

## Fertilizantes orgânicos e resíduo de bauxita na disponibilidade de nutrientes e nutrição da cana-de-açúcar irrigada com água potável e residuária

Fabio Olivieri de Nobile<sup>1\*</sup>, João Antonio Galbiatti<sup>2</sup>, Reginaldo Itiro Muraishi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Agronomia, Centro Universitário da Fundação Educacional de Barretos, Barretos, SP, Brasil

<sup>2</sup>Departamento de Engenharia Rural, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, SP, Brasil

\*Autor correspondente, e-mail: fonobile@feb.br

### Resumo

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de fertilizantes orgânicos (composto de lixo e dejetos de suínos), como fonte de nutrientes e do resíduo do processamento da bauxita como corretivo da acidez do solo, em área cultivada com cana-de-açúcar irrigada com água potável e servida na disponibilidade de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) no solo e os teores nas plantas. Para isso, foi conduzido experimento em vaso, utilizando-se um ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO, avaliando a disponibilidade de dos elementos na camada de 0-20 cm e a concentração desses nutrientes nas folhas de cana-de-açúcar. Os dados obtidos evidenciaram que os resíduos aumentaram as concentrações de Ca e Mg no solo, já a concentração de K não foi alterada e S não foi detectado, em função da baixa concentração no solo. Na folha +1 da cana-de-açúcar o resíduo de bauxita aumentou os teores de N, P, K, Ca e Mg (15,68; 1,73; 10,43; 3,50 e 1,08 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente). A aplicação de composto de lixo e de dejetos suíno também elevou os teores de N, K e Ca (11,56; 9,18 e 2,81 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente). A qualidade da água de irrigação, não alterou a disponibilidade de P, K, Ca, Mg e S no solo, bem como os teores desses macronutrientes na planta.

**Palavras-chave:** fertilizantes alternativos, reutilização da água, *Saccharum officinarum*

### Organic fertilizers and bauxite residue on nutrient availability and nutrition of sugar cane irrigated with potable water and wastewater

#### Abstract

The objective of this study was to evaluate the effect of organic fertilizers (urban solid waste and swine manure) as a source of nutrients and residue from bauxite processing as a corrective of soil acidity, in area cultivated with sugar cane irrigated with potable water and served in the availability of phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg) and sulfur (S) levels in the soil and plants. For this experiment was carried out in pots, using a Alfisol, assessing the availability of the elements in the 0-20 cm layer and the concentration of these nutrients in the leaves of sugarcane. The data showed that the residues increased the concentrations of Ca and Mg in soil, as the concentration of K was not changed and S was not detected, due to the low concentration in the soil. In the leaf +1 of sugarcane the residue of bauxite increased levels of N, P, K, Ca and Mg (15.68, 1.73, 10.43, 3.50 and 1.08 g kg<sup>-1</sup>, respectively). The application of urban solid waste and swine manure also increased the levels of N, K and Ca (11.56, 9.18 and 2.81 g kg<sup>-1</sup>, respectively). The quality of irrigation water did not alter the availability of P, K, Ca, Mg and S in the soil as well as the levels of these macronutrients in the plant.

**Keywords:** alternative fertilizers, water reuse, *Saccharum officinarum*

Recebido: 27 Fevereiro 2011  
Aceito: 02 Agosto 2011

## Introdução

Com a evolução da sociedade moderna a necessidade de produzir, conservar e a demanda por quantidades cada vez maiores de alimentos fatores relacionados a uma busca constante por maior conforto na maneira de viver tem determinado o aparecimento de indústrias com os mais diferentes objetivos, agravando, de modo sensível, a produção de resíduos, além de aumentar o consumo de água e a produção de esgoto (Melo & Marques, 2000).

Como exemplo de água servida originada na área rural tem-se aquela derivada da produção de suínos, em que alguns dos seus componentes poluentes (carga orgânica elevada, nitrogênio, fósforo, cobre, sódio, dentre outros elementos químicos) se apresentam em concentrações suficientemente altas para constituírem risco de desequilíbrio ecológico, quando dispostos inadequadamente, porém desde que bem monitorada, a utilização agrícola desse tipo de água servida surge como alternativa para o seu descarte, com o benefício da reciclagem de seus nutrientes para as culturas, como no caso da aveia forrageira e do milho (Freitas et al., 2004).

As diferentes formas de manejo de águas servidas por meio de irrigação por gotejamento foram estudadas por Cararo et al. (2006) concluindo que a produção das culturas foi maior ou semelhante à obtida com água superficial.

