas na profundidade de 0-20 cm com auxílio de trado calador em todas as unidades experimentais. Os teores de  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NH}_4^+$  no solo foram determinados pelo método proposto por Silva (1999) e o teor de micronutrientes na parte aérea foi determinado de acordo com Malavolta, Vitti e Oliveira (1997), sendo coletado uma planta inteira por vaso a cada avaliação. Com relação a avaliação da atividade da NR, a coleta das folhas foi realizada no período da manhã entre às 8:00 e às 10:00 horas. Foi coletada a primeira folha recém expandida abaixo da folha bandeira por vaso e colocada em tubos de Falcon (50 mL) e congeladas em nitrogênio líquido. Durante a coleta, as folhas já congeladas foram mantidas em caixas de isopor com nitrogênio líquido. Posteriormente o material coletado foi armazenado em freezer a  $-80^{\circ}\text{C}$  até o momento de determinação da atividade da enzima nitrato redutase (JAWORSKI, 1971).

Assim, para avaliar a atividade da NR pesou-se 200 mg de tecido foliar (provenientes do terço médio da folha). A matéria fresca pesada foi colocada em tubos de ensaio com 5 mL de solução de incubação. Esta solução foi constituída por tampão fosfato ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$  0,1 M; pH 7,5),  $\text{KNO}_3$  (0,1M), n-propanol (3% v/v) e NADH ( $\beta$ -nicotinamida adenina dinucleotídeo, forma reduzida). O n-propanol foi usado para aumentar a permeabilidade celular ao nitrato e ao nitrito. O NADH foi utilizado como doador de elétrons para ativação da enzima nitrato redutase. Isto foi necessário porque o congelamento das amostras em nitrogênio líquido inativou o NADH presente naturalmente na planta. O tecido vegetal, submerso na solução de incubação, foi infiltrado à vácuo durante um minuto com descanso

de 30 segundos. Este procedimento foi repetido três vezes e teve por finalidade aumentar a penetração da solução nos tecidos.

Após a infiltração, os tubos foram cobertos com papel alumínio e mantidos, na ausência de luz, em banho-maria a  $30^{\circ}\text{C}$ , por 30 minutos. Finalizada a incubação efetuou-se a filtragem do material. O material filtrado foi diluído oito vezes em tampão fosfato. Desta diluição retirou-se uma alíquota de 1 mL a qual foi adicionado 1 mL de sulfanilamida 1% (para interromper a reação) e 1 mL de N-naftil-etilenodiamino 0,02%. Após a adição destes reagentes procedeu-se a leitura de absorbância em espectrofotômetro a 540 nm. A atividade da enzima foi expressa em  $\mu\text{moles de NO}_2^- \text{ liberados por grama de matéria fresca na solução de incubação no período de uma hora } (\mu\text{moles de NO}_2^- \text{ h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ mf}^{-1})$  com base na curva padrão de  $\text{NaNO}_3$  (0, 5, 10, 20, 25, 40 e 50  $\mu\text{M}$ ) de acordo com a metodologia proposta por Jaworski (1971).

Determinou-se a produção de matéria seca da parte aérea (MSPA) e o número de perfilhos do arroz, aos 60 DAE. Para a determinação da MSPA coletou-se uma planta por vaso, a qual foi secada em estufa com circulação forçada de ar e temperatura de  $60-70^{\circ}\text{C}$ , até atingir massa constante. O perfilhamento foi determinado por contagem, na mesma planta em que foi determinado a MSPA.

O número de panículas por planta foi obtido contando-se as panículas de duas plantas por vaso, sendo o valor apresentado correspondente a média das duas plantas. O número total de espiguetas por panícula foi obtido contando-se todas as espiguetas de duas plantas por vaso e o valor apresentado corresponde a média das duas plantas. A fertilidade das espiguetas foi determinada pela relação do número de espiguetas granadas por panícula pelo número total de espiguetas por panícula  $\times 100$ . O peso de 100 grãos foi obtida pesando-se quatro amostras de 100 grãos por unidade experimental. O teor de água dos grãos foi determinado e ajustado para 13%. A produtividade de grãos foi obtida pela

colheita das panículas de duas plantas por vaso. A trilha das panículas foi realizada manualmente. O material passou pelo processo de limpeza para a separação das espiguetas chochas, juntamente com a palha, das espiguetas granadas. Após esta operação, os grãos foram pesados e em seguida calculou-se a produtividade em gramas por planta (teor de água de 13%).

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste LSD ( $p \leq 0,05$ ).

## Resultados e Discussão

O teor de amônio no solo foi influenciado pela acidez do solo (Tabela 2). Considerando os valores médios, a partir da segunda coleta (14 DAE) constatou-se ocorrência dos maiores valores quando a acidez do solo estava alta. Entretanto, na primeira coleta os valores foram inversos provavelmente

porque ainda não tivesse havido tempo para que a acidez do solo afetasse o processo de nitrificação do solo. Hayatsu e Kosuge (1993) e Crusciol et al (2011) também constataram que a elevação do pH proporcionou maiores taxas de nitrificação o que culmina em menores teores de amônio. Ao observar o desdobramento dos micronutrientes em cada nível de acidez, não foi constatado um tratamento que influenciou de forma semelhante o teor de amônio durante as coletas (Tabela 2). O que pode ser indicativo de que os teores de micronutrientes aplicados tiveram pouca influência no processo de nitrificação do solo. Os teores médios de amônio nas quatro épocas foram 21,8, 16,8, 30,6 e 13,2 mg kg<sup>-1</sup>, aos 7, 14, 21 e 28 DAE, respectivamente. Os maiores teores nas coletas aos 7 e 21 DAE ocorreram devido a época de aplicação do N. A primeira aplicação de N foi logo após a emergência do arroz e a outra parte aos 15 dias após a primeira, fato que favoreceu as observações em tais coletas.

