

ACÚMULO DE METAIS PESADOS E ENXOFRE NO SOLO EM ÁREAS DE INFLUÊNCIA DE CANAIS DE VINHAÇA DE FERTIRRIGAÇÃO

HEAVY METALS AND SULPHUR ACUMULATION ON SOIL IN AREAS OF INFLUENCE OF VINASSE CHANNELS OF FERTIGATION

Helenice Moura GONÇALVES¹; Jácomo Divino BORGES²;
Mellissa Ananias Soler da SILVA³

1. Engenheira Agrônoma, Doutoranda, Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos - EA, Universidade Federal de Goiás - UFG, Goiânia, GO, Brasil. helenicemoura@uol.com.br; 2. Biólogo, Professor Adjunto, EA-UFG, Goiânia, GO, Brasil; 3. Doutora, Engenheira Agrônoma, EA-UFG, Goiânia, GO, Brasil.

RESUMO: Esta pesquisa objetivou avaliar os valores do pH e os teores de cádmio, cromo, níquel, chumbo, cobre, ferro, manganês, zinco e enxofre no perfil do solo, além do comportamento desses elementos em relação à acidez do solo em clima tropical, nas áreas de influência de canais de vinhaça usada na fertirrigação da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.). Adotou-se como tratamento testemunha o solo sob vegetação nativa não antropizada. Os tratamentos consistiram de canais de vinhaça com três tempos de uso: um, três e 20 anos, totalizando sete tratamentos (testemunha e três canais, considerando as suas partes interna e externa), com quatro repetições cada. Na área testemunha e na parte externa dos canais foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0-25 cm, 25-50 cm, 50-75 cm e 75-100 cm. Na parte interna dos canais (fundo) as amostras de solo foram coletadas nas profundidades de 0-50 cm, 50-100 cm, 100-150 cm e 150-200 cm, em quatro pontos distintos, em áreas de Latossolo Vermelho Distrófico. O delineamento experimental foi de parcelas sub-divididas. Os resultados obtidos a partir das análises do solo foram submetidos à Análise de Variância e aos testes F e Tukey ($P < 0,05$). O uso de canais para o transporte de vinhaça ao longo dos anos proporcionou acúmulos aceitáveis no solo dos teores dos elementos avaliados. No entanto, é recomendável que os canais sejam revestidos com material impermeabilizante para evitar a lixiviação desses elementos e, conseqüentemente, a contaminação do lençol freático.

PALAVRAS-CHAVE: *Saccharum officinarum*, Cana-de-açúcar. Latossolo Vermelho Distrófico.

INTRODUÇÃO

A necessidade de preservar as águas superficiais e o aumento de dispositivos legais severos contra a descarga de poluentes em correntezas e lagos têm aumentado o interesse no uso do solo para disposição, tratamento e utilização de efluentes líquidos residuários em geral (ROSSETO, 1987).

Com o crescente avanço do setor sucroalcooleiro nas regiões tropicais e a adoção da fertirrigação com vinhaça como fonte suplementar de nutrientes, surgiu a possibilidade de poluição dos solos por elementos carreados por esse resíduo (PROCANA, 2008). É importante ressaltar que existem poucos estudos relativos ao tema, principalmente em solos situados em clima tropical.

O solo possui larga ocorrência e a capacidade dos seus constituintes em reter grandes quantidades de substâncias orgânicas e inorgânicas, fazem desse recurso uma das alternativas mais razoáveis para disposição de resíduos, tanto do ponto de vista econômico e, ou, na produção de alimentos como fonte energética (OLIVEIRA, 2006). Porém, existem resíduos

industriais que não devem ser aplicados ao solo por serem tóxicos, podendo torná-lo estéril (USINA ESTER, 2007).

Uma prática comum nos meios canavieiros é a disposição da vinhaça e da torta de filtro no solo. Com o crescente aumento do preço de fertilizantes, a utilização destes resíduos como fontes de nutrientes para a cultura da cana-de-açúcar, vem se tornando cada vez mais interessante e econômica (SEVERIANO, 2007). Segundo Oliveira (2006), o uso adequado desses resíduos só tem trazido benefícios, seja pela substituição parcial ou total de fertilizantes e por livrar os cursos d'água dos perigos trazidos pelo acúmulo, principalmente, de material orgânico com alta demanda bioquímica de oxigênio (DBO).