A reutilização de resíduos é de grande interesse, pois além de dar destino aos mesmos, torna-os úteis, já que sua aplicação no solo interfere nos atributos químicos, aumentando a disponibilidade de nutrientes às plantas. Esses compostos contêm nutrientes, tais como N, P, K, Ca, Mg, boro (B) e cobre (Cu) que são elementos fundamentais para o desenvolvimento dos vegetais (Franco et al., 2010).

A utilização de compostos de lixo urbano e dejetos de suíno como condicionadores de solos agrícolas é uma prática utilizada em diversos países como os Estados Unidos, Brasil, Inglaterra, Austrália e o Japão. Além do alto teor de matéria orgânica há ainda a presença de nutrientes à planta, como o N, P, K, Ca, Mg e S (Nobile et al., 2008).

Muraishi et al. (2010) trabalhando com composto de lixo e poda de árvore na formação de substratos observou que a melhor composição foi de 20 % composto de lixo com 80 % de poda de árvore, obtendo maior rendimento das plantas em comparação ao substrato comercial.

O resíduo do refino de bauxita pode ser outra opção a ser utilizada como corretivo de solo, uma vez que possui elevado pH e grande quantidade de hidroxilas (grupamentos OH<sup>-</sup>) oriundos da adição de NaOH para extração de alumínio (Al), por outro lado o excesso de sódio (Na) pode ser um agravante para sua utilização na agricultura (Nobile et al., 2010).

Summers et al. (2001) estudando os efeitos da aplicação do resíduo do processamento da bauxita em solos arenosos, observaram que a aplicação de 20 t ha<sup>-1</sup> dobrou os teores de massa seca quando comparados com a testemunha, o mesmo resíduo também proporcionou aumentos iniciais na produção de trevo subterrâneo. Os mesmos autores ainda verificaram aumentos de pH e de produtividade com a aplicação do resíduo de bauxita.

O dejetos de suíno aplicado ao solo contribuiu para o aumento dos teores de fósforo (3 mg dm<sup>-3</sup> para 12,33 mg dm<sup>-3</sup>) e potássio (3 mg dm<sup>-3</sup> para 12,33 mg dm<sup>-3</sup>) no solo. Os dejetos de suínos líquidos quando aplicado em plantas frutíferas a partir de pulverizações mensais aos níveis de 10 a 30% do volume do tanque de irrigação, contribuem para um suprimento equilibrado de macro e micronutrientes, conforme Factor et al. (2008).

Diante disso, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de fertilizantes orgânicos (composto de lixo e dejetos de suíno de dejetos suínos) como fonte de nutrientes e do resíduo do processamento da bauxita como corretivo da acidez do solo, em área cultivada com cana de açúcar irrigada com água potável e servida, sob as concentrações de macronutrientes no solo e na planta de cana-de-açúcar.

## Material e Métodos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do tipo arco conjugada, coberto por filme plástico de polietileno e tela anti-afídica em toda sua área externa, localizado no setor de Plasticultura do Departamento de Engenharia Rural, da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – campus de Jaboticabal, SP, cujas coordenadas geográficas são 21°15'15" Latitude Sul, 48°18'09" Longitude Oeste e altitude em torno de 595 m. Para isso foi utilizado um ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico, arênico, retirado na camada de 0 – 20 cm, cujas propriedades químicas são: pH<sub>CaCl2</sub> = 4,7; M.O. = 7 (g dm<sup>-3</sup>); P = 8 (mg dm<sup>-3</sup>); K, Ca, Mg, H+Al, SB, T e Al = 1,1; 6; 4; 16; 11,1; 27,1 e 1 (mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), respectivamente, V = 41 (%). As análises químicas foram realizadas conforme metodologia de Raij et al. (2001). A densidade do solo nos vasos foi de 1,25 kg dm<sup>-3</sup>.

A fonte de água, considerada como "água servida", foi coletada no Córrego Jaboticabal, onde é despejada parte do esgoto residencial, produzido pela cidade de Jaboticabal-SP. A "água potável" era proveniente de poço artesiano do reservatório central do campus, que abastece as edificações do setor de Plasticultura/UNESP/FCAV (Tabela 1).

O resíduo do processamento da bauxita, em condições de ser empregado como condicionador de solo, foi obtido junto à empresa Alcoa Alumínio S/A-MG. O composto de lixo urbano foi obtido na cidade de São José do Rio Preto-SP, junto à empresa Constróeste Ambiental.

É resultante do aproveitamento racional de lixo doméstico urbano. O dejetos de suíno utilizado foi obtido junto ao Departamento de Engenharia Rural, da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – campus de Jaboticabal, SP, sendo

gerado na digestão anaeróbia de dejetos de suíno, obtido através da limpeza das instalações desses animais em criação intensiva, nas fases de crescimento e terminação (Tabela 2).