**Tabela 2.** Teor de amônio do solo aos 7, 14, 21 e 28 dias após a emergência (DAE) em função dos níveis de acidez e da aplicação de micronutrientes. Botucatu-SP, 2009.

Níveis de acidez	Micronutriente					Média
	Controle	Zn	Fe	Mn	CQT <sup>1</sup>	
	----- NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> – mg kg <sup>-1</sup> -----					
	7 DAE					
Alta	7,0abD	21,5abB	29,3abA	26,2bA	14,4cC	19,7c
Média	5,5bC	18,6bB	32,3aA	29,8aA	20,8bB	21,4b
Baixa	10,0aC	24,5aB	26,2bB	24,5bB	36,7aA	24,4a
	14 DAE					
Alta	15,0bB	19,4aA	20,2aA	15,2aB	22,6aA	18,5a
Média	21,8aA	16,9aB	15,7bB	14,6aB	21,3aA	18,0a
Baixa	12,5bA	12,7bA	14,0bA	14,3aA	15,5bA	13,8b
	21 DAE					
Alta	32,5aB	30,8aB	32,6aB	37,9aA	31,2aB	33,0a
Média	33,2aA	27,2aB	24,6bB	28,5bB	33,7aA	29,4b
Baixa	26,7bB	31,2aA	30,0aAB	27,0bB	32,4aA	29,4b
	28 DAE					
Alta	14,1aC	18,2aB	15,1aC	24,3aA	16,4aBC	17,6a
Média	12,9aA	6,0bC	10,5bAB	8,4cBC	10,8bAB	9,7c
Baixa	7,5bC	8,1bC	12,2abB	16,0bA	16,9aA	12,1b
Média	16,6	19,6	22,0	22,0	22,7	-

<sup>1</sup>CQT: Zn + Fe + Mn. Médias com a mesma letra, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem pelo teste LSD ( $p \leq 0,05$ ).

**Fonte:** Elaboração dos autores.



Os teores de  $\text{N-NO}_3^-$  no solo foram influenciados pela acidez do solo em todas as coletas (Tabela 3). Os maiores valores foram observados quando a acidez foi baixa. De acordo com Fageria (2000) e Crusciol et al. (2011) o aumento do pH incrementa o processo de nitrificação. Entretanto, na média não se observou um efeito dos micronutrientes

nos teores de nitrato no solo. Novamente, verifica-se o mesmo efeito que ocorreu nos teores de amônio, esses resultados podem ter ocorrido por que os teores de micronutrientes no solo estavam adequados e o suprimento deles via adubação não alterou o processo de nitrificação.

**Tabela 3.** Teor de nitrato do solo aos 7, 14, 21 e 28 dias após a emergência (DAE) em função dos níveis de acidez e da aplicação de micronutrientes. Botucatu-SP, 2009.

Níveis de acidez	Micronutriente					Média
	Controle	Zn	Fe	Mn	CQT <sup>1</sup>	
	----- NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> – mg kg <sup>-1</sup> -----					
	7 DAE					
Alta	24,5abC	33,8abA	32,9bA	29,9cAB	28,4bBC	29,9b
Média	20,6bC	32,3bB	32,3bB	38,3bA	33,8aB	31,5b
Baixa	25,0aC	37,0aB	39,4aB	45,2aA	37,5aB	36,8a
	14 DAE					
Alta	16,4bC	26,2bB	31,0bA	17,9cC	22,4bB	22,8c
Média	30,4aA	22,0bB	23,8cB	23,2bB	30,0aA	26,0b
Baixa	33,4aB	35,4aAB	38,7aA	33,7aB	32,4aB	34,7a
	21 DAE					
Alta	41,2aA	37,2aAB	39,1aAB	40,1aAB	36,7bB	38,9b
Média	35,2bC	37,1aBC	41,6aA	39,6aAB	39,4bAB	38,6b
Baixa	42,7aAB	40,6aAB	42,9aAB	40,2aB	45,3aA	42,3a
	28 DAE					
Alta	27,1bB	31,9aA	27,5bAB	30,6bAB	31,3bAB	29,7b
Média	28,4bAB	26,5bAB	31,0bA	25,6cB	28,5bAB	28,0b
Baixa	34,9aB	28,5abC	45,5aA	45,0aA	43,4aA	39,5a
Média	30,0	32,4	35,5	34,0	34,0	-

<sup>1</sup>CQT: Zn + Fe + Mn. Médias com a mesma letra, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem pelo teste LSD ( $p \leq 0,05$ ).

