



Ciência Rural

ISSN: 0103-8478

cienciarural@mail.ufsm.br

Universidade Federal de Santa Maria  
Brasil

Schmidt, Fabiana; Bortolon, Leandro; Oliveira de Sousa, Rogério  
Toxidez pelos ácidos propiônico e butírico em plântulas de arroz  
Ciência Rural, vol. 37, núm. 3, maio-junho, 2007, pp. 720-726  
Universidade Federal de Santa Maria  
Santa Maria, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33137318>

- 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

## Toxidez pelos ácidos propiônico e butírico em plântulas de arroz

### Toxicity of propionic and butyric acids in rice seedlings

Fabiana Schmidt<sup>1</sup> Leandro Bortolon<sup>1</sup> Rogério Oliveira de Sousa<sup>1\*</sup>

#### RESUMO

A decomposição anaeróbia da matéria orgânica em solos alagados produz ácidos orgânicos de cadeia curta que podem ser tóxicos para o arroz. Com o objetivo de avaliar o efeito de diferentes concentrações dos ácidos propiônico e butírico, em solução nutritiva, no crescimento de plantas de arroz (*Oryza sativa* L.) e na absorção de nutrientes, foram desenvolvidos dois experimentos em bancada com iluminação artificial no Laboratório de Nutrição de Plantas da DS/FAEM/UFPEL. Foram realizados dois experimentos em delineamento experimental inteiramente casualizado com seis repetições. Um dos experimentos constou de sete níveis de ácido propiônico: 0,00; 1,25; 2,50; 3,75; 5,00; 6,25; 7,50mM e o outro de sete níveis de ácido butírico: 0,00; 1,00; 2,00; 3,00; 4,00; 5,00; 6,00mM. Plântulas de arroz da cultivar "RS 7" com dois dias de germinação foram cultivadas durante treze dias em tubos de ensaio contendo solução nutritiva completa e doses dos ácidos propiônico e butírico equivalentes aos diferentes tratamentos. O crescimento da raiz e da parte aérea do arroz e a produção de matéria seca foram sensivelmente reduzidos com o aumento das doses dos ácidos orgânicos na solução nutritiva. A raiz apresentou maior sensibilidade aos ácidos do que a parte aérea. Doses pequenas dos ácidos, como 1,25mM de propiônico e 1,00mM de butírico, já foram suficientes para causar uma inibição de 37 e 33% no comprimento do sistema radicular, respectivamente. Os ácidos propiônico e butírico também diminuíram a absorção de N, K, Ca e Mg em plantas de arroz da cultivar "BRS 7".

**Palavras-chave:** ácidos orgânicos, toxicidade, decomposição anaeróbia.

#### ABSTRACT

The anaerobic decomposition of organic matter in flooded soils produces short chain organic acids that can be toxic for the rice crop. With the objective of studying the effect of propionic and butyric acids on the growth and nutrients uptake

of rice (*Oryza sativa* L.) plants in nutrient solution, two experiments were carried out on the Plant Nutrition Laboratory DS/FAEM/UFPEL. The experiments were designed as complete randomized plots with six replications, consisting of seven levels of propionic (0.00; 1.25; 2.50; 3.75; 5.00; 6.25; 7.50mM) and butyric (0.00; 1.00; 2.00; 3.00; 4.00; 5.00; 6.00mM) acids, respectively. Two-day old rice seedlings of cultivar BRS 7 were placed for thirteen days on test tube containing complete nutrient solution and different levels of propionic and butyric acids. Root and shoot growth of rice plants was decreased with an increase in organic acid levels. The root presented greater sensitivity than shoot. Small levels of acid such as 1.25mM (propionic) and 1.00mM (butyric) were enough to cause an inhibition of 37% and 33% in the length of the radicular system, respectively. The addition of propionic and butyric acids decreased N, K, Ca and Mg uptake by rice plants.

**Key words:** organic acids, toxicity, anaerobic decomposition.

#### INTRODUÇÃO

A utilização de uma lâmina de água sobre o solo durante a maior parte do desenvolvimento do arroz irrigado é a característica mais marcante do sistema de cultivo dessa cultura. Quando o solo é alagado, além de praticamente todos os seus poros serem ocupados pela água, é mantida uma lâmina de água sobre sua superfície. O sistema passa por um período de adaptação de condições oxidadas para reduzidas, que é marcado pela mudança da atividade bioquímica, atingindo um novo estado de equilíbrio determinado pelas reações de redução, que fazem com que as características do solo sejam distintas das de antes do alagamento (SOUSA, 2001).