Para a instalação do experimento foram

**Tabela 1.** Dados da análise química das águas de irrigação.

Água	C.E.	pH	N-NH <sub>3</sub>	PO <sub>4</sub>	K	Ca	Mg	S-SO <sub>4</sub>
	dS m <sup>-1</sup>	CaCl <sub>2</sub>	----- mg L <sup>-1</sup> -----					
Servida	0,82	6,9	0,87	0,705	0	0,05	0	0,01
Potável	0,63	6,3	0,29	0,353	0	0,06	0	0,01

Metodologia utilizada: Apha (2005); C.E. = condutividade elétrica

**Tabela 2.** Análise química dos resíduos orgânicos e industrial, base seca.

	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Cu	Zn	Na
	----- g kg <sup>-1</sup> -----						----- mg kg <sup>-1</sup> -----				
Res. proc. da bauxita	4	0,001	11,4	17	1	0,8	137000	2100	4	111	50100
Composto de lixo	15	4	6	31	4	4,2	25300	350	67	1100	2650
Dejeto de suíno	140	54	48	65	26	20	1	0,20	0,1	1,4	18

Metodologia utilizada: BRASIL (1988)

construídos recipientes de PVC com dimensões de 45 cm de altura e 30 cm de diâmetro, totalizando um volume de 32 L. Os tratamentos foram distribuídos da seguinte maneira: a) sem adubação; b) fertilização mineral; c) fertilização com resíduo do processamento da bauxita; d) fertilização com composto de lixo urbano; e) fertilização com dejetos de suíno oriundo da digestão anaeróbia de dejetos suínos e dois tipos de irrigação (água potável e água servida residencial), totalizando 10 tratamentos. O delineamento experimental foi em blocos casualizados em esquema fatorial 5x2, com 3 repetições, totalizando 30 parcelas. Os 10 tratamentos resultantes das combinações mencionadas, foram agrupados em 3 blocos, sendo cada parcela experimental constituída de 1 vaso com 1 planta de cana-de-açúcar.

O solo foi peneirado em malha 20 mm, procurando manter a integridade dos torrões até a abertura da malha, para retirar todos os agregados maiores e resíduos grosseiros de material orgânico. O volume de solo da camada de 0-20 cm foi calculado em função do raio do recipiente (30 cm) e da altura da camada de solo (20 cm), totalizando um volume de 14,14 dm<sup>3</sup>. A quantidade de solo para essa camada, foi calculada em função da densidade do solo (1,25 kg dm<sup>-3</sup>) e volume do recipiente (14,14 dm<sup>3</sup>), totalizando 17,68 kg de solo.

Depois de calculada a quantidade de solo da camada de 0-20 cm foram feitas aplicações de calcário e resíduo do processamento da bauxita para os respectivos tratamentos, com o objetivo de diminuir a acidez do solo. As quantidades de resíduo do processamento de bauxita e calcário foram calculadas através do método de saturação por bases. Após a aplicação, o solo passou por um

período de 90 dias de incubação.

Finalizado o período de incubação o solo tratado foi novamente seco e peneirado em malha 20 mm e, posteriormente, foi realizada a adição dos resíduos orgânicos e dos fertilizantes minerais (Tabela 3), com base na análise química do solo e de acordo com as recomendações de Raij et al. (1997).

Com o auxílio de sacos de plástico o solo foi misturado com os fertilizantes orgânicos (composto de lixo e dejetos de suíno) e fertilizantes minerais. Após a mistura com os tratamentos estabelecidos e antes do acondicionamento nos recipientes, foi feita adição de solo preenchendo a camada de 20 - 45 cm. O volume de solo para essa camada foi calculado em função do raio do recipiente (30 cm) e da altura da (25 cm), totalizando um volume de 17,68 dm<sup>3</sup>. Com o volume do vaso e a densidade do solo, calculou-se a quantidade de solo necessária para o preenchimento da camada em questão (22,11 kg). Após o preenchimento dos primeiros 25 cm, foi adicionado o restante do solo, preenchendo os outros 20 cm, totalizando 45 cm de altura do recipiente.

Depois do preenchimento do recipiente procedeu-se o transplante da cana-de-açúcar, variedade RB855536, utilizando mudas provenientes de cultura de tecidos, apresentando uma planta de cana-de-açúcar por muda.