**Fonte:** Elaboração dos autores.

O teor de cobre (Cu) no arroz foi influenciado pela acidez do solo (Tabela 4). De maneira geral, constatou-se ocorrência dos maiores teores quando a acidez foi média (pH 5,5), com exceção da coleta aos 28 DAE. Assim os teores de Cu nas plantas de arroz variaram de 8,5 a 30,3 mg kg<sup>-1</sup> e estavam dentro a faixa ideal da cultura que é de 3-25 mg kg<sup>-1</sup> (RAIJ et al., 1996). Observando-se o desdobramento dos micronutrientes em cada nível de acidez, não constatou-se um tratamento que influenciasse de forma semelhante o teor de Cu

durante as coletas (Tabela 4). Entretanto na última avaliação (28DAE), verificou-se maiores teores de Cu em condições de alta acidez, o que pode ser reflexo da maior disponibilidade desse nutriente em menores pH. Segundo Malavolta (1980) quando o pH sobe forma-se hidróxidos e carbonatos menos disponíveis, consequentemente cai a concentração desse elemento na solução do solo. Os menores teores de Cu foram observados na coleta aos 28 DAE. Estes valores demonstram que ocorreu a diluição do micronutriente. Com o tempo de coleta ocorreu

aumento na produção de matéria seca e diminuição da concentração do elemento na planta. Este efeito ocorre quando a taxa de crescimento relativo de matéria seca é superior à taxa de absorção relativa do nutriente (MALAVOLTA, 1980).

Os teores de zinco (Zn) na parte aérea do arroz foram influenciados pela acidez do solo. Os maiores valores médios foram observados quando a acidez do solo foi alta (pH 4,5). De acordo com Tisdale, Nelson e Beaton (1985) a disponibilidade de Zn no solo diminui cerca de 100 vezes com o aumento de uma unidade de pH. Com a redução da disponibilidade dos micronutrientes no solo é de se esperar que também haverá diminuição na planta, o que de fato ocorreu. Em trabalhos com soja também foi observado a redução na concentração foliar de Zn, em razão do aumento do pH do solo (CAIRES

et al., 2001). Com o desdobramento dos dados em cada nível de acidez observou-se que em todas as coletas a aplicação de Zn no solo proporcionou as maiores concentrações de Zn na parte aérea. Esse resultado foi observado quando se aplicou somente o Zn ou quando o elemento foi aplicado juntamente com Fe e Mn (Tabela 5). Também Moreira et al. (2003) relataram que o aumento da disponibilidade de Mn na solução induziu a maior absorção de Zn pelas raízes de arroz. Entretanto, no presente estudo a aplicação somente do Mn não proporcionou aumento das concentrações de Zn na planta. O que pode ser indicativo de que a planta estava bem nutrida com esse elemento, como observado nos teores de Zn e comparado com a faixa ideal da cultura (MALAVOLTA, 1980).

**Tabela 4.** Teor de cobre na parte aérea do arroz aos 7, 14, 21 e 28 dias após a emergência (DAE) em função dos níveis de acidez do solo e da aplicação de micronutrientes. Botucatu-SP, 2009.

Níveis de acidez	Micronutriente					Média
	Controle	Zn	Fe	Mn	CQT <sup>1</sup>	
	----- Cu <sup>+2</sup> – mg kg <sup>-1</sup> -----					
7 DAE						
Alta	29,0bA	30,0aA	26,3bA	31,3bA	32,0aA	29,7b
Média	40,0aA	25,0aC	35,3aAB	38,7aA	31,0aBC	34,0a
Baixa	32,7bA	27,0aA	31,0abA	32,3bA	28,3aA	30,3b
14 DAE						
Alta	26,3aA	24,0aAB	22,3bB	23,6abAB	22,3aB	23,7b
Média	28,0aA	24,3aAB	22,4aB	23,0bB	25,0aAB	24,5ab
Baixa	27,7aA	23,3aB	25,7bAB	27,3aA	25,7aAB	26,0a
21 DAE						
Alta	12,0bB	12,0bB	12,0bB	18,0bA	15,3abA	13,8c
Média	17,7aB	17,0abBC	16,4aBC	24,0aA	14,3bC	17,8a
Baixa	17,7aA	14,7aA	15,0abA	16,4bA	17,7aA	16,3b
28 DAE						
Alta	13,4aAB	14,2aA	11,2aB	12,0aB	12,7aAB	12,7a
Média	6,0bB	8,0bAB	10,0aA	9,3bA	9,4bA	8,5b
Baixa	6,0bB	8,0bAB	11,2aA	9,0bB	12,3aA	9,3b
Média	21,4	19,0	20,0	22,0	20,5	-

<sup>1</sup>CQT: Zn + Fe + Mn. Médias com a mesma letra, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem pelo teste LSD ( $p \leq 0,05$ ).

**Fonte:** Elaboração dos autores.



**Tabela 5.** Teor de zinco na parte aérea do arroz aos 7, 14, 21 e 28 dias após a emergência (DAE) em função dos níveis de acidez do solo e da aplicação de micronutrientes. Botucatu-SP, 2009.