Considerando que a prática mais adotada para dispor a vinhaça é a sua aplicação na forma de fertirrigação, nos solos cultivados com cana-de-açúcar, como fonte de nutrientes, e que esse resíduo possui elementos tóxicos em diferentes quantidades e que são poucos os estudos do comportamento desses cátions nos solos, notadamente em Latossolos Vermelhos sob clima tropical, a presente pesquisa teve por objetivo avaliar os valores do pH e os teores de cádmio,

Received: 03/07/08

Accepted: 21/10/08

romo, níquel, chumbo, cobre, ferro, manganês, zinco e enxofre em diferentes profundidades do solo, nas áreas interna e externa de canais de transporte de vinhaça usada como insumo na fertirrigação de áreas cultivadas com cana-de-açúcar.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida em condições de campo, no interior de áreas cultivadas com cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.), na empresa Jalles Machado, S.A., no município de Goianésia, GO, situada nas coordenadas geográficas 15° 10' de latitude Sul, 49° 15' de longitude Oeste e 640 m de altitude (BRASIL, 1983). O clima local é classificado, segundo Köppen, como tropical de savana, quente e úmido, com inverno seco e verão chuvoso (Aw), e média pluvial anual de 1.500 mm. O relevo é suave ondulado e o solo dessas áreas foi classificado como Latossolo Vermelho Distrófico, de acordo com EMBRAPA (1999).

A pesquisa consistiu da coleta e análise de amostras de solo em canais de transporte de

vinhaça, considerando-se a parte interna, bem como a parte externa destes, as áreas adjacentes de influência dos mesmos.

As amostras de solo, cada qual com aproximadamente 500 g, foram coletadas e acondicionadas individualmente em sacos plásticos transparentes, de polietileno, medindo 20,0 cm por 30,0 cm, que receberam uma etiqueta contendo a data da coleta e os demais dados que as identificavam com os respectivos tratamentos, repetições e profundidades. Estas foram enviadas para análise química dos teores de cádmio, cromo, níquel, chumbo, cobre, manganês, ferro, zinco e enxofre, e os valores do pH.

Foram coletadas e analisadas quimicamente três amostras compostas de vinhaça produzida na empresa Jalles Machado, S.A. (Tabela 1). Cada amostra de vinhaça foi composta por dez sub-amostras coletadas em diferentes canais de transporte de vinhaça que integram, juntamente com os reservatórios temporários, o sistema de fertirrigação da cultura de cana-de-açúcar.

Tabela 1. Valores médios dos parâmetros químicos analisados na vinhaça *in natura*, em base líquida, resultante do processamento da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) para a produção de álcool e açúcar, na empresa Jalles Machado S.A., município de Goianésia, GO (médias de três repetições).

Parâmetro	Valor médio	Parâmetro	Valor médio
Resíduos sólidos totais (kg m ⁻³)	54,8	Zn (g m ⁻³)	2,950
pH (CaCl ₂)	4,7	Cu (g m ⁻³)	0,333
N (kg m ⁻³)	0,495	Fe (g m ⁻³)	57,000
P (kg m ⁻³)	0,137	Mn (g m ⁻³)	20,170
K (kg m ⁻³)	6,120	Cd (g m ⁻³)	0,003
Ca (kg m ⁻³)	1,917	Ni (g m ⁻³)	0,206
Mg (kg m ⁻³)	0,50	Pb (g m ⁻³)	0,058
S (disp.) (kg m ⁻³)	0,917	Cr (g m ⁻³)	0,042
C (kg m ⁻³)	8,33	M.O. (kg m ⁻³)	14,670
C/N	16,82	DBO (mg L ⁻¹ O ₂)	11.133,000

Foram selecionados três canais principais de distribuição de vinhaça, usada na fertirrigação de plantas de cana-de-açúcar. Os canais, com profundidade média de 0,70 m, constituíram os tratamentos, se caracterizavam pelo tempo de uso, tendo sido considerados três períodos. Para o primeiro período foi selecionado um canal de vinhaça com apenas um ano de uso; o segundo período consistiu de um canal de vinhaça usado durante três anos seguidos,

enquanto que para o terceiro período considerou-se um canal com 20 anos seguidos de uso.