Após 50 dias do plantio da cana-de-açúcar, foi feita a adubação de cobertura aplicando 50 kg de N ha<sup>-1</sup> e 20 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, o equivalente a 3,25 gramas de nitrato de cálcio e 0,30 gramas de cloreto de potássio por vaso. Essa adubação foi realizada apenas para os tratamentos fertilização com resíduo do processamento da bauxita e fertilização mineral. A partir da instalação do experimento

**Tabela 3.** Quantidades de fertilizantes, corretivos e resíduos usados nos tratamentos.

Tratamento	Fertilizantes, corretivos e resíduos	Quantidades	
		kg ha <sup>-1</sup>	g vaso <sup>-1</sup>
Testemunha	---	---	---
Fertilização Mineral	- calcário (MgO = 9 % e PRNT=95%)	600	4,25
	- nitrato de cálcio	195	1,40
	- superfosfato simples	800	5,70
	- cloreto de potássio	230	1,60
Res. do proc. de bauxita	- nitrato de cálcio	195	1,40
	- superfosfato simples	800	5,70
	- cloreto de potássio	230	1,60
	-res. do proc. de bauxita	4300	30,33
Composto de lixo	- calcário (MgO = 9 % e PRNT=95%)	600	4,25
	- composto de lixo	20000	141,38
Dejeto de suíno	- calcário (MgO = 9 % e PRNT=95%)	600	4,25
	dejeto de suíno	40000	282,75

foram feitas irrigações diárias de acordo com a evapotranspiração. A colheita do experimento foi realizada após 240 dias após o plantio.

Nas irrigações diárias, foi utilizado atmômetro modificado que pode estimar a evapotranspiração de referência com boa precisão, cujas medidas de evaporação foram tomadas com base para definir as lâminas de água a serem aplicadas na irrigação. O Kc da cultura da cana-de-açúcar utilizado para o cálculo da quantidade de água a ser aplicada por vaso, seguiu a metodologia sugerida por Doorenbos e Kassam (1994).

Para a coleta das amostras simples de solo foram escolhidos seis pontos ao redor da base das plantas, sendo que, as seis amostras simples foram misturas para a obtenção de uma amostra composta. Feito a coleta do solo, o material foi seco ao ar durante três dias, logo em seguida, peneirado, devidamente identificado e encaminhado para o Laboratório de Análises de Solo do Departamento de Solos e Adubos para análise química de P, K, Ca, Mg e S, seguindo metodologia descrita por Raji et al. (2001).

Para análise química das folhas, foram coletadas as folhas +1 (folha mais alta com lígula visível) de todas as plantas em cada recipiente, seguindo metodologia descrita por Raji et al., 1997. Após a coleta das folhas, foi excluída a nervura central e aproveitado os 20 cm centrais das folhas, a análise química de N, P, K, Ca, Mg e S de acordo com metodologia proposta por Bataglia et al. (1983).

Os dados foram analisados estatisticamente por meio de análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, de acordo com os procedimentos do Statistical Analysis System (SAS Institute, 1999).

### Resultados e Discussão

Não foram observadas diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) para a disponibilidade de nutrientes no solo com a aplicação de diferentes tipos de água (potável ou servida), bem como para a interação entre os fertilizantes orgânicos

e resíduo de bauxita e a aplicação de duas qualidades de água na irrigação.

Isso pode ser explicado devido a concentração de nutrientes nas águas de irrigação (Tabela 1) e que todo nutriente necessário para a planta foi proveniente dos diferentes tipos de fertilizantes. A água tem um papel decisivo no transporte de substâncias solúveis e como meio em que ocorrem os processos bioquímicos. Esta eficiência depende das condições climáticas do local de cultivo, da capacidade de armazenagem de água, do solo e da exigência da planta nas diferentes fases do seu desenvolvimento. Neste contexto, Barros et al. (2005), Lucena et al. (2006) e Caovilla et al. (2010) verificaram que as propriedades químicas do solo para desenvolvimento das plantas não dependem do tipo de água empregada na irrigação.

### Solo

Não foram detectadas concentrações de enxofre na camada de 0-20 cm, provavelmente por se encontrarem em concentrações inferiores ao limite de detecção do método analítico (Tabela 4).

As maiores concentrações de fósforo no solo ocorreram com o uso de adubação mineral e resíduo do processamento da bauxita, 23,00 e 24,66 mg dm<sup>-3</sup>, respectivamente, isto ocorreu pois apenas estes tratamentos receberam adubação fosfatada no plantio. O aumento na disponibilidade de P deve-se à presença do nutriente no adubo orgânico (composto de lixo com 4g kg<sup>-1</sup> de P e dejeto suíno com 54 g kg<sup>-1</sup>) e aos aumentos do valor de pH e do teor de matéria orgânica (Abreu Júnior et al., 2002). O aumento do pH do solo até próximo de 7,0 propicia aumento na disponibilidade de P, uma vez que, em condições ácidas, ocorre reação do H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup> com as formas iônicas de Fe e Al, formando compostos de baixa solubilidade, além de maior adsorção do ânion por óxidos de Fe e Al presentes na fase sólida. A matéria orgânica, por sua vez, bloqueia os sítios de adsorção em óxidos de Fe e de Al do solo, diminuindo a capacidade de adsorção do H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup> (Novais et al., 2007).