Níveis de acidez	Micronutriente					Média
	Controle	Zn	Fe	Mn	CQT <sup>1</sup>	
	----- Zn <sup>+2</sup> – mg kg <sup>-1</sup> -----					
				7 DAE		
Alta	44,0aD	72,0aB	54,7aC	70,3aB	80,0aA	64,2a
Média	39,0bC	55,0bA	39,0bC	48,2bB	55,0bA	47,2b
Baixa	33,7cB	44,0cA	31,7cB	32,7cB	40,0cA	36,4c
				14 DAE		
Alta	41,7aB	57,0aA	46,0aB	45,0aB	63,0aA	50,5a
Média	32,0bBC	58,0aA	30,0bC	32,0bBC	39,0bB	38,2b
Baixa	13,7cB	44,0bA	15,7cB	16,7cB	40,0bA	26,0c
				21 DAE		
Alta	58,6aC	76,6bB	61,7aC	60,8aC	85,0aA	68,5a
Média	47,6bD	84,0aA	59,0aC	43,0bD	74,0bB	61,5b
Baixa	30,7cD	79,6abA	38,8bC	33,5cCD	51,0cB	46,7c
				28 DAE		
Alta	53,0aC	68,0aB	55,0aC	60,0aBC	80,7aA	63,3a
Média	42,6bBC	64,0aA	47,0bB	38,0bC	66,0bA	51,5b
Baixa	33,0cB	54,0bA	35,0cB	40,7bB	53,6cA	43,3c
Média	39,0	63,0	42,8	43,4	60,6	-

<sup>1</sup>CQT: Zn + Fe + Mn. Médias com a mesma letra, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem pelo teste LSD ( $p \leq 0,05$ ).

**Fonte:** Elaboração dos autores.

Os teores de ferro (Fe) no solo foram influenciados pelos níveis de acidez (Tabela 6), sendo que, os valores na planta não diminuíram com o aumento do pH do solo. De acordo com Tisdale, Nelson e Beaton (1985) a disponibilidade de Fe diminui cerca de 1.000 vezes com o aumento de uma unidade de pH. O fato que pode explicar a pouca influência do pH nos teores de Fe na planta é que latossolos são ricos em Fe, tanto que Korndörfer et al. (1999) relatam que o teor de óxido de ferro em Latossolo Vermelho distroférico é alto e pode até causar toxidez a planta de arroz.

Os teores de manganês (Mn) na parte aérea do arroz foram influenciados pela acidez do solo em todas as coletas (Tabela 7). De modo geral, os

maiores valores foram observados quando a acidez do solo foi alta (pH 4,5) e os menores quando a acidez do solo foi baixa (pH 6,3). Tisdale, Nelson e Beaton (1985) relataram que o aumento de uma unidade no valor do pH diminuiu em cerca de 100 vezes a disponibilidade de Mn no solo. Estes dados justificam a redução de manganês na parte aérea do arroz com o aumento do pH. Também Caires e Fonseca (2000) observaram redução dos teores de Mn na cultura da soja em decorrência do aumento do pH do solo. Com o desdobramento dos dados em cada nível de acidez observou-se que de maneira geral a aplicação de Mn no solo proporcionou os maiores teores do elemento na parte aérea do arroz. Esse resultado é facilmente constatado quando se observa a média das quatro coletas (Tabela 7).

**Tabela 6.** Teor de ferro na parte aérea do arroz aos 7, 14, 21 e 28 dias após a emergência (DAE) em função dos níveis de acidez do solo e da aplicação de micronutrientes. Botucatu-SP, 2009.

Níveis de acidez	Micronutriente					Média
	Controle	Zn	Fe	Mn	CQT <sup>1</sup>	
	----- Fe <sup>3+</sup> – mg kg <sup>-1</sup> -----					
	7 DAE					
Alta	177,0cC	251,0aA	230,0aB	231,0aB	161,0bC	210,0a
Média	231,0bA	155,0bC	186,0bB	151,0bC	146,0bC	174,0c
Baixa	274,0aA	165,0bC	197,0bB	145,0bD	196,0aB	195,4b
	14 DAE					
Alta	228,0aA	188,0bC	196,0bBC	187,0bC	211,0bB	202,0c
Média	205,0bB	182,0bC	252,0aA	247,0aA	247,0aA	226,0b
Baixa	242,0aAB	254,0aA	240,0aAB	235,0aB	248,0aAB	244,0a
	21 DAE					
Alta	246,0aA	173,0bB	258,0aA	236,0aA	231,0aA	243,0a
Média	247,0aA	172,0bB	256,0aA	251,0aA	249,0aA	235,0a
Baixa	221,0aB	257,0aA	230,0aAB	236,0aAB	248,0aAB	238,0a
	28 DAE					
Alta	57,0bD	96,0bA	76,0abC	76,0bC	85,0bB	78,0b
Média	85,0aB	75,0cC	73,0bC	74,0bC	93,0aA	80,0b
Baixa	56,0bC	115,0aA	82,0aB	86,0aB	82,0bB	84,0a
Média	189,0	174,0	190,0	180,0	183,0	-

<sup>1</sup>CQT: Zn + Fe + Mn. Médias com a mesma letra, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem pelo teste LSD (p≤0,05).