A coleta de amostras ocorreu em quatro pontos distintos no fundo de cada um dos três canais, com 50 m de distância entre si, após a interrupção do fluxo de vinhaça, foram coletadas amostras compostas de solos, cada qual constituída por cinco amostras simples, nas profundidades de 0-50 cm; 50-100 cm; 100-150 cm e 150-200 cm, a partir do fundo dos canais. Foram coletadas, também, amostras de solos nas

profundidades de 0-25 cm; 25-50 cm; 50-75 cm e 75-100 cm, em quatro pontos distintos na projeção dos pontos de coletas de amostras realizadas no fundo dos canais, localizados a um metro de afastamento na parte externa do respectivo canal, evitando-se as áreas contíguas com estradas internas, por estas apresentarem o solo compactado.

Para efeito de comparação com os resultados dos tratamentos localizados nas áreas externas dos canais, teve-se como tratamento testemunha, o solo localizado na área denominada Mata dos Macacos, caracterizada por apresentar vegetação nativa não antropizada, com espécies florestais representativas da formação vegetacional de Floresta Estacional Semi-Decidual, com transição para Savana Florestada (Cerradão). Nesta área, as amostras de solo foram coletadas em quatro pontos distintos, nas profundidades de 0-25 cm, 25-50 cm, 50-75 cm e 75-100 cm.

O ensaio foi constituído por sete tratamentos com quatro repetições cada, identificados como: Testemunha; C1D-Canal com um ano, área interna; C1E-Canal com um ano, área externa; C3D-Canal com três anos, área interna; C3E-Canal com três anos, área externa; C20D-Canal com 20 anos, área interna; e C20E-Canal com 20 anos, área externa. Foi adotado o delineamento experimental de parcelas sub-divididas, em função das diferentes profundidades amostradas.

Os procedimentos adotados na realização das análises químicas do solo seguiram metodologia preconizada pela Embrapa (1997). Os teores de cádmio, cromo, níquel, chumbo, cobre, ferro, manganês, zinco e enxofre (SO_4^{2-}), foram extraídos em solução de Mehlich I, seus valores foram medidos em espectrofotômetro de absorção atômica. A determinação da acidez ativa (pH) foi realizada em CaCl_2 .

Foram analisados, estatisticamente, entre os tratamentos, os valores médios obtidos em cada repetição, dos seguintes parâmetros: pH, cádmio, cromo, níquel, chumbo, cobre, manganês, ferro, zinco e enxofre. Os resultados obtidos a partir das análises do solo foram submetidos à Análise de Variância, os dados, posteriormente, foram submetidos ao teste de Tukey a 5% de significância. O teste F, a 5% de significância, foi aplicado aos valores com o objetivo de verificar a interação entre os tratamentos e as profundidades amostradas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises químicas do solo, em diferentes profundidades, nas partes externa e interna dos canais de vinhaça, para os teores de cádmio, cromo, níquel, chumbo, cobre, manganês, ferro, zinco e enxofre, e os valores do pH estão apresentados nas Tabelas 2 e 3.

Nas condições do experimento, em todas as variáveis avaliadas, somente apresentaram efeito significativo os elementos cobre, ferro, zinco e enxofre e o pH do solo, que apresentou valores variando de 4,1 (C20E, 25-50 cm) (Tabela 2) a 6,1 (C1D, 150-200 cm) (Tabela 3). Esse intervalo de valores é esperado para os solos tropicais, especialmente na ordem dos Latossolos, os quais, devido ao seu elevado intemperismo e boa drenagem no perfil, apresentam como característica inerente a elevada lixiviação de íons, especialmente cátions trocáveis, e elevada acidez (SANTOS et al., 2006). A disponibilidade dos micronutrientes para as plantas é afetada, de modo geral, pelo fatores pH, matéria orgânica, textura, minerais de argila, teor de umidade, potencial redox, temperatura e interações com os outros nutrientes (SILLANPÄÄ, 1980).

Observou-se que o solo da parte externa dos canais com um e três anos apresentaram valores de pH superiores aos do solo de mata (Testemunha) em todas as profundidades avaliadas (Tabela 2). Esse comportamento pode ser atribuído ao efeito residual da aplicação de vinhaça por diferentes tempos de uso, pois, embora esse resíduo apresente pH ácido (valor médio de 4,7), após um determinado tempo da aplicação da vinhaça no solo seu pH pode sofrer abrupta elevação, devido à ação dos microrganismos presentes no meio (ROSSETTO, 1987; SILVA; RIBEIRO, 1998).