<sup>1</sup> Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas (UFPEL). CP 354, 96010-900, Pelotas, RS, Brasil. E-mail: rosousa@ufpel.tche.br. \*Autor para correspondência.

A troca de gases entre o solo e a atmosfera ocorre principalmente por difusão. A difusão do  $O_2$  na água é cerca de 10 mil vezes mais lenta do que no ar. Em consequência, após o alagamento, o suprimento de oxigênio para o solo torna-se extremamente lento, e muito aquém da demanda microbiológica. Os microrganismos aeróbios consomem o  $O_2$  presente inicialmente no solo e tornam-se inativos ou morrem. Então, os microrganismos anaeróbios facultativos e obrigatórios, representados predominantemente por bactérias, proliferam utilizando a matéria orgânica como fonte de energia e compostos oxidados do solo e produtos da dissimilação da matéria orgânica como receptores finais de elétrons (VAHL, 1999).

A decomposição anaeróbia de resíduos vegetais em solos alagados produz uma série de compostos intermediários, entre os quais se destacam os ácidos orgânicos alifáticos de baixo peso molecular, como o fórmico, o acético, o propiônico e o butírico, que ocorrem, usualmente, na faixa de concentração de 0,1 a 14 mM (CAMARGO et al., 2001; SOUSA et al., 2002).

A espécie de ácido e a velocidade com que é acumulado no solo, após o início do alagamento, dependem do tipo de matéria orgânica e das espécies de microrganismos envolvidos. A produção de ácidos é lenta nos primeiros dias de alagamento e aumenta conforme aumenta a atividade dos microrganismos anaeróbios. Porém, em solos com altos teores de matéria orgânica e naqueles em que é incorporada matéria orgânica na forma de palha ou de adubos verdes, as concentrações dos ácidos orgânicos podem ser altas a partir da primeira ou segunda semana de alagamento (SOUSA et al., 2002). Nesta condição, os ácidos orgânicos prejudicam o desenvolvimento da cultura principalmente pela inibição da elongação das raízes e da absorção de nutrientes.

A toxidez por ácidos orgânicos na cultura do arroz irrigado manifesta-se, principalmente, nas fases iniciais de desenvolvimento do arroz, caracterizando-se por uma menor germinação, um menor crescimento radicular, um menor peso e uma menor altura de plântulas (SOUSA & BORTOLLON, 2002). Em casos de toxidez mais severa, os prejuízos ao crescimento das plantas podem se refletir em outras fases, ocorrendo menor perfilhamento, menor absorção de nutrientes e menor rendimento de grãos (CAMARGO et al., 2001).

No Brasil, são poucos os trabalhos a respeito de toxidez por ácidos orgânicos; porém, existe hoje um

maior interesse pelo assunto principalmente devido à adoção dos sistemas de plantio direto e cultivo mínimo de arroz irrigado, os quais proporcionam a manutenção de resíduos vegetais na superfície do solo. Nesses sistemas, a concentração de ácidos orgânicos é alta na camada mais superficial do solo, justamente onde se encontra a maior parte do sistema radicular do arroz (SOUSA, 2001).

Assim, é importante a determinação das concentrações tóxicas dos ácidos orgânicos para as cultivares de arroz recomendadas para cultivo, pois os valores reportados na literatura são bastante variáveis e determinados em genótipos não utilizados no Brasil. Portanto, o presente trabalho teve por objetivo avaliar o efeito de diferentes concentrações dos ácidos propiônico e butírico em solução nutritiva no crescimento e na absorção de nutrientes em plantas de arroz irrigado da cultivar “BRS 7”.