**Fonte:** Elaboração dos autores.

**Tabela 7.** Teor de manganês na parte aérea do arroz aos 7, 14, 21 e 28 dias após a emergência (DAE) em função dos níveis de acidez do solo e da aplicação de micronutrientes. Botucatu-SP, 2009.

Níveis de acidez	Micronutriente					Média
	Controle	Zn	Fe	Mn	CQT <sup>1</sup>	
	----- Mn <sup>+2</sup> – mg kg <sup>-1</sup> -----					
	7 DAE					
Alta	672aAB	608aC	597aC	658aB	685aA	644a
Média	113bC	105bC	199bA	176bB	189bAB	156b
Baixa	128bB	93bC	163cA	175bA	126cB	137c
	14 DAE					
Alta	528aB	513aBC	499aC	525aB	546aA	522a
Média	204bB	243bA	248bA	242bA	200bB	227b
Baixa	138cC	168cB	187cA	202cA	144cC	168c
	21 DAE					
Alta	864aB	886aB	952aA	947aA	933aA	916a
Média	442bD	480bC	486bC	582bA	527bB	503b
Baixa	440bB	457bB	492bA	472cAB	440cB	460c
	28 DAE					
Alta	1.065aC	1.152aAB	1.131aB	1.188aA	1.060aC	1.119a
Média	484bC	358cD	761bA	578bB	474bC	531b
Baixa	410cB	425bB	415cB	613bA	404cB	453c
Média	457	457	511	530	477	-

<sup>1</sup>CQT: Zn + Fe + Mn. Médias com a mesma letra, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem pelo teste LSD (p≤0,05).

**Fonte:** Elaboração dos autores.

A atividade da enzima nitrato redutase (NR) foi influenciada pela acidez do solo em todas as épocas de coleta (Tabela 8). De maneira geral, a maior atividade foi constatada em condições de acidez média aos 7 e 14 DAE (pH 5,5). A maior atividade da NR para a acidez média pode ser atribuída a maior disponibilidade de nutrientes nesta condição e ao balanço nitrato/amônio. Na acidez média a proporção nitrato/amônio foi 1,5 e na baixa acidez 1,9 (Tabelas 2 e 3). Como já foi discutido anteriormente, a planta de arroz se desenvolve melhor em ambientes com quantidades semelhantes

entre nitrato e amônio (TA; OHIRA, 1981; LIN et al., 2005; LI et al., 2007; POLETTTO et al., 2011). Neste caso, a proporção nitrato/amônio da acidez média foi mais favorável ao bom desenvolvimento do arroz e, conseqüentemente, para a atividade da NR. Aos 21 e 28 DAE também houve maior atividade da NR na acidez baixa, o que pode ser reflexo dos maiores teores de nitrato nesse ambiente (Tabela 3). A maior disponibilidade de nitrato pode interferir positivamente no aumento da atividade da NR, pois trata-se do substrato da enzima (MALAVOLTA, 1980).

**Tabela 8.** Atividade da enzima nitrato redutase em folhas de arroz aos 7, 14, 21 e 28 dias após a emergência (DAE) em função dos níveis de acidez do solo e da aplicação de micronutrientes. Botucatu-SP, 2009.

Níveis de acidez	Micronutriente					Média
	Controle	Zn	Fe	Mn	CQT <sup>1</sup>	
<sup>2</sup> NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (µM g de matéria fresca h <sup>-1</sup> ) <sup>2</sup>						
7 DAE						
Alta	14,4aA	13,3aAB	13,6aAB	13,2aAB	12,7bB	13,4a
Média	12,1bB	13,5aAB	13,3aAB	13,6aA	14,7aA	13,4a
Baixa	11,1bBC	11,7bB	10,2bC	12,3aAB	13,6abA	11,8b
14 DAE						
Alta	8,5bA	8,3bA	8,6aA	7,2cA	8,1bA	8,1c
Média	14,1aA	11,7aB	10,7aB	13,8aA	11,4aB	12,3a
Baixa	9,9bB	10,4aB	9,3aB	11,1bAB	12,6aA	10,7b
21 DAE						
Alta	3,5bB	4,2bAB	5,3bA	4,4bAB	3,7bB	4,2b
Média	7,0aAB	7,9aA	6,3bB	7,4aAB	7,2aAB	7,2a
Baixa	7,7aA	7,9aA	8,0aA	7,6aA	7,2aA	7,7a
28 DAE						
Alta	3,1cAB	2,9bAB	3,4bA	2,3bB	2,4bB	2,8b
Média	5,4bBC	4,6aC	6,4aA	6,2aAB	5,8aAB	5,7a
Baixa	6,6aA	4,8aC	3,9bD	5,6aBC	6,4aAB	5,5a
Média	8,6	8,4	8,3	8,7	8,8	-

<sup>1</sup>CQT: Zn + Fe + Mn; <sup>2</sup>atividade da NR expressa pela quantidade de nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) formado. Médias com a mesma letra, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem pelo teste LSD ( $p \leq 0,05$ ).

