

MICRONUTRIENTES NO SOLO IRRIGADO COM ÁGUA SERVIDA E NA PLANTA DE CANA-DE-AÇÚCAR FERTILIZADA COM RESÍDUOS ORGÂNICOS E INDUSTRIAIS

MICRONUTRIENTS IN SOIL IRRIGATED OF WASTE WATER SERVED AND THE SUGAR CANE FERTILIZED WITH ORGANIC AND INDUSTRIAL RESIDUES

**Fabio Olivieri de Nobile¹; João Antonio Galbiatti²; Reginaldo
Itiro Muraishi³**

¹Centro Universitario da Fundação Educacional de Barretos, Barretos, SP.

²Departamento de Engenharia Rural - Faculdade de Ciências Agrárias e
Veterinária, Universidade Estadual Paulista - UNESP, Jaboticabal, SP.

³Departamento de Agronomia do Centro Universitario da Fundação Educacional de
Barretos, Barretos, SP.

RESUMO

O crescimento populacional, com as consequentes demandas por bens de consumo, e o aumento do desenvolvimento industrial geram quantidades expressivas de resíduos e aumento do uso indiscriminado de água. O impacto ambiental originado pela disposição incorreta de resíduos no meio ambiente causa grande dificuldade de controle, implicando altos custos na sua remediação. O objetivo deste trabalho foi avaliar o uso do composto de lixo orgânico residencial e biofertilizante como fonte de nutrientes, e o resíduo do processamento da bauxita como corretivo da acidez do solo, este irrigado com água potável e servida. O experimento foi conduzido em vaso, sendo avaliadas as concentrações de micronutrientes no solo e nas folhas de cana-de-açúcar (B, Cu, Fe, Mn e Zn). Os dados obtidos evidenciaram que a adubação com biofertilizante aumentou, significativamente, os teores de Cu e Zn no solo (409% e 520%, respectivamente). A aplicação de resíduo do processamento da bauxita elevou as concentrações de manganês em 7%; não foram observadas mudanças para Fe. Já nas folhas de cana-de-açúcar o uso de resíduo do processamento da cana-de-açúcar elevou os teores de todos os micronutrientes. A aplicação de biofertilizante e composto de lixo elevou os teores de Cu nas folhas (0,80 para 1,00 mg.dm⁻³), houve redução do teor de Zn (124,66 para 84,66 mg.dm⁻³). A qualidade da água de irrigação, potável ou servida, não influenciou as concentrações de micronutrientes no solo, bem como os teores desses elementos na planta.

Palavras-chave: Adubação. Biofertilizante. Composto de lixo orgânico residencial. Resíduo de bauxita.

ABSTRACT

Population growth, with consequent demands for consumer goods and increased industrial development generate significant amounts of waste and increase the indiscriminate use of water. The environmental impact caused by the improper disposal of waste in the environment, causes great difficulty to control, implying high costs in its remediation. The agricultural use of organic and industrial residues is an alternative of exploitation with fertilization and source organic matter to the soil. In this direction, the objective of this research was to evaluate the use of the urban solid waste and biofertilizer as nutrient source, and residue of the bauxite processing as agricultural liming materials of the soil, irrigated with potable water and wastewater. The experiment was conducted in vase was lead, under soil Alfisol, being evaluated the micronutrient concentrations in the soil and leaves of sugar cane (Cu, Fe, Mn and Zn). The gotten data had evidenced the fertilization with biofertilizer increased texts of significantly Cu and Zn in the soil (409% e 520% mg.dm^{-3} , respectively), the application of residue of the processing of the bauxite raised the manganese concentrations, had not been observed changes for Fe. Already in sugar cane leaves the use of residue of the processing the sugar cane raised texts of all the micronutrients, the application of biofertilizer and made up of urban solid waste raised texts of Cu in leaves (0.80 and 1.00 mg.dm^{-3} respectively) however had a reduction of the text of Mn (124.66 and 84.66 mg.dm^{-3} respectively). The quality of irrigation water, drinking or served, did not influence the micronutrients concentrated in the soil as well as the contents of these elements in the plant.

Keywords: Fertilization. Biofertilizer. Urban solid waste. Bauxite residue.

