

METAIS PESADOS EM SOLOS CULTIVADOS COM CANA-DE-AÇÚCAR PELO USO DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS

Jair Felipe Garcia Pereira Ramalho¹
Nelson Moura Brasil do Amaral Sobrinho²

RESUMO

A mostras de um solo gley pouco húmico, antiga lagoa de vinhaça, e dois cambissolos, um fertirrigado com vinhaça e outro com aplicação de torta de filtro, cultivados com cana-de-açúcar, em Campos dos Goytacazes (RJ), foram analisadas para teores totais de Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb e Zn e comparadas com áreas controle em 1995. Os resultados mostraram que a vinhaça só trouxe aumento significativo para os teores totais de Zn. O Cambissolo com torta de filtro apresentou aumentos significativos para Cd, Co, Cr, Cu, Ni e Pb, sendo que na extração seqüencial, os resultados mostraram que a maior percentagem desses elementos encontrava-se na fração residual, de baixa biodisponibilidade.

Palavras-chaves: Cana-de-açúcar, vinhaça, torta de filtro

HEAVY METALS ACCUMULATION DUE TO THE USE OF RESIDUES IN SOILS CULTIVATED WITH SUGARCANE

Samples of soils treated with sugarcane's industrial residues (vinasse and filter cake) and their respective control areas at Campos dos Goytacazes-RJ, were analysed for total contents of Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb and Zn in 1995. The results showed that the use of vinasse for more than 15 years in volumes of 300 m³ ha⁻¹.year⁻¹, did not increase the concentrations of the heavy metals in the Entisol and Inceptisol soils. The Inceptisol that received filter cake had the concentrations of all heavy metals increased significantly, with the exception of Zn and Mn. Even though the heavy metals concentrations were higher in this treatment the sequential extraction showed that these elements were present in an unlabile form in the soil.

Key words: Sugarcane, vinasse, filter cake.

INTRODUÇÃO

Os estudos relativos a metais pesados nos ecossistemas têm indicado concentrações elevadas desses elementos em muitas áreas próximas de complexos industriais urbanos, e também, nas áreas de agricultura altamente tecnificada. Nessas regiões os solos têm sido poluídos com Pb, Cd, Ni, Hg, As e

outros metais pesados (ALLOWAY, 1995). O aumento anormal das concentrações desses elementos nos solos de tais áreas resulta da deposição atmosférica e da aplicação de fertilizantes, corretivos, agrotóxicos (NÚÑEZ et al, 1999), água de irrigação (RAMALHO et al., 1999) e resíduos orgânicos (MAZUR, 1997; OLIVEIRA, 1998) e inorgânicos (AMARAL SOBRINHO et al., 1999).

¹ Campus Dr. Leonel Miranda, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

² DS, IA, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

O aproveitamento agrícola dos resíduos da agroindústria sucroalcooleira no Brasil se constitui numa prática bastante generalizada, tanto no caso dos efluentes líquidos, principalmente a vinhaça, como também nos sólidos, como a torta de filtro (POLO et al., 1988). A utilização intensiva da vinhaça nos solos cultivados com cana-de-açúcar surgiu devido à produção de mais de 150 bilhões de litros desse resíduo por safra, ou seja, cerca de 1.000 litros de efluentes líquidos por tonelada de cana-de-açúcar moída (RODELLA & FERRARI, 1977), que anteriormente eram, em grande parte, despejados nos rios e lagoas nas redondezas das usinas e destilarias. Em relação à torta de filtro, outro resíduo utilizado para substituir parcialmente a adubação mineral (ORLANDO FILHO et al., 1983), a produção é de 30 kg por tonelada de cana-de-açúcar moída (ROSSETO et al., 1978), nas usinas de açúcar.

A vinhaça da região de Campos dos Goitacazes-RJ, além da matéria orgânica, possui teores altos de Zn, Mn e Cu (BOLSANELLO & VIEIRA, 1980). A torta de filtro que quando incorporada ao solo em grandes quantidades, além de apresentar propriedades corretivas da acidez do solo (PRASAD, 1974 e 1976), possui quantidades expressivas de Fe, Mn, Zn e Cu (CERRI et al., 1988). Com a utilização de todos esses resíduos nos solos, elevadas quantidades de macro e micronutrientes são adicionadas anualmente nas áreas próximas das unidades produtoras, podendo com o passar do tempo elevar os teores desses elementos, que incluem alguns metais pesados (RAMALHO, 1996).