**Fonte:** Elaboração dos autores.

Com o desdobramento dos micronutrientes em cada nível de acidez verificou-se que a atividade enzimática foi influenciada pela aplicação de micronutrientes (Tabela 8). Nenhum dos tratamentos se destacou, não havendo diferenças entre os tratamentos. Entretanto vale destacar que,

em condições de baixa acidez ocorreu aumento da atividade da NR em presença de Mn ou do coquetel (que também tem MN). Isso pode ser explicado pois em condição de baixa disponibilidade do nutriente (baixa acidez), a aplicação via fertilizante proporcionou incremento na atividade da NR. Por

outro lado, a adição do Fe não proporcionou efeito, uma vez que esse nutriente existe em abundância nos Latossolos, como descrito anteriormente. O Fe e o Mn atuam no transporte de elétrons e os processos envolvidos são afetados, dentre eles a redução de nitrato. Isto acarreta acúmulo de nitrito podendo exercer um controle em *feedback* sobre a nitrato redutase de tal modo que o  $\text{NO}_3^-$  se acumula, como, algumas vezes, é observado em plantas deficientes em Fe e Mn (KIRKBY; RÖMHELD, 2007). A atividade da NR diminuiu com o tempo de desenvolvimento do arroz. Mediante os resultados, constata-se que ocorreu diluição da quantidade de  $\text{NO}_2^-$  formada. Com o tempo de coleta ocorreu aumento na produção de matéria seca e diminuição da concentração do nitrito formado na parte aérea das plantas.

A matéria seca da parte aérea (MSPA), aos 60 DAE, não diferiu entre a acidez média (pH 5,5) e alta (pH 4,5), com exceção do controle (Tabela 9). No entanto, ambos proporcionaram incrementos em relação a acidez baixa (pH 6,3), com exceção ao Zn. Quanto ao desdobramento dos micronutrientes em cada nível de acidez, observou-se que para a acidez média e alta a adição de micronutrientes proporcionou incrementos de MSPA em relação ao controle. Para a acidez baixa, a adição dos micronutrientes Mn e Fe não proporcionaram acréscimos de MSPA. Plantas maiores absorvem maiores quantidades de nutrientes, ou seja tem maior efeito concentração. Nesse sentido, o arroz de terras altas tem como característica se desenvolver melhor em ambientes com acidez alta e média (MALAVOLTA, 1980; FAGERIA, 2000). Assim, em condições de baixa acidez, a planta se desenvolve menos, produziu menos MSPA e

absorveu menos nutrientes, dessa forma mesmo a aplicação via foliar não proporcionou incrementos nesse parâmetro.

O número de perfilhos por planta foi influenciado pela acidez do solo de forma semelhante ao MSPA, ou seja, houve diferenças entre a acidez média e alta apenas na ausência de micronutrientes (Tabela 9). O maior número de panículas por planta foi observado com a acidez média, em relação ao efeito dos micronutrientes em cada nível de acidez constatou-se maiores efeitos com a adição do Zn, sozinho ou no coquetel (Mn+Zn+Fe). A cultura do arroz possui alta resposta à aplicação de Zn (FAGERIA, 2000). Plantas com deficiência de Zn, em estágios iniciais de desenvolvimento, têm seu desenvolvimento afetado e dificilmente poderão expressar seu máximo potencial genético (EPSTEIN; BLOOM, 2006).

O número de espiguetas por panícula foi pouco alterado pela variação da acidez do solo, e o efeito dos micronutrientes em cada índice de acidez foi pouco expressivo (Tabela 9). A fertilidade das espiguetas foi maior em baixa acidez, provavelmente devido ao menor número panículas por planta, resultando em menor número de espiguetas para granar e, conseqüentemente, menor esterilidade das espiguetas (FAGERIA, 2000). Constatou-se os menores valores do peso de 100 grãos na condição de alta acidez do solo com a aplicação de Fe (Tabela 9). O que pode ser explicado pela maior disponibilidade desse nutriente (Tabela 1) nesse tipo de ambiente (mais ácido), que juntamente com a presença nos latossolos poderia causar uma certa toxidez (FAGERIA, 2000).

**Tabela 9.** Matéria seca da parte aérea e número de perfilhos por planta aos 60 DAE e componentes da produção e produtividade de grãos do arroz de terras altas em função dos níveis de acidez do solo e da aplicação de micronutrientes. Botucatu-SP, 2009.