Os teores de cádmio não diferiram significativamente entre os tratamentos, exceto para o teor médio da Testemunha, que apresentou os maiores valores. Teores de cádmio analisados no solo da área Testemunha, podem ter sofrido influência pedogenética. Segundo Fassbender (1980), na natureza, os metais pesados podem originar-se de rochas. Solos resultam de processos de intemperismo de rochas e, dessa forma, acabam por conter os metais pesados herdados da rocha-matriz, que neste caso tratam-se de rochas basálticas.

A incidência de cromo foi superior na Testemunha. Os teores desse metal tóxico encontrados no solo nos tratamentos avaliados apresentam-se na faixa de valores aos citados por

Souza e Lobato (2004), que consideram o teor de cromo no solo, extraído por solução Mehlich I, baixo se menor que $2,0 \text{ mg dm}^{-3}$; médio entre $2,0 \text{ mg dm}^{-3}$ e $5,0 \text{ mg dm}^{-3}$ e alto acima de $5,0 \text{ mg dm}^{-3}$. Assim, esta ocorrência não deve ser considerada preocupante, quanto à qualidade do meio ambiente.

Para os elementos níquel e chumbo foram verificadas diferenças significativas, observou-se para a Testemunha teores muito superiores aos dos tratamentos tanto da parte interna quanto da externa dos canais de transporte de vinhaça, ressaltando a possível interferência nos teores desses elementos no solo com o tipo de material de origem do solo da mata nativa (Tabela 2). No entanto, para o níquel, além da diferença com a Testemunha, verificou-se que os seus teores no tratamento C20D, nas diferentes profundidades, foram estatisticamente superiores aos teores analisados nos demais tratamentos com vinhaça (Tabelas 2 e 3).

Não foi verificado qualquer acúmulo, seja por tempo de uso ou em profundidade, nos teores dos metais pesados cádmio, cromo, níquel e chumbo nas amostras de solo analisadas, mostrando a pouca mobilidade destes elementos no perfil do solo. Apesar dos solos das áreas estudadas terem sido classificados como Latossolos (OLIVEIRA, 2006) e como esta região é muito antiga, datada do período pré-cambriano, algumas áreas podem estar sobre pontas de rochas que apresentam os metais níquel e chumbo em maior quantidade em sua composição.

Os teores médios de cobre variaram entre $0,380 \text{ mg dm}^{-3}$ (C20E, 75-100 cm) (Tabela 2) e $7,180 \text{ mg dm}^{-3}$ (C1D, 0-50 cm) (Tabela 3). Foi observado um maior teor desse micronutriente nos canais com menor tempo de uso (um e três anos). No solo dos canais com 20 anos, tanto nas áreas externa quanto interna, não evidenciou acúmulo deste metal pesado. A disponibilidade do cobre é afetada pelo pH, tendendo a diminuir com a elevação deste (HARMSSEN; VLEK, 1985), devido à diminuição na solubilidade do elemento na forma de óxidos, aumento da quantidade adsorvida sobre superfícies ou precipitada e, ainda, maior estabilidade das ligações com a matéria

orgânica a valores de pH mais elevados (MCBRIDE, 1995).

De maneira geral, os teores de cobre encontrados apresentaram-se superiores aos limites estabelecidos. Os teores aceitáveis desse elemento, em área de cultivo estão entre $0,5 \text{ mg dm}^{-3}$ e $0,8 \text{ mg dm}^{-3}$ (SOUZA; LOBATO, 2004). Pode-se inferir que há interferência do material de origem nos teores de cobre nos solos analisados, pois, conforme Oliveira (2006), a região é formada por rochas basálticas e que geralmente possuem elevados níveis de metais em sua composição, e entre eles pode estar o metal cobre. Na Testemunha houve, também, a interação da matéria orgânica e dos compostos orgânicos, com o cobre, aumentando, assim, a sua disponibilidade.

Os teores médios de Ferro no solo diferiram significativamente entre os tratamentos. Houve influência dos diferentes tempos de uso na infiltração continuada de vinhaça. Altos teores de ferro foram encontrados nas maiores profundidades da parte externa e em todas as profundidades da parte interna dos canais com três anos, indicando um possível início de processo erosivo. É sabido que a matéria orgânica aumenta a estabilidade dos agregados, o que diminui a propensão à erosão; porém, o ferro e a matéria orgânica são antagonísticos, o que justifica essa ocorrência. Esses dados mostram que os teores de ferro no solo sofreram alteração devido à deposição de vinhaça.