1. INTRODUÇÃO

Com a evolução da sociedade moderna a necessidade de produzir, conservar e transportar quantidades cada vez maiores de alimentos e a 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 água servida (MELO e MARQUES, 2000).

As utilizações de águas servidas por meio de irrigação por gotejamento foram estudadas por Cararo (2004) 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 melhora os atributos químicos, aumentando a disponibilidade de nutrientes às plantas. Esses compostos contêm nutrientes, tais como N, P, K, Ca, Mg, B, Cu, etc, que são elementos fundamentais para o desenvolvimento dos vegetais (FRANCO et al., 2010).

A utilização de compostos de lixo urbano e biofertilizante como condicionadores de solos agrícolas é uma prática em diversos países como nos Estados Unidos, Brasil, Inglaterra, Austrália e no Japão. Além do alto teor de matéria orgânica há ainda a presença de nutrientes à planta (NOBILE et al., 2005).

O resíduo do refino de bauxita pode ser uma opção como corretivo de solo, uma vez que possui elevado pH e grande quantidade de hidroxilas (grupamentos OH) oriundos da adição de NaOH para extração de alumínio. Há necessidade de cuidados em decorrência ao excesso de sódio (Na) que pode ser um agravante na agricultura (NOBILE et al., 2010).

O objetivo deste trabalho foi avaliar o uso do composto de lixo e biofertilizante como fonte de micronutrientes e o resíduo do processamento da bauxita como corretivo da acidez do solo, irrigado com água potável e servida, sendo estudadas as concentrações de micronutrientes no solo e na planta de cana-de-açúcar.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em ambiente protegido 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. Utilizou-se solo oriundo do Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico, arênico, retirado na camada de 0 - 20 cm. As análises químicas foram realizadas conforme metodologia de Raij et al. (2001), sendo a densidade do solo total de 1,25 kg dm⁻³ (Tabela 1).

Tabela 1 - Dados da análise química do solo (micronutrientes + elementos tóxicos).

Fe	Mn	Cu	Zn	B	Pb	Cd	Ni	Cr
mg dm ⁻³								
22	11,2	0,3	0,5	0,1	0,3	0,0	3,0	0,0

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/Faculdade Ciências Agrárias e Veterinária - FCAV (Tabela 2).

Tabela 2 - Dados da análise química das águas de irrigação.

Água	Fe	Mn	Zn	Cu	Cr	Pb	Ni	Cd
Residuária	0,74	0,01	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Potável	0,12	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Metodologia utilizada: APHA (2005); C.E. = condutividade elétrica; valores em mg dm⁻³

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 adquirido na cidade de São José do Rio Preto - SP, junto à empresa Constroeste Ambiental e este é resultante do aproveitamento racional de lixo doméstico urbano. O biofertilizante utilizado foi obtido junto ao Departamento de Engenharia Rural, da FCAV/UNESP – campus de Jaboticabal, SP, sendo gerado na digestão anaeróbia de dejetos de suíno, obtido por meio da limpeza das instalações desses animais em criação intensiva, nas fases de crescimento e terminação. As análises dos resíduos orgânicos e industrial se apresentam na Tabela 3.

Tabela 3 - Dados da análise química dos resíduos orgânicos e industrial, base seca.

	Pb	Cd	Ni	Cr	Mn	Cu	Zn	Na
mg dm ⁻³								
Res. proc. da bauxita	183	3	270	3	2100	4	111	50100
Composto de lixo	250	2	41	8	350	67	1100	2650
Biofertilizante	7	0,5	9	8	0,20	0,1	1,4	18

Metodologia utilizada: BRASIL (1988)

Para a instalação do experimento foram construídos recipientes de PVC com dimensões de 45 cm de altura e 30 cm de diâmetro, totalizando um volume de 32 L. Os tratamentos testados resultaram em cinco tipos de fertilização: a) sem adubação; b) fertilização mineral; c) fertilização com resíduo do processamento da bauxita; d) fertilização com composto de lixo urbano; e) fertilização com biofertilizante oriundo da digestão anaeróbia de dejetos suínos; e dois tipos de irrigação: água potável e água servida residencial, totalizando 10 tratamentos. Assim, 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 uma planta de cana-de-açúcar.