## MATERIAL E MÉTODOS

Para atingir o objetivo proposto, foram conduzidos dois experimentos em solução nutritiva, no Laboratório de Nutrição de Plantas do Departamento de Solos da FAEM/UFPEL, em bancada de laboratório com fornecimento de luz artificial, utilizando-se como unidades experimentais tubos de ensaio com volume de 40 ml. Em um dos experimentos, os tratamentos constaram de doses do ácido propiônico de 0,00; 1,25; 2,50; 3,75; 5,00; 6,25; 7,50mM, e, no outro, os tratamentos foram doses do ácido butírico de 0,00; 1,00; 2,00; 3,00; 4,00; 5,00; 6,00mM adicionados à solução nutritiva completa (Tabela 1). Os experimentos foram conduzidos em delineamento inteiramente casualizado, com 6 repetições.

Sementes de arroz da cultivar “BRS 7” (“Taim”) foram colocadas para germinar no interior de um conjunto formado por duas folhas de papel de germinação entre duas esponjas e dois pedaços de isopor de 1cm de espessura, todos com dimensões de 10cm de comprimento por 5cm de largura, e colocados em vasilha plástica contendo água destilada, para que permanecessem úmidos.

Após a germinação das sementes, quando a radícula apresentou 3cm, foi realizada uma seleção das plântulas mais uniformes, que foram colocadas em discos de isopor, com diâmetro um pouco inferior ao diâmetro do tubo de ensaio. Nos discos de isopor, foi

Tabela 1 - Concentração de nutrientes e substâncias utilizadas no preparo da solução nutritiva.

Nutriente fornecido	Quantidade	Substância utilizada
	mg L <sup>-1</sup>	
N	28	CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>
N	28	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> · 4H <sub>2</sub> O
Ca	40	
K	45	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>
P	36	
Ca	20	CaCl <sub>2</sub> · 2H <sub>2</sub> O
Cl	35	
Mg	30	MgSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O
S	40	
Mn	0,5	MnCl <sub>2</sub> · 2H <sub>2</sub> O
Cl	0,64	
Mo	0,01	(NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> Mo <sub>7</sub> O <sub>4</sub> · 4H <sub>2</sub> O
N	0,004	
B	0,25	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>
Cu	0,5	CuSO <sub>4</sub> · 5H <sub>2</sub> O
S	0,25	
Fe	5,0	FeSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O + Na EDTA
Zn	0,1	ZnSO <sub>4</sub> · 5H <sub>2</sub> O
S	0,05	

feita uma incisão da extremidade ao centro, onde a plântula foi inserida, permitindo assim sua sustentação. Os tubos de ensaio, os discos de isopor e a pinça utilizada para manusear as sementes foram esterilizados em luz ultravioleta por 30 minutos, em capela de fluxo laminar vertical. Em seguida, os tubos de ensaio foram preenchidos com 30ml de solução nutritiva e quantidades variáveis dos ácidos propiônico e butírico, de modo que as concentrações finais dos ácidos corresponderem às concentrações de cada tratamento. O pH da solução nutritiva foi ajustado ao valor 4,7 utilizando-se HCl 0,5M e NaOH 1,0M.

Os tubos de ensaio foram colocados em um suporte de isopor recoberto com papel laminado. A parte superior do tubo de ensaio (1cm) ficou para fora do suporte, porém foi fechada individualmente com papel laminado, ficando um pequeno furo que permitiu