Segundo Oliveira (2006), um fator que se deve considerar é a classificação dos solos estudados, pertencentes à classe Latossolos, uma das características básicas desse tipo de solo o seu alto teor de ferro na forma de óxidos, principalmente a hematita e a goethita, que justificam, de maneira geral, esses altos teores de ferro nos tratamentos. Na Testemunha o alto teor pode ser justificado também pelo baixo valor do pH que favorece a disponibilidade do Fe^{+2} . Os teores de ferro disponíveis no solo, encontrados por Souza e Lobato (2004), variaram de 20 mg dm^{-3} a 60 mg dm^{-3} , sugerindo que os resultados obtidos nas diferentes profundidades na parte externa dos canais de vinhaça, podem ser considerados normais e aceitáveis em solos próximos às áreas de cultivos agrícolas.

Tabela 2. Teores totais de cádmio, cromo, níquel, chumbo, cobre, ferro, manganês, zinco e enxofre e valores do pH de um Latossolo Vermelho Distrófico na parte externa de canais de transporte de vinhaça de fertirrigação, em diferentes profundidades, no município de Goianésia, GO (*).

Tratamento	Cd	Cr	Ni	Pb	Cu	Fe	Mn	Zn	S	pH (CaCl ₂)
	mg dm ⁻³									
0 - 25 cm										
Testemunha	1,00 Aa	3,50 Aa	3,75 Aa	3,00 Aa	3,20 CDa	51,05 Ca	41,63 Aa	0,55 Ba	6,90 Da	4,33 BCa
C1E	0,10 Ba	1,17 Ca	1,10 BCa	1,15 Ba	2,13 Ca	51,68 Ca	18,68 Ba	1,05 Ba	55,33 ABa	4,68 Ca
C3E	0,08 Ba	1,76 BCa	0,65 Ca	1,40 Ba	1,25 CDa	70,00 Ca	22,53 Ba	1,53 Ba	85,58 Ba	4,98 Ca
C20E	0,08 Ba	1,96 BCa	1,20 BCa	1,14 Ba	0,63 Da	43,85 Ca	11,78 Ba	0,63 Ba	29,50 CDa	4,45 Da
25 - 50 cm										
Testemunha	1,00 Aa	3,75 Aa	3,00 Aa	3,25 Aa	3,23 CDab	47,68 Ca	26,53 Ab	0,43 Bb	5,90 Db	4,15 BCa
C1E	0,10 Ba	1,17 Ca	0,90 BCa	1,14 Ba	1,43 Cab	43,03 Ca	10,90 Bb	0,40 Bb	56,08 ABb	4,73 Ca
C3E	0,10 Ba	1,56 BCa	0,43 Ca	1,15 Ba	1,13 CDab	48,73 Ca	11,45 Bb	0,85 Bb	22,00 Bb	4,80 Ca
C20E	0,08 Ba	1,97 BCa	1,30 BCa	1,14 Ba	0,55 Dab	39,68 Ca	6,38 Bb	0,35 Bb	9,68 CDb	4,08 Da
50 - 75 cm										
Testemunha	1,00 Aa	3,25 Aa	3,75 Aa	3,50 Aa	3,10 CDb	51,73 Ca	20,38 Ab	0,33 Bb	4,90 Db	4,33 BCa
C1E	0,08 Ba	1,17 Ca	0,80 BCa	1,14 Ba	1,55 Cb	56,53 Ca	5,80 Bb	0,33 Bb	52,83 ABb	4,93 Ca
C3E	0,12 Ba	2,18 BCa	0,40 Ca	1,15 Ba	0,93 CDb	55,20 Ca	7,05 Bb	0,58 Bb	25,85 Bb	4,68 Ca
C20E	0,10 Ba	1,56 BCa	1,20 BCa	1,44 Ba	0,40 Db	37,43 Ca	7,83 Bb	0,30 Bb	9,58 CDb	4,13 Da
75 - 100 cm										
Testemunha	1,00 Aa	3,75 Aa	3,00 Aa	3,25 Aa	3,05 CDb	54,70 Ca	21,83 Ab	0,33 Bb	6,90 Db	4,33 BCa
C1E	0,15 Ba	1,56 Ca	0,90 BCa	1,43 Ba	1,68 Cb	64,73 Ca	5,93 Bb	0,43 Bb	54,23 ABb	4,93 Ca
C3E	0,08 Ba	2,15 BCa	0,68 Ca	1,14 Ba	0,70 CDb	38,03 Ca	5,33 Bb	0,38 Bb	27,25 Bb	4,68 Ca
C20E	0,08 Ba	1,19 BCa	1,10 BCa	1,42 Ba	0,38 Db	36,63 Ca	9,75 Bb	0,35 Bb	13,10 CDb	4,13 Da