O solo foi passado na peneira de número 10 (# 2,0 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⁻³. A quantidade de solo para essa camada calculada em função da densidade do solo (1,25 kg dm⁻³) e volume do recipiente (14,14 dm⁻³), totalizando 17,68 kg de solo. Para a camada abaixo 20 -25 cm foi utilizado o mesmo princípio, colocando-se 22,11 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 por meio 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 peneira de número 10 (# 2,0 mm), sendo a partir daí realizada a adição dos resíduos orgânicos e dos fertilizantes minerais, com base na análise química do solo e de acordo com as recomendações de RAIJ et al. (1997). Na Tabela 4 são apresentadas às quantidades de fertilizantes, corretivos e resíduos utilizados nos tratamentos.

Tabela 4 - Quantidades de fertilizantes, corretivos e resíduos usados nos tratamentos.

Tratamentos	Fertilizantes, corretivos e resíduos	Quantidades	
		kg ha ⁻¹	g vaso ⁻¹
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
Biofertilizante	- calcário (MgO = 9% e PRNT=95%)	600	4,25
	biofertilizante	40000	282,75

PRNT = Poder reativo de neutralização total

Com o auxílio de sacos de plástico o solo foi misturado com resíduos orgânicos (composto de lixo e biofertilizante) e fertilizantes. Após a mistura com os tratamentos estabelecidos e antes do acondicionamento nos recipientes, foi feita adição de solo puro, inicial preenchendo a camada de 20 - 45 cm. O volume de solo para essa camada foi um volume de $17,68 \text{ dm}^{-3}$. 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 tratado, preenchendo os outros 20 cm, totalizando 45 cm de altura do recipiente (Figura 1).

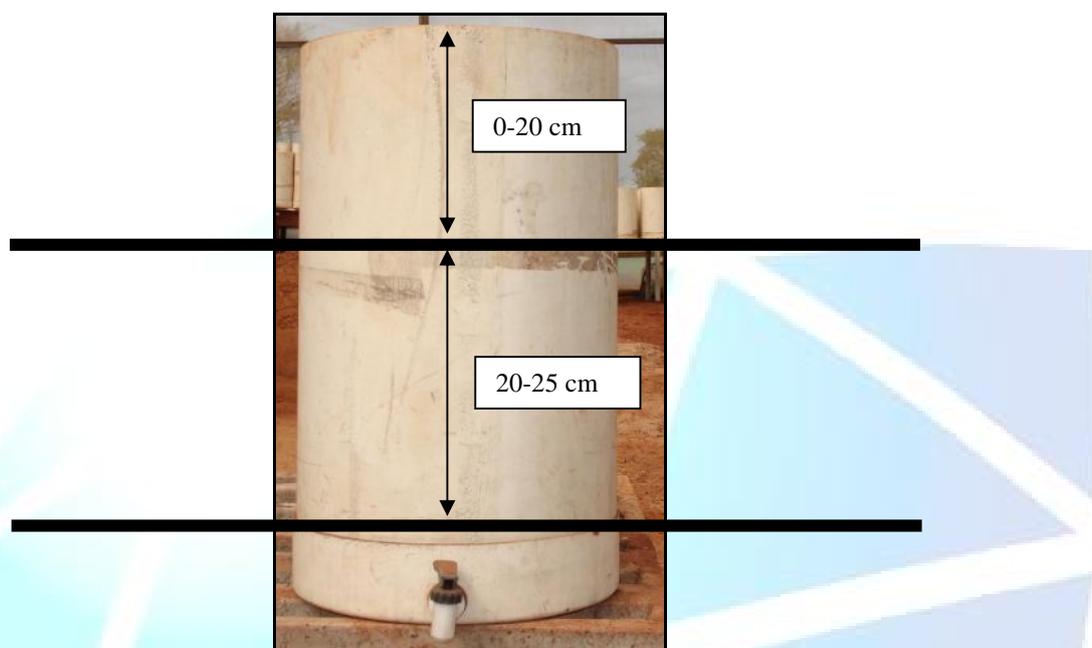


Figura 1. Esquema da distribuição composição do solo tratado (camada de 0 - 20 cm) e solo da camada subsuperficial sem tratamento (20 - 25 cm)

Depois do preenchimento do recipiente procedeu-se o transplântio 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 ha^{-1} de nitrogênio e 20 kg ha^{-1} de potássio, ou seja, $3,25 \text{ g}$ de nitrato de cálcio e $0,30 \text{ g}$ de cloreto de potássio, essa adubação foi feita apenas para os tratamentos fertilização com resíduo do processamento da bauxita e fertilização mineral. A partir da instalação do experimento foram feitas irrigações diárias de acordo com a evapotranspiração.