**Tabela 4.** Disponibilidade de P, K, Ca, Mg e S após o cultivo da cana-de-açúcar.

Tratamentos	P	K	Ca	Mg
	-- mg dm <sup>-3</sup> --	----- mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----		
Testemunha	5,50 c	0,38	5,83 c	3,00 c
Ad. mineral	23,00 a	0,45	12,16 b	3,83 abc
Res. Proc. bauxita	24,66 a	0,45	13,33 b	3,80 abc
Composto de lixo	13,00 b	0,33	16,00 a	4,66 ab
Dejeto de suíno	13,16 b	0,38	16,66 a	5,16 a
Teste (F)	54,02**	0,23 <sup>NS</sup>	50,15**	6,44**
DMS	5,22	0,18	2,42	1,49
-----				
Água (A)				
Potável (1)	15,3	0,40	14,80	4,15
Servida (2)	15,9	0,40	14,30	4,17
Teste (F)	7,96 <sup>NS</sup>	1,00 <sup>NS</sup>	25,15 <sup>NS</sup>	0,42 <sup>NS</sup>
DMS	2,28	0,07	1,05	0,65
S x A	5,97 <sup>NS</sup>	0,06 <sup>NS</sup>	21,12 <sup>NS</sup>	3,09 <sup>NS</sup>
CV	15,2	14,5	11,5	15,9

<sup>NS</sup>Não-significativo. \* e \*\*Significativo a 5 e a 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

A disponibilidade de potássio no solo foi pouco alterada pelos fertilizantes aplicados apresentando concentrações muito baixa ao final do experimento que variaram de 0,33 (composto de lixo) a 0,45 (adubação mineral) mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>. Em função dos tratamentos, era de se esperar diferenças na disponibilidade de K no solo, devido à realização da adubação de plantio, que corresponde a aproximadamente 30% do total de nutrientes na planta. Uma explicação para isso, é que a planta tenha absorvido o potássio de forma diferente entre os tratamentos e distribuído para os perfilhos (Damatto Junior et al., 2006).

Todos os tratamentos, exceto a testemunha, apresentaram disponibilidade de Ca considerados "alto" > 7 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> (Raij et al., 2001), sendo que a maior concentração foi obtida com a aplicação de dejeto de suíno com concentrações de 16,66 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de cálcio, concentração que foi estatisticamente diferente de todos os outros tratamentos. A aplicação de composto de lixo e dejeto de suíno, apresentou tendência em fornecer mais cálcio para o solo. Embora as diferenças entre os efeitos dos tratamentos com composto de lixo e dejeto de suínos comparado com o tratamento adubação mineral, onde todos receberam aplicação de calcário, quanto à disponibilidade do cálcio e magnésio, estão associadas às propriedades químicas iniciais dos solos, causadas pelos diferentes fertilizantes testados.

Abreu Junior et al. (2000) verificaram, em condições de casa de vegetação, que a aplicação de 30 g dm<sup>-3</sup> (60 t ha<sup>-1</sup>) de composto de lixo apresentou efeito sobre a concentração de cálcio do solo equivalente ao da aplicação de aproximadamente 1 g dm<sup>-3</sup> (2 t ha<sup>-1</sup>) de calcário.

Para a disponibilidade de magnésio foi observado efeito semelhante ao ocorrido para o cálcio. Os efeitos do dejeto de suíno e composto de lixo foram superiores ao tratamento testemunha e ocorreram diferenças significativas (p<0,05). Os resíduos orgânicos apresentaram tendência de maior aumento na disponibilidade

de magnésio na camada de 0-20 cm. A maior disponibilidade de magnésio no solo foi de 5,16 e 4,66 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> para dejeto de suíno e composto de lixo, respectivamente. O aumento na disponibilidade de magnésio no solo devido à aplicação de composto orgânico também foi observado por Trindade et al. (1996) e Cravo & Muraoka (1998).

#### Planta

O maior teor de nitrogênio ocorre nas folhas, do que nas raízes ou colmos, e os tratamentos adubação mineral e resíduo do processamento de bauxita apresentaram os maiores teores foliares, 15,95 e 15,68 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Já o menor teor foliar de N nas plantas de cana de açúcar foi verificado na testemunha que não recebeu nenhum tipo de corretivo ou fertilizante (Tabela 5).