1-Canal com um ano de uso; 2-Canal com três anos de uso e 3-Canal com vinte anos de uso; (*) Médias seguidas de mesma letra minúscula, por profundidade, na coluna não diferem entre si para Tukey, P < 0,05. Médias seguidas de mesma letra maiúscula, por tratamento, entre linhas não diferem entre si para Tukey, P < 0,05.

Tabela 3. Teores totais de cádmio, cromo, níquel, chumbo, cobre, ferro, manganês, zinco e enxofre e valores do pH de um Latossolo Vermelho Distrófico na parte interna de canais de transporte de vinhaça de fertirrigação, em diferentes profundidades, no município de Goianésia, GO (*).

Tratamento	Cd	Cr	Ni	Pb	Cu	Fe	Mn	Zn	S	pH (CaCl ₂)
	mg dm ⁻³									
0 - 50 cm										
C1D	0,26 Ba	1,95 Ba	0,90 BCa	1,43 Ba	7,18 Aa	553,38 Ba	13,43 Aa	4,63 Aa	38,13 ABb	5,43 Ac
C3D	0,08 Ba	2,54 ABa	0,88 BCa	1,40 Ba	3,90 Ba	447,33 Aa	18,08 Ba	4,60 Aa	44,08 Ab	4,18 BCc
C20D	0,11 Ba	2,34 BCa	1,40 Ba	1,15 Ba	2,18 Ca	215,25 Ca	20,08 Ba	1,73 Ba	32,10 BCb	4,98 ABc
50 - 100 cm										
C1D	0,10 Ba	1,95 Ba	1,30 BCa	1,15 Ba	5,60 Aa	232,35 Ba	6,53 Aa	2,05 Aa	60,40 ABab	5,58 Abc
C3D	0,11 Ba	2,74 ABa	0,70 BCa	1,15 Ba	3,60 Ba	635,00 Aa	24,53 Ba	3,48 Aa	63,25 Aab	4,63 BCbc
C20D	0,10 Ba	1,76 BCa	1,65 Ba	1,42 Ba	1,63 Ca	128,00 Ca	15,75 Ba	0,60 Ba	32,68 BCab	5,50 ABbc
100 - 150 cm										
C1D	0,08 Ba	1,95 Ba	0,90 BCa	1,15 Ba	4,83 Aa	208,65 Ba	7,35 Aa	3,13 Aa	66,25 ABab	5,83 Aab
C3D	0,08 Ba	1,95 ABa	0,73 BCa	1,15 Ba	3,23 Ba	671,33 Aa	9,28 Ba	1,48 Aa	70,25 Aab	5,58 BCab
C20D	0,10 Ba	1,96 BCa	1,20 Ba	1,15 Ba	1,50 Ca	141,05 Ca	10,55 Ba	0,75 Ba	36,33 BCab	5,38 ABab
150 - 200 cm										
C1D	0,10 Ba	2,34 Ba	1,20 BCa	1,15 Ba	6,00 Aa	440,50 Ba	14,25 Aa	6,60 Aa	66,70 ABa	6,10 Aa
C3D	0,10 Ba	2,17 ABa	0,60 BCa	1,14 Ba	2,95 Ba	606,68 Aa	11,05 Ba	1,25 Aa	85,00 Aa	5,63 BCa
C20D	0,10 Ba	1,96 BCa	1,30 Ba	1,12 Ba	1,28 Ca	106,00 Ca	15,00 Ba	0,50 Ba	42,58 BCa	6,00 ABa

1-Canal com um ano de uso; 2-Canal com três anos de uso e 3-Canal com vinte anos de uso; (*) Médias seguidas de mesma letra minúscula, por profundidade, na coluna não diferem entre si para Tukey, P < 0,05. Médias seguidas de mesma letra maiúscula, por tratamento, entre linhas não diferem entre si para Tukey, P < 0,05.