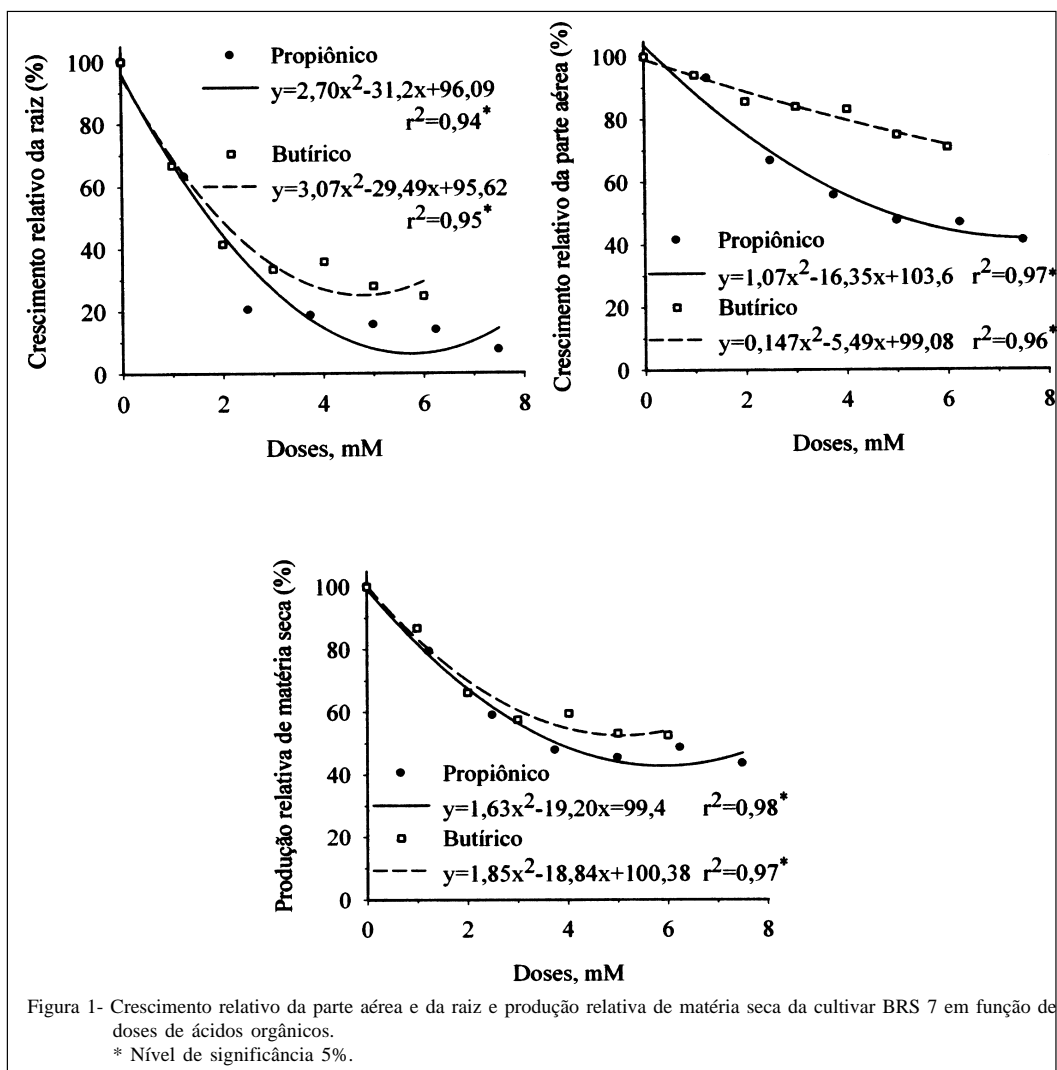
o crescimento da planta. Com isso, a solução nutritiva permaneceu no escuro durante a realização do experimento, impedindo a proliferação de algas que poderiam alterar a sua composição e interferir na absorção de nutrientes pelas plantas. Foi realizada uma troca da solução nutritiva aos sete dias após o transplante. As plantas permaneceram 13 dias na solução nutritiva, sendo colhidas após este período.

Após a coleta do material, realizou-se a separação da parte aérea e raízes, determinando-se o comprimento das mesmas. Em seguida, foram secadas em estufa a 60°C até peso constante, para determinação da matéria seca e dos teores de N, P, K, Ca e Mg, conforme metodologia descrita por TEDESCO et al. (1995).

Os dados foram submetidos à análise da variância pelo teste F, a 5% de probabilidade, e regressão polinomial utilizando o Sistema de Análise Estatística para Microcomputadores – SANEST – (ZONTA & MACHADO, 1984). Os valores da variável independente (X) corresponderam às doses dos ácidos propiônico e butírico e os da variável dependente (Y) aos valores obtidos para as diferentes variáveis avaliadas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O crescimento da raiz e da parte aérea do arroz e a produção de matéria seca foram sensivelmente reduzidos com o aumento das doses dos ácidos orgânicos na solução nutritiva (Figura 1). Embora tenha havido efeito negativo tanto no crescimento da parte aérea como no sistema radicular, a raiz apresentou maior sensibilidade aos ácidos. Para uma mesma concentração de cada ácido, houve um menor crescimento relativo da raiz do que da parte aérea (Figura 1). Os ácidos orgânicos interferem em processos responsáveis pela produção de energia no sistema radicular, como a respiração e a fosforilação oxidativa (TAKENAGA, 1995), e são inibidores de funções das mitocôndrias. Alguns processos como desacoplamento da fosforilação oxidativa, transporte de metabólitos e de enzimas solúveis no citossol e funções ligadas a endomembranas, como as responsáveis pela síntese de polissacarídeos e a ATPase, são inibidos na presença dos ácidos orgânicos. Além disso, a presença de ácidos monocarboxílicos altera a composição dos ácidos graxos na membrana plasmática, promovendo um decréscimo da proporção de ácidos graxos poliinsaturados, o que determina um aumento nas perdas de solutos, principalmente de nutrientes como