O maior teor de N encontrado nas folhas de cana-de-açúcar se deve ao processo de redistribuição do nitrogênio que ocorre exclusivamente na forma de aminoácidos, uma vez que na fase vegetativa todo o nitrogênio já foi metabolizado. Este processo de redistribuição ocorre no floema, e o N-aminoácido apresenta alta mobilidade, ou seja, significa que se por qualquer razão for interrompido o processo de absorção e/ou transporte do N, a planta tem a capacidade de mobilizar o N presente na folha velha, para uma folha nova ou outro órgão em crescimento que apresente alta demanda deste nutriente (Prado, 2008).

De acordo com Raij et al. (1997) os teores foliares de nitrogênio considerados normais para a cana-de-açúcar estão entre 18 e 25 g kg<sup>-1</sup>, portanto todos os tratamentos que receberam adubações nitrogenadas, adubação mineral (15,95 g kg<sup>-1</sup>) e resíduo do processamento da bauxita (15,68 g kg<sup>-1</sup>) estão com teores de N abaixo da faixa adequada. A aplicação de composto de lixo e dejeto de suíno foram baixos (10,00 a 13,00 g kg<sup>-1</sup>), mostrando a necessidade de complementação com esse nutriente para fornecimento adequado para a planta.

**Tabela 5.** Concentração de N, P, K, S, Ca e Mg nas folhas de cana-de-açúcar.

Tratamentos	N	P	SO <sub>4</sub>	K	Ca	Mg
Testemunha	9,73 d	1,15 b	1,25 b	7,08 d	2,36 d	0,78 c
Ad. Mineral	15,95 a	1,71 a	1,37 a	10,80 a	4,21 a	1,40 a
Res. Proc. bauxita	15,68 a	1,73 a	1,27 b	10,43 a	3,50 b	1,08 b
Composto de lixo	11,56 c	1,17 b	1,25 b	9,18 c	2,81 c	0,85 c
Dejeto de suíno	11,08 c	1,23 b	1,25 b	9,88 b	2,76 c	0,81 c
Teste (F)	534,31**	29,56**	136,53**	206,80**	84,84**	25,49**
DMS	0,32	0,09	0,03	0,42	0,36	0,22
Água (A)						
Potável (1)	11,99	1,21	1,25	9,56	3,19	1,01
Servida (2)	12,11	1,18	1,24	9,49	3,30	1,05
Teste (F)	1,33 <sup>NS</sup>	2,80 <sup>NS</sup>	2,24 <sup>NS</sup>	1,02 <sup>NS</sup>	1,13 <sup>NS</sup>	1,49 <sup>NS</sup>
DMS	0,14	0,04	0,01	0,18	0,16	0,10
S x A	0,67 <sup>NS</sup>	1,12 <sup>NS</sup>	0,95 <sup>NS</sup>	0,81 <sup>NS</sup>	0,24 <sup>NS</sup>	0,84 <sup>NS</sup>
CV (%)	1,60	4,58	1,28	2,65	6,73	12,75

<sup>NS</sup>Não-significativo. \* e \*\*Significativo a 5 e a 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Para o fósforo, apenas os tratamentos adubação mineral e resíduo do processamento de bauxita elevaram-se nos tecidos foliares, de 1,71 e 1,73 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Os tratamentos composto de lixo e dejeto de suíno não tiveram aumento nos teores foliares em relação a testemunha.

De modo análogo ao nitrogênio foliar, o aumento de fósforo na folhas tem relação com o aumento de fósforo no solo, ou seja, no caso do tratamento adubação mineral e resíduo do processamento da bauxita, houve fornecimento de fósforo prontamente disponível às plantas, na forma de superfosfato simples e para os tratamentos composto de lixo e dejeto de suíno o fósforo só se tornará disponível quando os microrganismos do solo decomporem a matéria orgânica e, posteriormente mineralizarem o fósforo, ou seja, liberarem os íons fosfato inorgânico (fósforo disponível) (Raghothama, 1999). Portanto, é de se esperar maiores teores de fósforo onde foi aplicado o fertilizante mineral em relação aos que receberam fertilizantes orgânicos.

De acordo com Raij et al. (1997) no estado nutricional considerado normal para a cana-de-açúcar os teores foliares de fósforo devem estar na faixa de 1,5 a 3 g kg<sup>-1</sup>, apenas onde foi aplicado fertilizante mineral e o resíduo do processamento da bauxita atingiram esses valores.