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 K_c (coeficiente de evapotranspiração) da cultura da cana-de-açúcar utilizado para o cálculo da quantidade de água a ser aplicada por vaso, seguiu a metodologia sugerida por Hernandez (2008).

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 Raij et al. (1997). Após a coleta das folhas, foi excluída a nervura central e aproveitado os 20 cm centrais das mesmas. Quanto a quantificação química (Cu, Fe, Mn e Zn) foi usada a metodologia descrita por Bataglia et al. (1983).

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 misturadas para a obtenção de uma amostra

composta. Realizada a coleta do solo, o material foi seco ao ar durante 3 dias, logo em seguida, peneirado, devidamente identificado e encaminhado para o Laboratório de Análises de Solo do Departamento de Solos e Adubos para quantificação química (Cu, Fe, Mn e Zn), seguindo metodologia descrita por Raij et al. (2001).

A partir da instalação do experimento foram feitas irrigações diárias de acordo com a evapotranspiração, que foi medida por um atmômetro modificado, que segundo Broner e Law (1991) pode estimar este processo de referência com boa precisão, cujas medidas de evaporação foram tomadas com base para definir as lâminas de água a serem aplicadas na irrigação. A irrigação foi realizada levando em consideração a capacidade de campo do solo, correspondendo uma reposição diária de 100% da evapotranspiração - (ET). A irrigação foi feita de maneira individual e a distribuição da água nas parcelas feita por meio de provetas graduadas com capacidade para 1 L.

O Kc da cultura da cana-de-açúcar foi utilizado para o cálculo da quantidade de água a ser aplicada por vaso usando a metodologia sugerida por Hernandez (2008), onde o Kc inicial foi 0,4; fase de desenvolvimento Kc = 0,7; período intermediário Kc = 1,0; final do ciclo Kc = 0,75; colheita Kc = 0,5.

Os dados foram tratados estatisticamente através da análise de variância, onde as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, de acordo com os procedimentos do Statistical Analysis System (SAS INSTITUTE, 1999).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

- Solo

Os resultados citados na Tabela 5 demonstram que não foram observadas diferenças estatísticas em todas as variáveis químicas do solo para o uso de diferentes tipos de água (potável ou servida), bem como para a interação entre as fertilizações e a aplicação de duas qualidades de água na irrigação.

Tabela 5- Dados da análise química do solo para micronutrientes da camada de 0-20 cm.

Tratamentos	Cu	Fe	Mn	Zn
	mg dm ⁻³			
Testemunha	0,11 b	12,33	4,10 b	0,16 b
Ad. mineral	0,11 b	13,00	6,35 a	0,15 b
Res. Proc. bauxita	0,25 b	12,83	6,43 a	0,35 b
Composto de lixo	0,11 b	11,33	4,25 b	0,15 b
Biofertilizante	0,56 a	12,33	4,36 b	0,83 a
Teste (F)	9,96**	2,53 ^{NS}	38,98**	12,14**
DMS	0,16	1,00	0,46	0,21
Água (A)				
Potável (1)	0,30	14,00	7,08	0,52
Servida (2)	0,28	14,30	7,13	0,49
Teste (F)	0,58 ^{NS}	0,33 ^{NS}	1,78 ^{NS}	0,65 ^{NS}
DMS	0,12	0,77	0,35	0,16
S x A	2,75 ^{NS}	3,37 ^{NS}	7,62 ^{NS}	3,14 ^{NS}
CV	14,87	8,08	9,10	12,59

^{NS} Não-significativo. * e **Significativo a 5 e a 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Este fato é perfeitamente compreensível devido à baixa quantidade de micronutrientes e elementos tóxicos nas águas de irrigação, e que todo nutriente necessário para a planta foi proveniente dos diferentes tipos de fertilizações. A água tem um papel importante 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. Sobre o tema, Lucena et al. (2006) verificaram que as propriedades químicas do solo para desenvolvimento das plantas não depende do tipo de água empregada na irrigação.