nitrogênio e potássio (MARSCHNER, 1995). Esses distúrbios fisiológicos concorrem para reduzir o crescimento do sistema radicular e da parte aérea do arroz, e para o menor perfilhamento e absorção de nutrientes, que podem levar a um menor rendimento de grãos.

Houve diferença no efeito fitotóxico dos ácidos. Para uma dose de 5mM, por exemplo, o crescimento relativo da raiz foi de 25% para o butírico e 7,7% para o propiônico (Figura 1), o que demonstra um aumento da fitotoxidez nessa ordem. Esses resultados, de certo modo, discordam de outros trabalhos (TAKIJIMA, 1964; RAO & MIKKELSEN, 1977), que demonstraram uma maior toxidez com o aumento no número de carbonos da cadeia alifática. Baixas

concentrações dos ácidos, como 1,25mM de propiônico e 1,00 mM de butírico, já foram suficientes para causar redução significativa no crescimento do sistema radicular (Figura 1). Na literatura, tem-se observado toxidez a partir de concentrações maiores desses ácidos (KOOP, 2004). Porém, existe uma grande variação nos níveis críticos de toxidez (SOUSA & BORTOLON, 2002; CAMARGO et al., 2001), provavelmente devido às diferenças nas condições de realização dos experimentos, principalmente no que se refere aos genótipos utilizados, aos teores de nutrientes e ao pH da solução nutritiva. Diferenças nos valores de pH podem afetar significativamente a toxidez por ácidos orgânicos, pois o decréscimo no pH leva a um aumento

das formas não dissociadas dos ácidos, que são mais solúveis nas membranas (MARSCHNER, 1995), sendo absorvidos em maior quantidade, aumentando a toxidez.

Para o ácido propiônico, a concentração de 5mM foi capaz de causar uma inibição de 53% no crescimento da parte aérea, enquanto que no sistema radicular o efeito inibitório foi de 85%. Já para o ácido butírico, uma inibição de 30% no crescimento do sistema radicular foi obtida a uma concentração de 1,00mM, enquanto que, na parte aérea, para atingir um valor aproximado de inibição, foi necessário uma concentração de 6mM de ácido butírico. RAO & MIKKELSEN (1977) observaram reduções de 38% no crescimento da parte aérea do arroz e de 49% na raiz, com doses de 5mM de ácido propiônico, e de 42% na parte aérea e de 63% na raiz, com o ácido butírico. SOUSA & BORTOLLON (2002) observaram uma inibição de 50% no crescimento do sistema radicular do arroz com dose de 4,7mM de ácido acético, enquanto que, na parte aérea do arroz, foi necessária a concentração de 8mM para atingir o mesmo percentual de inibição. Em razão desses resultados, programas de melhoramento de arroz têm utilizado o comprimento da raiz para selecionar genótipos mais tolerantes a ácidos orgânicos (KOOP, 2004).

Os ácidos propiônico e butírico afetaram negativamente os teores de nitrogênio, potássio, cálcio e magnésio na parte aérea do arroz (Tabelas 2, 3, 4 e 5). Diversos autores (TAKIJIMA, 1964; RAO & MIKKELSEN, 1977; SOUSA & BORTOLLON, 2002)

também observaram menor acumulação de nutrientes como efeito dos ácidos orgânicos em arroz. A diminuição no crescimento radicular e a inibição de processos responsáveis pela geração de energia, como a fosforilação oxidativa, seriam responsáveis pela menor absorção de nutrientes na presença de ácidos orgânicos (TAKENAGA, 1995; CAMARGO et al., 2001). Todavia, outro efeito importante poderia estar relacionado com a integridade da membrana plasmática. A presença de ácidos monocarboxílicos, como o acético, o propiônico e o butírico, alteraria a composição dos ácidos graxos na membrana plasmática, promovendo um decréscimo da proporção de ácidos graxos poliinsaturados, o que determina uma perda da capacidade seletiva das membranas, aumentando o extravasamento de solutos (MARSCHNER, 1995). SOUSA et al. (2003) verificaram um aumento do potássio exsudado pelo sistema radicular do arroz com o aumento nas doses de ácido acético em solução nutritiva. É provável que haja também exsudação de outros nutrientes como efeito da toxidez por ácidos orgânicos.