O manganês no solo apresentou teores que diferiram significativamente entre a Testemunha e os demais tratamentos (Tabelas 2 e 3). O solo da área interna de todos os canais, independente do tempo de uso, e a Testemunha apresentaram os maiores teores médios de Mn, e diferiram significativamente dos demais tratamentos. De maneira geral, constata-se que houve aumento nos teores de Mn nos tratamentos da área interna dos canais e nas camadas mais profundas, o que possibilitou, com o decorrer dos anos de uso, o elemento ter sido solubilizado e lixiviado, podendo, ainda, estar acumulando nas camadas inferiores, ou percolando para camadas subterrâneas e, até mesmo, atingir o lençol freático.

Os teores de manganês fitodisponíveis no solo, conforme citado por Souza e Lobato (2004), dentro da faixa de $1,9 \text{ mg dm}^{-3}$ a $5,0 \text{ mg dm}^{-3}$, não são considerados tóxicos. Os solos da região de Goianésia apresentam, geralmente, em sua composição, altos teores de manganês, que podem estar interferindo nos elevados teores disponíveis encontrados nos solos analisados. Tendo como referência os autores acima citados, os teores de Mn no solo, observados neste trabalho, estão muito acima dos teores considerados padrões.

As amostras de solo da parte interna dos canais com um e três anos apresentaram os maiores teores médios de zinco, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos avaliados (Tabela 3). Verifica-se, ao longo do perfil, de um modo quase geral, um maior acúmulo deste elemento nas menores profundidades. No solo da área externa dos canais de vinhaça verifica-se que não houve diferença significativa entre os teores de zinco, dos diferentes tratamentos e profundidades (Tabela 2). Conforme Silva et al. (2001), o teor médio de Zn total em solos agrícolas varia de 5 mg dm^{-3} a 194 mg dm^{-3} . Para Souza e Lobato (2004), os teores de zinco fitodisponíveis no solo, de forma a não promover toxicidade às plantas, estão dentro da faixa de $1,0 \text{ mg dm}^{-3}$ a $1,6 \text{ mg dm}^{-3}$. Os teores de zinco no solo, obtidos na parte externa dos canais e contíguas com as áreas de cultivo da cana-de-açúcar, se encontram inseridos nos intervalos preconizados por esses autores, podendo ser considerados aceitáveis, nestas circunstâncias.

Os maiores teores médios de enxofre no solo na parte externa dos canais de vinhaça foram encontrados na seqüência como os menores de

tempo de uso, exceto na profundidade de 0-25 cm, e estes diferiram significativamente da Testemunha (Tabela 2). No processo de produção de açúcar e álcool, o caldo extraído passa por um processo de clarificação para retirada de sólidos em suspensão. O caldo é sulfitado e caleado para facilitar a floculação das substâncias coloidais (USINA ESTER, 2007). Assim, é possível observar que nos solos na parte externa dos canais mais antigos (C20E) (Tabelas 2 e 3), a concentração de S-SO_4^{2-} , tende a diminuir, enquanto que nos canais com menor tempo de uso há um maior acúmulo de enxofre no solo, tanto na área externa quanto na área interna (fundo) dos canais.

CONCLUSÕES

A interação proporcional e inversa entre o pH e os elementos cobre, ferro, zinco e enxofre, pode afetar a disponibilidade destes na solução do solo.

O acúmulo dos microelementos cádmio, ferro, zinco e cobre, nas primeiras camadas do solo, não caracteriza risco iminente de contaminação do solo em maiores profundidades e, conseqüentemente, do lençol freático.

O grau de lixiviação dos elementos ferro, cobre e manganês podem não causar danos ao meio ambiente, por seus teores estarem dentro de parâmetros aceitáveis, mesmo nas áreas de influência dos canais de vinhaça com maiores períodos de uso.

A lixiviação e o acúmulo de diferentes metais pesados no solo das áreas de influência de canais de vinhaça, resultante da presença de grande volume desse resíduo por longos períodos, sinalizam a necessidade desses canais serem revestidos com material impermeabilizante, como cautela ambiental.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela bolsa de estudos concedida durante a realização do Curso de Mestrado.