No caso do Cu, apenas o tratamento com biofertilizante apresentou diferenças estatisticamente significativas, com concentração de $0,56 \text{ mg dm}^{-3}$. Esse aumento na concentração de cobre apenas para o tratamento com biofertilizante esta ligada a concentração do elemento no resíduo orgânico, que de acordo com a Tabela 13 é de 700 mg dm^{-3} de cobre. De acordo com Raij et al. (1997) todas as concentrações da camada subsuperficial se encontram nas taxas consideradas altas ($> 0,8 \text{ mg dm}^{-3}$).

De acordo com Prado (2009), o Cu se apresenta no solo na forma de Cu^{2+} , fortemente ligado aos organo-minerais. A proporção do cobre complexado pelos compostos orgânicos na solução do solo pode atingir 98%. Assim, a forma orgânica tem papel importante na regularização da sua mobilidade e disponibilidade na solução do solo. Pode-se inferir, portanto, que quanto maior a concentração desta, menor a disponibilidade de cobre às plantas. A disponibilidade deste elemento está fortemente relacionada ao valor pH do solo.

Quanto ao Fe, não houve diferenças significativas na concentração do elemento no solo para todos os tratamentos testados apresentando em media $12,35 \text{ mg dm}^{-3}$. De acordo com Raij et al. (1997) todas as concentrações se encontram nas concentrações consideradas altas ($>12 \text{ mg dm}^{-3}$).

O Mn apresentou aumento em seus teores apenas para os tratamentos com adubação mineral e resíduo do processamento da bauxita, com concentrações de $6,35$ e $6,43 \text{ mg dm}^{-3}$, respectivamente. Essas concentrações são consideradas altas segundo Raij et al. (1997). Esse aumento se deve possivelmente a presença do elemento na composição química do adubo empregado (superfosfato simples), uma vez que apenas esses tratamentos receberam fertilizantes minerais, resultado também encontrado por Teixeira et al. (2005). Esses autores observaram aumento nas concentrações de Mn em solo com o uso de superfosfato simples como fertilizante fosfatado. Outros tratamentos não apresentaram diferenças estatísticas entre si, mas com menores concentrações do que os tratamentos adubação mineral e resíduo do processamento da bauxita.

Para o Zn, observou-se também efeito para o tratamento biofertilizante com concentração no solo de $0,83 \text{ mg dm}^{-3}$, sendo a maior concentração e diferindo de todos ou outros tratamentos, que não apresentaram diferenças estatísticas entre si. A concentração de Zn no solo passou do nível considerado baixo para o médio, segundo Raij et al. (1997), com a aplicação de biofertilizante. Os valores de Zn no solo foram semelhantes aos obtidos por Santos (2004), com a utilização de biofertilizante puro e enriquecido fornecidos ao solo na forma líquida, diluídos em água na proporção de 1:1 que aumentaram de $10,00 \text{ mg dm}^{-3}$ para até $72,85 \text{ mg dm}^{-3}$.

A movimentação do Zn em profundidade também foi observada em solos tratados com resíduos de siderurgia (AMARAL SOBRINHO et al., 1998) e lodo de esgoto (OLIVEIRA et al., 2002).

- Planta

De acordo com a Tabela 6 não foram observadas diferenças estatísticas em todas as variáveis químicas do solo para o uso de diferentes tipos de água (potável ou servida), bem como para a interação entre as fertilizações e a aplicação de duas qualidades de água na irrigação.