## CONCLUSÕES

O crescimento do arroz, cultivar “BRS 7”, é afetado negativamente na presença dos ácidos propiônico e butírico, a partir de concentrações de 1,25mM e 1,00mM, respectivamente. Os ácidos propiônico e butírico diminuíram a acumulação de N, K, Ca e Mg em plantas de arroz da cultivar “BRS 7”.

Tabela 2 - Concentração de nutrientes ( $\text{g kg}^{-1}$ ) e quantidade acumulada ( $\text{mg planta}^{-1}$ ) na parte aérea da cultivar de arroz “BRS 7” em função de doses de ácido propiônico em solução nutritiva.

Ácido Propiônico	N	P	K	Ca	Mg
mM			$\text{g kg}^{-1}$		
0,00	45,9	3,8	19,1	4,2	8,3
1,25	48,1	4,1	17,7	3,5	7,9
2,50	43,6	7,1	29,3	4,4	8,8
3,75	40,8	2,2	26,0	3,8	9,7
5,00	37,6	4,7	23,5	3,1	9,0
6,25	34,2	3,9	22,5	1,8	7,8
7,50	31,7	2,5	24,2	2,5	8,1
			$\text{mg planta}^{-1}$		
0,00	0,87	0,073	0,36	0,079	0,158
1,25	0,72	0,062	0,26	0,053	0,119
2,50	0,48	0,078	0,32	0,049	0,097
3,75	0,37	0,020	0,23	0,034	0,098
5,00	0,34	0,043	0,21	0,028	0,081
6,25	0,31	0,035	0,20	0,016	0,070
7,50	0,25	0,020	0,19	0,020	0,065

Tabela 3 - Equações de regressão entre as doses de ácido propiônico (X) em solução nutritiva e a concentração de nutrientes na parte aérea, em g kg<sup>-1</sup>, e quantidade acumulada, mg planta<sup>-1</sup>, da cultivar de arroz “BRS-7”.

Elementos	Teor no tecido		Quantidade acumulada por planta	
	Equação	r <sup>2</sup>	Equação	r <sup>2</sup>
N	Y= -0,218x + 4,84	0,94*	Y=0,0138x <sup>2</sup> - 0,187x + 0,90	0,98*
P	ns		ns	
K	ns		Y= 0,0018x <sup>2</sup> - 0,035x + 0,35	0,84*
Ca	Y=-0,0036x <sup>2</sup> - 0,0014x + 0,41	0,70*	Y=-0,0078x + 0,069	0,90*
Mg	ns		Y=0,00178x <sup>2</sup> - 0,024x + 0,15	0,97*

\*Nível de significância 5%. ns = não-significativo.

Tabela 4 - Concentração de nutrientes (g kg<sup>-1</sup>) e quantidade acumulada (mg planta<sup>-1</sup>) na parte aérea da cultivar de arroz “BRS 7” em função de doses de ácido butírico em solução nutritiva.

Ácido Butírico	N	P	K	Ca	Mg
mM			g kg <sup>-1</sup>		
0,00	44,5	7,9	42,0	3,0	9,9
1,00	46,6	11,1	46,8	2,1	9,1
2,00	44,9	9,9	44,7	2,3	9,0
3,00	41,3	8,6	38,6	2,3	7,7
4,00	40,1	8,4	37,5	2,2	8,4
5,00	36,4	8,1	35,4	2,1	8,1
6,00	33,0	7,8	33,3	2,1	7,9
			mg planta <sup>-1</sup>		
0,0	1,16	0,20	1,09	0,079	0,258
1,00	1,03	0,24	1,03	0,047	0,200
2,00	0,72	0,16	0,72	0,036	0,144
3,00	0,62	0,13	0,58	0,035	0,116
4,00	0,60	0,13	0,56	0,033	0,126
5,00	0,47	0,11	0,46	0,027	0,105
6,00	0,43	0,10	0,43	0,027	0,102

Tabela 5 – Equações de regressão entre as doses de ácido butírico (X) em solução nutritiva e a concentração de nutrientes na parte aérea, em g kg<sup>-1</sup>, e quantidade acumulada, mg planta<sup>-1</sup>, da cultivar de arroz “BRS-7”.