O movimento do enxofre nas plantas ocorre, basicamente, durante o transporte para a parte aérea, via xilema, conforme citado anteriormente. O movimento do enxofre das folhas para as partes basais, ou seja, a redistribuição é muito pequena, sendo considerado, portanto, pouco móvel na planta. Portanto, o aparecimento de enxofre nas folhas, para todos os tratamentos, foi em consequência da pulverização com enxofre em pó para controle de ácaros. O maior aproveitamento do enxofre aplicado nas folhas foi observado para o onde foi realizada a adubação mineral, e foi igual a 1,37 g de S kg<sup>-1</sup>, todos os outros

tratamentos apresentaram teores foliares de enxofre semelhante ao tratamento testemunha. Para Raij et al. (1997) os teores adequados de enxofre na folha estão na faixa de 1,5 a 3 g kg<sup>-1</sup> de de S.

Todos os fertilizantes utilizados promoveram teores de cálcio nas folhas de cana de açúcar maior do que na testemunha, mostrando que o cálcio aplicado ao solo, na forma de calcário ou resíduo do processamento da bauxita, foi absorvido e transportado até as folhas. O teor foliar de cálcio foi decrescente com a utilização dos seguintes fertilizantes: fertilizante mineral (4,21 g kg<sup>-1</sup> de Ca) resíduo do processamento da bauxita ( 3,50 g kg<sup>-1</sup> de Ca) composto de lixo 2,81 g kg<sup>-1</sup> de Ca) dejeto de suíno (2,76 g kg<sup>-1</sup> de Ca). De acordo com Raij et al. (1997) teores foliares de Ca considerados adequados estão na faixa de 2 a 8 g kg<sup>-1</sup>.

A baixa concentração de cálcio no citossol é atribuída à baixa permeabilidade geral das membranas e a ação de transportadores de membranas que removem o nutriente colocando-o para o apoplasto ou no retículo endoplasmático, cloroplasto e vacúolos (Malavolta, 2006).

Como observado para cálcio, os maiores teores de magnésio na folha de cana-de-açúcar foram observados com a aplicação do fertilizante mineral e resíduo do processamento da bauxita, 1,40 e 1,06 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Os tratamentos composto de lixo e dejeto de suíno não alteraram os teores de magnésio nos tecidos foliares, com valores de magnésio estatisticamente semelhante ao tratamento testemunha com 0,85 e 0,81 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente. No caso dos compostos orgânicos (composto de lixo e dejeto de suíno) o não aparecimento de magnésio nas folhas esta associado ao processo de adsorção do elemento nos colóides orgânicos dos materiais, indisponibilizando magnésio para as plantas.

Para Raij et al. (1997) os teores foliares considerados adequados para magnésio estão na faixa de 1 a 3 g kg<sup>-1</sup>.

### Conclusões

A qualidade da água de irrigação, potável ou servida, não afetou nenhum parâmetro relacionado ao solo ou a planta de cana-de-açúcar;

Os resíduos orgânicos e industrial elevaram as concentrações de macronutrientes no solo com exceção do K. O composto de lixo e dejetos suíno incrementaram os teores foliares em N, K e Ca

O resíduo do processo da bauxita elevou os teores de N, P, K, Ca e Mg nas folhas de cana-de-açúcar

### Agradecimentos

Ao CNPq pelo auxílio concedido durante a execução do projeto.

### Referências

Abreu Junior, C.H., Muraoka, T., Oliveira, F.C. 2002. Carbono, nitrogênio, fósforo e enxofre em solos tratados com composto de lixo urbano. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 26: 769-780.

Abreu Junior, C.H., Muraoka, T., Lavorante, A.F., Alvarez, V.F.C. 2000. Condutividade elétrica, reação do solo e acidez potencial em solos adubados com composto de lixo. *Revista Brasileira de Ciências do Solo* 24: 635-657.

Apha 1995. American Public Health Association. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. Apha Washington, USA. 1134 p.

Brasil 1988. Ministério da Agricultura. Secretária Nacional de Defesa Agropecuária. *Análise de corretivos, fertilizantes e inoculantes: métodos oficiais do Laboratório Nacional de Referência Vegetal*. MAPA, Brasília, Brasil. 104 p.

Barros, F.M., Martinez, M.A., Neves, J.C.L., Matos, A.T. de, Silva, D.D.da. 2005. Características químicas do solo influenciadas pela adição de água residuária da suinocultura. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 9 (Suplemento): 47-51.

Bataglia, O.C., Furlani, A.M.C., Teixeira, J.P.F., Furlani, P.R., Gallo, J.R. 1983. *Métodos de análise química de plantas*. Instituto Agrônomo, Campinas, Brasil. 48 p.