Tabela 6 - Dados da análise química da folha para micronutrientes

Tratamentos	Cu	Fe	Mn	Zn
	----- mg kg -----			
Testemunha	150,50 bc	8,66 b	0,11 b	124,66 b
Ad. Mineral	303,17 a	12,00 a	0,86 a	164,00 a
Res. Proc. bauxita	287,33 a	13,50 a	0,83 a	162,16 a
Composto de lixo	158,67 b	9,50 b	1,00 a	89,66 d
Biofertilizante	123,17 c	10,00 b	0,80 a	84,66 d
Teste (F)	110,45**	19,95**	3,70*	298,33**
DMS	34,63	1,80	0,62	8,64
Água (A)				
Potável (1)	257,40	10,66	0,79	119,46
Servida (2)	243,25	10,40	0,70	121,60
Teste (F)	1,58 ^{NS}	0,51 ^{NS}	2,00 ^{NS}	1,58 ^{NS}
DMS	15,15	0,79	0,31	3,78
S x A	0,74 ^{NS}	2,35 ^{NS}	1,86 ^{NS}	1,55 ^{NS}
CV	9,57	9,68	14,46	4,32

^{NS} Não-significativo. * e **Significativo a 5 e a 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Para o Fe (Tabela 6), apenas os tratamentos adubação mineral e resíduo do processamento da bauxita apresentaram aumento nos teores foliares, respectivamente, com 303,17 e 287,33 mg kg⁻¹. Já os tratamentos composto de lixo (158,77 mg kg⁻¹) e biofertilizante (123,17 mg kg⁻¹) apresentaram diferenças estatísticas entre si, mas não diferiram do tratamento testemunha (150,50 mg kg⁻¹), ou seja, o uso de fertilizantes orgânicos não elevaram os teores de Fe em folhas de cana-de-açúcar.

A maior presença de Fe foi observado nas raízes das plantas, podendo isto ocorrer, provavelmente, pela atividade das H-ATPases presentes nas membranas que induzem efluxos de compostos fenólicos (quelatos) e H⁺ que podem solubilizar o Fe (hidróxido) e quelatiza-lo até chegar à superfície da raiz (ou no ELA) e pela ação das redutases desquelatizando e liberando o Fe⁺² para sua absorção. As plantas que apresentam maior habilidade na absorção de Fe, portanto, são capazes de reduzir na rizosfera, o Fe³⁺ para Fe²⁺, pelo efluxo de prótons (DIEM et al., 2000).

Além disso, a quantidade de Fe⁺³ é baixa em solos cultivados (pH 6,5) (Fe⁺³ + 3OH⁻ ⇌ Fe(OH)₃). Outra forma de absorção de Fe seria via sideróforo (quelato), especialmente em gramíneas, onde este quelato de Fe, seria absorvido sem a redução. E ainda, absorção do Fe-quelato pode ocorrer independentemente do pH do solo (PRADO, 2009). Os teores adequados de Fe em folhas de cana-de-açúcar estão na faixa de 40 a 250 mg kg⁻¹ (RAIJ et al., 1997), faixa essa atingida por todos os tratamentos.

Podem-se observar aumentos nos teores de Zn apenas para os tratamentos adubação mineral e resíduo do processamento da bauxita, respectivamente, com 12,00 e 13,50 mg kg⁻¹. Em outros tratamentos não houve aumentos foliares de Zn apresentando valores estatisticamente semelhantes ao tratamento testemunha. Analisando os teores de Zn nas folhas da planta, verificou-se que com a quantidade de Zn em toda planta aumentou significativamente para os tratamentos adubação mineral e resíduo do processamento da bauxita e maior teor nas raízes para compostos orgânicos.

Marques (1997), avaliando o parâmetro índice de colheita de Zn (fração do total de Zn da planta acumulado nos grãos) dessas plantas, mencionou que, nas doses mais elevadas de lodo, ocorreu menor translocação de Zn para as sementes, acumulando-se principalmente nas folhas. De acordo com alguns autores (WANG e EVANGELOU, 1994), no citoplasma da célula ocorre a complexação do metal (Zn) com ácidos orgânicos (citrato) e inorgânicos (H₂S), fitatos e

fitoquelatinas. Todos esses compostos formados são armazenados nos vacúolos na forma menos tóxica para a planta. Para Raij et al. (1997), os teores adequados de Zn nas folhas estão na faixa de 10 - 50 mg kg⁻¹, sendo que todos os tratamentos testemunha e composto de lixo se mostraram deficientes neste elemento.