Níveis de acidez	Micronutriente					Média
	Controle	Zn	Fe	Mn	CQT <sup>1</sup>	
Matéria seca da parte aérea (g planta <sup>-1</sup> )						
Alta	16bB	22aA	19aAB	21aA	21aA	19,8b
Média	20aB	25aA	21aAB	23aAB	24aA	22,6a
Baixa	13bBC	13bBC	19aA	12bC	17bAB	14,8c
Média	16B	20A	20A	19A	21A	-
Perfilhos (n.º planta <sup>-1</sup> )						
Alta	13bB	18aA	19aA	19aA	18aA	17,4a
Média	16aB	20aA	17aB	19aAB	19aAB	18,2a
Baixa	12bA	12bA	13bA	12bA	13bA	12,4b
Média	14B	17A	16A	17A	17A	-
Panículas (n.º planta <sup>-1</sup> )						
Alta	12bC	15aA	11bC	13aB	15aA	13b
Média	14aB	16aA	14aB	14aB	14aB	14a
Baixa	9cB	11bA	7cC	8bB	10bA	9c
Média	12C	14A	11D	12C	13B	-
Espiguetas (n.º panícula <sup>-1</sup> )						
Alta	66aAB	69aA	70aA	63bAB	58bC	65a
Média	70aAB	69aAB	61bB	75aA	75aA	70a
Baixa	75aA	65aB	72aAB	75aA	74aA	72a
Média	70A	68A	68A	71A	69A	-
Fertilidade das espiguetas (%)						
Alta	62aA	60bA	55bA	55bA	55aA	57,8b
Média	65aA	60bA	66bA	66bA	58aA	60,8b
Baixa	72aAB	83aA	83aA	83aA	65aB	73,0a
Média	66A	68A	68A	67A	59B	-
Peso de 100 grãos (gramas)						
Alta	2,6aABC	2,4aBC	2,1aC	2,8aAB	2,9aA	2,6a
Média	2,3aA	2,3aA	2,5aA	2,5aA	2,2bA	2,4a
Baixa	2,5aA	2,6aA	2,6aA	2,4aA	2,5abA	2,5a
Média	2,5A	2,4A	2,4A	2,6A	2,5A	-
Produtividade de grãos (g planta <sup>-1</sup> )						
Alta	12aA	12aA	13aA	13bA	13aA	12,6b
Média	14aB	13aB	13aB	18aA	12aB	14,0a
Baixa	12aA	11aA	13aA	12bA	12aA	12,0b
Média	13AB	12B	13AB	14A	12B	-

<sup>1</sup>CQT: Zn + Fe + Mn. Médias com a mesma letra, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem pelo teste LSD (p≤0,05).

**Fonte:** Elaboração dos autores.

A produtividade de grãos por planta foi pouco influenciada pelos níveis de acidez do solo (Tabela 9), sendo que, observou-se maior produtividade na acidez média (pH 5,5) somente com a aplicação de

Mn. Com o desdobramento dos micronutrientes em cada nível de acidez, observou-se que para baixa e alta acidez não houve diferença. A razão para a maior produtividade de grãos com aplicação de Mn,

pode ser devido a elevação do pH do solo reduzir a disponibilidade de alguns nutrientes (Tabela 1), como o Mn (MALAVOLTA, 1980; SORATTO; CRUSCIOL, 2008) e o seu fornecimento via adubação suprir a planta. Quando a acidez passou de alta à média, a adição de Mn foi essencial para o aumento da produtividade de grãos. Observou-se também que essa cultivar parece não ser tolerante a alta acidez do solo (pH 4,5) e, também, a baixa acidez (pH 6,3), devido a redução na disponibilidade de amônio (Tabela 2), Cu (Tabela 4), Zn (Tabela 5) e Mn (Tabela 7) e aumento na disponibilidade de nitrato (Tabela 2), pois causou reduções significativas na cultura.

Dessa forma, pode-se observar que pH em torno de 5,5 foi o mais favorável à cultura do arroz, pois proporcionou valores médios de amônio (Tabela 2) e baixos de nitrato (Tabela 3). Esses resultados corroboram com os de Araújo (2005) que relatou que o arroz possui melhor desenvolvimento em ambientes com maiores quantidade de nitrogênio no solo na forma de amônio em relação ao nitrato. No entanto, apesar da importância do N na forma amoniacal para o arroz, ambiente somente com essa forma de N também pode ser prejudicial à cultura (LIN et al., 2005; LI et al., 2007; POLETO et al., 2011).

## Conclusões

A adição de micronutrientes não afeta os teores de amônio e nitrato no solo;

A acidez do solo afeta significativamente os teores de nitrato e amônio no solo, o teor de micronutrientes pelas plantas de arroz, a produtividade da cultura e os componentes de produção;

A acidez média do solo (pH 5,5) propicia teores médios a altos de Cu e Fe, médios de Zn e Mn, alta atividade da enzima NR, resultando em maiores valores de matéria seca, perfilhos, panículas, espiguetas, peso de 100 grãos e consequentemente produtividade de grãos.

## Agradecimentos

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

## Referências

- ARAÚJO, J. L. *Atividade da redutase do nitrato sobre o crescimento e produção de grãos de arroz*. 2005. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- BOUMAN, B. A. M.; FENG, L. P.; TUONG, T. P.; LU, G. A.; WANG, H. Q. Exploring options to grow rice using less water in northern China using a modeling approach II: Quantifying yield, water balance components, and water productivity. *Agricultural Water Management*, Amsterdam, v. 88, n. 1-3, p. 23-33, 2007.
- CAIRES, E. F.; FONSECA, A. F. Absorção de nutrientes pela soja cultivada no sistema de plantio direto em função da calagem na superfície. *Bragantia*, Campinas, v. 59, n. 2, p. 213-220, 2000.
- CAIRES, E. F.; FONSECA, A. F.; FFELDHAUS, I. C.; BLUM, J. Crescimento radicular e nutrição da soja cultivada no sistema plantio direto em resposta ao calcário e gesso na superfície. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 25, n. 4, p. 1029-1040, 2001.
- CRUSCIOL, C. A. C.; COSTA, A. M.; BORGHI, E.; CASTRO, G. S. A.; FERNANDES, D. M. Fertilizer distribution mechanisms and side dress nitrogen fertilization in upland rice under no-tillage system. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 67, n. 5, p. 562-569, 2010.
- CRUSCIOL, C. A. C.; GARCIA, R. A.; CASTRO, G. S. A.; ROSOLEM, C. A. Nitrate role in basic cation leaching under no-till. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 35, n. 6, p. 1975-1984, 2011.
- D'ANDRÉA, A. F.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; GUILHERME, L. R. G. Estoque de carbono e formas de nitrogênio mineral em solo submetido a diferentes sistemas de manejo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 39, n. 2, p. 179-186, 2004.
- EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. *Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas*. Londrina: Planta, 2006. 86 p.
- FAGERIA, N. K. Resposta de arroz de terras altas à correção de acidez em solo de cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 35, n. 11, p. 2303-2307, 2000.