Elementos	Teor no tecido		Quantidade acumulada por planta	
	Equação	r <sup>2</sup>	Equação	r <sup>2</sup>
N	Y= 0,0177x <sup>2</sup> - 0,228x + 1,17	0,97*	Y= -0,039 x <sup>2</sup> +0,022x+4,54	0,96*
P	ns		Y=0,0013x <sup>2</sup> -0,028x + 0,223	0,81*
K	Y= 0,029x <sup>2</sup> - 0,024x + 4,43	0,81*	Y=0,0175x <sup>2</sup> - 0,22x + 1,13	0,96*
Ca	ns		Y=0,0022x <sup>2</sup> - 0,020x + 0,073	0,91*
Mg	Y=0,0071x <sup>2</sup> - 0,074x + 0,99	0,83*	Y=0,0063x <sup>2</sup> - 0,62x + 0,254	0,97*

\* Nível de significância 5%. ns = não-significativo.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fapergs pelo auxílio financeiro para a execução deste trabalho e pela concessão de bolsas de Iniciação Científica para os alunos Leandro e Fabiana.

## REFERÊNCIAS

- CAMARGO, F.A. de O. et al. Aspectos fisiológicos e caracterização da toxidez de ácidos orgânicos voláteis em plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.31, n.3, p.523-529, 2001.
- KOOP, M.M. **Tolerância a ácidos orgânicos em famílias mutantes de aveia e arroz**. 2004. 63f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitomelhoramento) - Curso de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal de Pelotas.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic, 1995. 889p.
- RAO, D.N.; MIKKELSEN, D.S. Effect of rice straw incorporation on productions of organic acids in a flooded soil. **Plant and Soil**, The Hague, v.47, n.2, p.303-311, 1977.
- SOUSA, R.O. et al. Efeito do ácido acético na absorção de potássio em arroz. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 2003, Ribeirão Preto. **Anais...** Botucatu: SBCS/ UNESP, 2003. CD-Rom.
- SOUSA, R.O. **Oxirredução em solos alagados afetada por resíduos vegetais**. 2001. 164f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- SOUSA, R.O.; BORTOLLON, L. Crescimento radicular e da parte aérea do arroz (*Oryza sativa* L.) e absorção de nutrientes, em solução nutritiva com diferentes concentrações de ácido acético. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v.8, n.3, p. 231-235, 2002.
- SOUSA, R.O et al. Short chain organic acid dynamics in solution of flooded soil treated with ryegrass residues. **Communications in soil science and plant analysis**, Athens, v.33, p.779-787, 2002.
- TAKENAGA, H. Nutrient absorption in relation to environmental factors. In: MATSUO, T. et al. **Science of the rice plant: physiology**. Tokyo: Nosan Gyoson Bunka Kyokai, 1995. p.278-294.
- TAKIJIMA, Y. Studies on organic acids in paddy field soils with reference to their inhibitory effects on the growth of rice plants. Part 1. Growth inhibiting action of organic acids and absorption and decomposition of them by soils. **Soil Science Plant Nutrition**, Tokyo, v.10, n.5, p.204-211, 1964.
- TEDESCO, M.J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed.rev. e ampl. Porto Alegre: Departamento de Solos da UFRGS, 1995. 174p. (Boletim Técnico de Solos, n.5).
- VAHL, L.C. Fertilidade de solos de várzea. In: GOMES, A. da S.; PAULETTO, E.A. **Manejo do solo e da água em áreas de várzea**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 1999. 201p.
- ZONTA, E.P.; MACHADO, A.A. **SANEST – Sistema de análise estatística para microcomputadores**. Pelotas, 1984. Registrado na Secretaria Especial de Informática, sob nº 066060/categoria A.