No caso do Cu todos os tratamentos apresentaram aumento nos seus teores em função da aplicação dos fertilizantes, esses teores foliares são considerados extremamente baixos para Raij et al. (1997), uma vez que a planta bem suprida em cobre apresenta teores foliares na faixa de 6 a 15 mg kg⁻¹. Esse baixo teor está relacionado ao não fornecimento do nutriente ao solo, por meio de fertilizantes e a baixa reposição de cobre pelos fertilizantes empregados em cada tratamento.

O maior teor de Cu nas raízes mostra que o elemento é considerado imóvel na planta, não sendo redistribuído para outras partes da mesma. Petruzelli et al. (1989), em ensaio de campo, avaliaram o efeito da aplicação de 30 t ha⁻¹ ano⁻¹ de composto de lixo, durante quatro anos, na cultura do milho. Constataram que o teor de Cd, Zn e Cu nos grãos teve um aumento significativo em relação à testemunha apenas no terceiro e quarto cultivos. Nobile (2005), estudando doses crescentes do resíduo do processamento da bauxita, observou diminuição dos teores foliares de Cu, sendo a aplicação de doses acima de 28 t ha⁻¹ diminuíram os teores de Cu de 8,00 para 1,50 mg kg⁻¹.

Para Mn observam-se aumentos nos teores foliares nos tratamentos adubação mineral e resíduo do processamento da bauxita, respectivamente, com 164,00 e 162,16 mg kg⁻¹. Composto de lixo e biofertilizante apresentaram teores foliares de Mn, estatisticamente, menores que o tratamento testemunha. O que pode ser explicado pela baixa concentração do elemento no solo nos tratamentos com adição de resíduos orgânicos, com menor disponibilidade no solo menor era a absorção de Mn pela planta.

De acordo com Mann et al. (2002), como o Mn tem propriedades químicas semelhantes (o raio iônico) aos nutrientes Ca²⁺, Fe²⁺, Zn²⁺, e, especialmente, Mg²⁺, a presença destes pode inibir sua absorção e até mesmo seu transporte. Salientou-se, que a absorção do Cu, Zn e Fe, pode dobrar com a deficiência de Mn. O contrário, entretanto, também é verdadeiro, com ênfase para o Fe. Por fim, salientou-se que a eficiência de absorção de Mn pelas plantas submetidas à baixa concentração do nutriente, é controlada geneticamente, por alguns genes. De acordo com Raij et al. (1997), teores adequados de Mn em folhas de cana-de-açúcar estão na faixa de 25 a 250 mg kg⁻¹.

4. CONCLUSÕES

- A qualidade da água de irrigação, potável ou servida, não afetou nenhum parâmetro relacionado aos teores de micronutrientes;
- Apenas o biofertilizante alterou as concentrações de Cu e Zn no solo;
- o resíduo do processamento da bauxita aumentou as concentrações de todos os micronutrientes na planta, enquanto que o composto de lixo e biofertilizante apenas o Mn;

Ficou demonstrada que a aplicação de resíduos orgânicos e industrial não substitui totalmente o uso de fertilizantes químicos, mas é uma opção interessante para a agricultura na medida em que fornece os nutrientes de plantas, permitindo destinação técnica aos mesmos, contemplando aspectos relacionados a um menor impacto dessas matérias no ambiente.

5. AGRADECIMENTO

Ao CNPq pelo auxílio concedido durante a execução do projeto.