- HAYATSU, M.; KOSUGE, N. Effects of urea fertilization and liming on nitrification in Cerrados soils (Brazil). *Soil Science and Plant Nutrition*, Tokyo, v. 39, n. 2, p. 367-371, 1993.
- JAWORSKI, E. G. Nitrate reductase assay in intact plant tissues. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, Easton, v. 43, n. 6, p. 1274-1279, 1971.
- KIRKBY, E. A.; RÖMHELD, V. Micronutrientes na fisiologia de plantas: funções, absorção e mobilidade. *Informações Agronômicas*, n. 118, p. 1-24, 2007.
- KLUTHCOUSKI, J.; FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D.; RIBEIRO, C. M.; FERRARO, L. A. Manejo do solo e o rendimento de soja, milho, feijão e arroz em plantio direto. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 57, n. 1, p. 97-104, 2000.
- KORNDÖRFER, G. H.; ARANTES, V. A.; CORREA, G. F.; SNYDER, G. H. Efeito do silicato de cálcio no teor de silício no solo e na produção de grãos de arroz de sequeiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 23, n. 3, p. 623-629, 1999.
- LI, Y. L.; ZHANG, Y. L.; HU, J.; SHEN, Q. R. Contribution of nitrification happened in rhizospheric soil growing with different rice cultivars to N nutrition. *Biology and Fertility of Soils*, Berlin, v. 43, n. 4, p. 417-425, 2007.
- LIN, S.; LI, J.; SATTELMACHER, B.; BRÜCK, H. Response of lowland and aerobic rice to ammonium and nitrate supply during early growth stages. *Journal of Plant Nutrition*, New York, v. 28, n. 9, p. 1495-1510, 2005.
- MALAVOLTA, E. *Elementos de nutrição mineral de plantas*. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251 p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. *Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações*. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 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, v. 32, n. 3, p. 939-948, 2011.
- MOREIRA, A.; GARCIA, A. L. G.; HEINRICHS, R.; MALAVOLTA, E. Influência do magnésio, boro e manganês na absorção de zinco por raízes destacadas de duas cultivares de arroz. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 24, n. 2, p. 213-218, 2003.
- NASCENTE, A. S.; GUIMARÃES, C. M.; COBUCCI, T.; CRUSCIOL, C. A. C. *Brachiaria ruziziensis* and herbicide on yield of upland rice. *Planta Daninha*, Viçosa, v. 30, n. 4, p. 729-735, 2012.
- NASCENTE, A. S.; KLUTHKOUSKI, 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, n. 1, p. 60-65, 2011a.
- NASCENTE, A. S.; KLUTHKOUSKI, J.; RABELO, R. R.; OLIVEIRA, P.; COBUCCI, T.; CRUSCIOL, C. A. C. Desenvolvimento e produtividade de cultivares de arroz de terras altas em função do manejo do solo. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, v. 41, n. 2, p. 189-192, 2011b.
- POLETO, N.; MUNDSTOCK, C. M.; GROHS, D. S.; MAZURANA, M. Padrão de afilamento em arroz afetado pela presença dos íons amônio e nitrato. *Bragantia*, Campinas, v. 70, n. 1, p. 96-103, 2011.
- RAIJ, B.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. *Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais*. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285 p.
- RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1996. 285 p.
- SANTOS, A. M.; BUCHER, C. A.; STARK, E. M. L. M.; FERNANDES, M. S.; SOUZA, S. R. Efeito da disponibilidade de nitrato em solução nutritiva sobre a absorção de nitrogênio e atividade enzimática de duas cultivares de arroz. *Bragantia*. Campinas, v. 68, n. 1, p. 215-220, 2009.
- SILVA, F. C. *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 370 p.
- SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Dolomite and phosphogypsum surface application effects on annual crops nutrition and yield. *Agronomy Journal*, Madison, v. 100, n. 2, p. 261-270, 2008.
- TA, T. C.; OHIRA, K. Effects of various environmental and medium conditions on the response of Indica and Japonica rice plants to ammonium and nitrate nitrogen. *Soil Science and Plant Nutrition*, Tokyo, v. 27, n. 3, p. 347-355, 1981.
- TISDALE, S. I.; NELSON, W. I.; BEATON, J. D. *Soil fertility and fertilizers*. 4. ed. New York: Macmillan, 1985. 754 p.