Cararo, D.C., Botrel, T.A., Hills, D.J., Leverenz, H.L. 2006. Characterization of drip emitter clogging in wastewater irrigation. *Applied Engineering in Agriculture* 22: 251-257.

Caovilla, F.A., Sampaio, S.C., Smanhotto, A., Nóbrega, L.H.P., Queiroz, M.M.F. de, Gomes, B.M. 2010. Características químicas de solo cultivado com soja e irrigado com água residuária da suinocultura. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 14: 692-697.

Cravo, M. S.; Muraoka, T. 1998. Caracterização

de composto de lixo urbano de algumas usinas brasileiras. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 22: 547-553.

Damatto Junior, E.R., Villas Bôas, R.L., Leonel, S., Fernandes, D.M. 2006. Alterações em propriedades de solo adubado com doses de composto orgânico sob cultivo de bananeira. *Revista Brasileira de Fruticultura* 28: 546-549.

Doorenbos, J., Kassam, A.M. 1994. *Efeito da água no rendimento das culturas*. FAO, Campina Grande, Brasil. 345 p.

Factor, T.L., Araújo, J.A.C. de, Vilella Júnior, L.V.E. 2008. Produção de pimentão em substratos e fertirrigação com efluente de biodigestor. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 12: 143-149.

Franco, H.C.J., Trivelini, P.C.O., Faroni, C.E., Vitti, A.C., Otto, R. 2010. Stalk yield and technological attributes of planted cane as related to nitrogen fertilization. *Scientia Agrícola* 67: 579-590.

Freitas, W.S., Oliveira, R.A. de, Pinto, F.A., Cecon, P.R., Galvão, J.C.C. 2004. Efeito da aplicação de águas servidas de suinocultura sobre a produção do milho para silagem. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 8: 120-125.

Lucena, A.M.A. de, Almeida, F.A.C., Costa, F.X., Guerra, H.O.C. 2006. Emprego de substratos irrigados com água de abastecimento e residuária na propagação do flamboyant. *Revista de Biologia e Ciências da Terra* 6: 115 - 121.

Malavaolta, E. 2006. *Manual da nutrição mineral de plantas*. Ceres, Piracicaba, Brasil. 638 p.

Melo, W.J.de, Marques, M.O. 2000. *Potencial do lodo de esgoto como fonte de nutrientes para as plantas*. Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, Brasil. 139 p.

Muraishi, R.I., Galbiatti, J.A., Nobile, F.O., Barbosa, J.C. 2010. Compostos orgânicos como substratos na formação de mudas de ipê-amarelo (*Tabebuia chryso-tricha* (mart. ex. dc.) standl) irrigadas com água residuária. *Engenharia Agrícola* 30: 1081-1088.

Nobile, F.O.de, Galbiatti, J.A., Muraishi, R.I., Ribeiro, A.G., Freddi, O.S. 2010. Quantificação de macronutrientes no solo e em folhas de cana-de-açúcar em função de doses de resíduo da mineração de bauxita. *Engenharia Agrícola* 30: 168-178.

Nobile, F.O., Galbiatti, J.A., Ferreira, M.M., Andrião, M.A., Muraishi, R.I., Ribeiro, A.G. 2008. Efeito do uso de resíduo do processamento de bauxita nos teores de macronutrientes e sódio em plantas de cana-de-açúcar. *HOLOS Environment* 8: 18-28.

Novais, R.F., Barros, N.F.de, Fontes, R.L.F.,

Cantarutti, R.B., Neves, J.C.L. 2007. *Fertilidade do solo*. UFV, Viçosa, Brasil. 1017 p.

Prado, R. M. 2008. *Nutrição de Plantas*. Editora UNESP, São Paulo, Brasil. 408 p.

Raghothama, K.G. 1999. Phosphate acquisition. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 50: 665-693.

Raij, B.V., Cantarella, H., Quaggio, J.A., Furlani, A.M.C. 1997. *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. Instituto Agronômico, Campinas, Brasil. 395 p.

Raij, B.V., Andrade, J.C., Cantarella, H., Quaggio, J.A. 2001. *Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais*. Instituto Agronômico, Campinas, Brasil. 285p.

Sas Institute. 1999. *SAS user's guide*. SAS Institute Cary, USA. 595 p.

Summers, R.N., Bolland, M.D.A., Clarke, M.F. 2001. Effect of application of bauxite residue (red mud) to very sandy soils on subterranean clover yield and P response. *Australian Journal of Soil Research* 39: 979-990.

Trindade, A.V., Vildoso, C.I.A., Muchovej, R.M.C., Costa, L.M. 1996. Interação de composto de lixo urbano e fungos micorrízicos na nutrição e crescimento do milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 20: 199-208.