À empresa Jalles Machado S. A., pelo apoio financeiro para a realização desta pesquisa.

ABSTRACT: This study aimed to evaluate the values of pH and the levels of cadmium, chromium, nickel, lead, copper, iron, manganese, zinc and sulphur in the soil profile, beyond the behavior of those elements with respect to the acidity of soil in tropical climate, in areas of influence of vinasse channels used in fertigation of sugarcane plants

(*Saccharum officinarum* L.). Adopted as treatment witness the soil under natural untouched savannah area. Treatments consisted of vinasse channels with three periods of use: one, three and 20 years, totaling seven treatments (control and three channels, considering the internal and external parts), with four repetitions each. In witness and on the outside of the channels were collected samples of soil at depths of 0-25 cm, 25-50 cm, 50-75 cm and 75-100 cm. The inner part of the channels (bottom) of the soil sample was collected at depths of 0-50 cm, 50-100 cm, 100-150 and 150-200 cm, in four different points in areas of Red Latosol Distrophic. The experimental design was sub-divided plots. The results from the soil analyses were subjected to analysis of variance and testing F and Tukey ($P < 0.05$). The use of channels for transporting vinasse over the years, provided accumulations of acceptable levels of the factors evaluated in the soil. However, it's recommended that the channels should be covered with waterproofing material to prevent the leaching of these elements and therefore the contamination of the groundwater.

KEYWORDS: *Saccharum officinarum*, Vinasse channel. Red Latosol Distrophic.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério da Agricultura. Divisão de Corretivos e Fertilizantes. Inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes e corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes destinados à gricultura. Legislação. Brasília, 1983. 104 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2ª ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997, 212 p.

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

FASSBENDER, H. W. Química de suelos com énfasis em suelos de América Latina. San José: Matilde de la Cruz, 1980. 398 p.

HARMSSEN, K.; VLEK, P. L. G. The chemistry of micronutrients cations in a group of loessial grassland soils of New Zealand. *Geoderma*, v. 83, p. 53-62, 1985.

McBRIDE, M. B. Toxic metal accumulation from agricultural use of sludge: are USEPA regulations protective? *Journal of Environmental Quality*, v. 24, p. 5-18, 1995.

OLIVEIRA, Adriane Chagas Santana. Acúmulo de micronutrientes e de elementos tóxicos em Latossolo cultivado com cana-de-açúcar fertirrigada com vinhaça. 2006. 100 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2006.

PROCANA. Cana muda eixo da economia no Centro-Oeste. Disponível em: <www.jornaldacana.com.br/conteudo/noticia.asp>. Acesso em 15 de junho de 2008.

ROSSETTO, A. J. Utilização agrônômica dos subprodutos e resíduos da indústria açucareira e alcooleira. In: PARANHOS, S. B. (Eds.). Cana-de-açúcar: cultivo e utilização. 1ª ed. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v. 2, p. 435-504.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; OLIVEIRA, J. B.; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2º ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

SEVERIANO, Eduardo da Costa. Indicadores de qualidade estrutural na avaliação da compactação do solo em decorrência da colheita mecanizada da cana-de-açúcar. 2007. 71 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

SILLANPÄÄ, M. Problems involved in estimating the micronutrient status of soils. In: FAO (Ed.). Soil and plant testing and analysis. Roma: FAO, 1980, v. 38/1, p. 140-151.

SILVA, A. J. N.; RIBEIRO, M. R. Caracterização de um Latossolo Amarelo sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar no Estado de Alagoas: propriedades químicas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 22, n. 2, p. 291-299, 1998.

SILVA, F. C. S.; BOARETTO, A. E.; BERTON, R. S.; ZOTELL, H. B.; PEXE, C. A.; BERNARDES, E. M. Efeito de lodo de esgoto na fertilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. *Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 36, n. 5, p. 831-840, 2001.

SOUZA, D. M.; LOBATO, E. Cerrado: correção e adubação. 2ª ed. Brasília: Embrapa Cerrados, 2004. 416 p.

USINA ESTER, S. A. O Processo de fabricação de Açúcar e Álcool na Usina Ester. 2007. Disponível em: <<http://www.usinaester.com.br/Produtos/produtos.html>> Acessado em: 15 de junho de 2008.