6. REFERÊNCIAS

- AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; VELLOSO, A.C.X.; COSTA, L.M.; OLIVEIRA, C. Mobilidade de elementos tóxicos em solo tratado com resíduo siderúrgico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 2, p. 345-353, 1998.
- APHA. American Public Health Association. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 19 ed. Washington, 1995. 1134 p.
- BATAGLIA, O.C.; FURLANI, A.M.C.; TEIXEIRA, J.P.F.; FURLANI, P.R.; GALLO, J.R. **Métodos de análise química de plantas**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1983. 48 p. (Boletim Técnico, 78).
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Secretária Nacional de Defesa Agropecuária. **Análise de corretivos, fertilizantes e inoculantes: métodos oficiais do Laboratório Nacional de Referência Vegetal**. Brasília: LANARV, 1988. 104 p.
- BRONER, I; LAW, R.A.P. Evaluation of a modified atmometer for estimating reference ET. **Irrigation Science**, v.12, p. 21-26, 1991.
- CARARO, D.C. **Manejo de irrigação por gotejamento para aplicação de água servida visando à minimização do entupimento de emissores**. 2004. 130 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade São Paulo, Piracicaba, 2004.
- DIEM, H.G.; DUHOUX, E.; ZAID, H.; ARAHOU, M. Cluster roots in Casuarinaceae: role and relationship to soil nutrient factors. **Annals of Botany**, Oxford, v. 85, n. 6, p. 929-936, 2000.
- FRANCO, H.C.J.; TRIVELINI; P. C. O., FARONI; C. E., VITTI; A. C., OTTO; R. Stalk yield and technological attributes of planted cane as related to nitrogen fertilization. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 67, n. 5, p. 579-590, 2010.
- HACH COMPANY. **Spectrophotometer instrument manual**. Loveland, 1996.
- HERNANDEZ, F.B.T. **Manejo da Irrigação**, abr 2008. Disponível em: <<http://www.agr.feis.unesp.br/curso3.htm>> Acesso em: 30 out. 2011.
- LUCENA, A.M.A. de; ALMEIDA, F. A. C.; COSTA, F. X.; GUERRA, H. O. C. Emprego de substratos irrigados com água de abastecimento e residuária na propagação do flamboyant. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Paraíba, v. 6, n. 1, p. 115 – 121, 2006.
- MANN, E.N.; RESENDE, P.M.; MANN, R.S. Efeito da aplicação de manganês no rendimento e na qualidade de sementes de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 12, p. 1757-1764, 2002.
- MARQUES V.S. **Efeitos de zinco e cádmio em arroz (Oryza sativa L.) cultivado com solução nutritiva e em solo tratado com lodo de esgoto enriquecido**. 1997. 146 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Itaguaí, 1997.

MELO, W.J. de; MARQUES, M.O. Potencial do lodo de esgoto como fonte de nutrientes para as plantas. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O.A. (Org.). **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. p. 109-139.

NOBILE, F.O. de. **Efeito da aplicação de resíduo da mineração de bauxita no solo e na planta de cana-de-açúcar**. 2005. 117 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2005.

NOBILE, F.O. de, GALBIATTI, J.A., MURAISHI, R.I, RIBEIRO, A.G., FREDDI, O.S. Quantificação de macronutrientes no solo e em folhas de cana-de-açúcar em função de doses de resíduo da mineração de bauxita. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 1, p.168-178, 2010.

OLIVEIRA, F.C.; MATTIAZZO, M.E.; MARCIANO, C.R.; ABREU Jr., C.H. Alterações em atributos químicos de um latossolo pela aplicação de composto de lixo urbano. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n.4, p. 529-538, 2002.

PETRUZZELLI, G.; LUBRANO, L.; GUIDI, G. Uptake by corn and chemical extractability of heavy metals from a four years compost treated soil. **Plant and Soil**, London, v. 116, n. 1, p. 23-27, 1989.

PRADO, R.M. **Nutrição de Plantas**. São Paulo: Fundação Editora da UNESP, 2009. p. 408.

RAIJ, V.B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A.M.C. eds. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1997. p. 39. (Boletim Técnico, 100).

RAIJ, V.B.; ANDRADE, J.C. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285p.

SANTOS, G.D. **Avaliação do maracujazeiro – amarelo sob biofertilizantes aplicados ao solo na forma líquida**. 2004. 74 f. Dissertação (Mestrado Manejo e Conservação do solo e da Água) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2004.

SAS INSTITUTE. **SAS user's guide**. Cary, 1999. 595 p.

TEIXEIRA, A.O.; LOPES, D.C.; RIBEIRO, M.C.T.; LOPES, J.B.; FERREIRA, V.P.A.; VITTI, D. M. S. S.; MOREIRA, J.A.; PENA, S. M. Composição química de diferentes fontes de fósforo e deposição de elementos tóxicos em tecidos de suínos. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 57, n. 4, p. 502-509, 2005.

WANG, J.; EVANGELOU, V.P. **Metal tolerance aspects of plant cell wall and vacuole - handbook of plant and crop physiology**. Tucson: The University of Arizona, 1994. 325 p.