Diante da adição, nos solos cultivados com cana-de-açúcar na região Norte Fluminense, de quantidades de vinhaça que giram em torno de 300 m³ ha⁻¹ano⁻¹ e da aplicação de torta de filtro nos sulcos de plantio a cada renovação dos canaviais, em doses que variam de 30-40 t ha⁻¹, levantou-se a hipótese da elevação dos teores de metais pesados nesses solos o que gerou os seguintes objetivos desse trabalho: (a)- avaliar se o uso da vinhaça e da torta de filtro no solo está contribuindo para o aumento dos teores de metais pesados no solo; (b)-verificar as formas químicas nas quais esses

metais se distribuem nos solos tratados com esses resíduos orgânicos.

MATERIAL E MÉTODOS

Para verificação dos efeitos do uso da vinhaça e da torta de filtro na acumulação de metais pesados em solos cultivados com cana-de-açúcar, relacionaram-se áreas da Usina Santa Cruz, localizada no município de Campos dos Goitacazes(RJ), em região que cultivava cana-de-açúcar desde 1720 (VARGAS, 1972), pelo fato dessa usina dispor de informações detalhadas, de mais de 20 anos, dos tratamentos recebidos em seus talhões de cana-de-açúcar. As áreas selecionadas para os tratamentos constaram de talhões de cana-de-açúcar e áreas controle (próximas do mesmo tipo de solo que não receberam os tratamentos), com cerca de dois hectares.

Para avaliação do efeito da vinhaça nos teores de metais pesados do solo foram selecionadas duas situações distintas: uma área cultivada com cana-de-açúcar em solo gley pouco húmico, onde anteriormente existia uma lagoa de decantação de vinhaça e área em solo cambissolo que recebeu vinhaça diluída, através de irrigação por aspersão, com volume de 300 m³ha⁻¹ano⁻¹ durante mais de 10 anos. As áreas escolhidas como controle eram do mesmo tipo de solo, sendo uma cultivada com cana-de-açúcar (gley pouco húmico) e a outra com pastagem (cambissolo), e que nunca receberam esses tratamentos. Os solos selecionados foram formados a partir de sedimentos alúvio-colúvionais do quaternário. A caracterização química e física dos solos dessas áreas encontra-se na Tabela 1.

Quanto ao uso da torta de filtro, a área selecionada foi de um cambissolo que recebeu esse resíduo por mais de 20 anos, numa quantidade de 30 t ha⁻¹ciclo⁻¹ distribuída no sulco de plantio. A área controle não era cultivada com cana-de-açúcar. A caracterização química e física do solo dessas áreas encontra-se na Tabela 2.

Cada área selecionada foi subdividida em tres

Tabela 1. Características químicas e físicas, em profundidade, das amostras de terra dos solos gley pouco húmico e cambissolo.

Profund. -----cm-----	pH	P --mg kg ⁻¹ --	K	Ca	Mg	Al	H ⁽⁵⁾	Na	CT
gley pouco húmico ⁽¹⁾									
0-5	5,3	25	408	4,0	4,1	0,2	2,0	0,51	51,0
5-10	5,3	17	368	4,3	4,2	0,1	2,7	0,51	48,0
10-20	5,2	23	352	4,6	4,2	0,2	3,6	0,56	48,0
20-30	4,9	48	510	5,5	3,8	0,3	4,4	0,51	65,0
gley pouco húmico ⁽²⁾									
0-5	5,7	8	50	3,2	4,4	0,1	2,0	0,66	15,0
5-10	5,8	31	71	4,2	4,4	0,1	2,6	0,40	18,0
10-20	5,8	57	176	5,3	4,6	0,1	3,1	0,24	30,0
20-30	6,0	77	456	5,7	4,3	0,1	2,9	0,20	58,0
cambissolo ⁽³⁾									
0-5	6,1	13	264	3,8	2,1	0,1	2,9	0,05	35,0
5-10	6,3	18	170	4,4	2,1	0,1	2,8	0,04	26,0
10-20	6,2	17	85	4,4	2,1	0,1	3,0	0,05	18,0
20-30	5,9	22	45	3,8	2,1	0,1	2,4	0,06	12,0
cambissolo ⁽⁴⁾									

⁽¹⁾- gley pouco húmico antiga lagoa de decantação de vinhaça; ⁽²⁾- gley pouco húmico área controle

⁽³⁾- cambissolo fertirrigado com vinhaça; ⁽⁴⁾- Cambissolo área controle; ⁽⁵⁾- Ca₄(oAc)₂ 7,0

Tabela 2. Características químicas e físicas, em profundidade, das amostras de terra de cambissolos com adição de torta de filtro e área controle.

Profund. -----cm-----	pH	P --mg kg ⁻¹ --	K --mg kg ⁻¹ --	Ca	Mg	Al	H ⁽³⁾ -----cmol _c kg ⁻¹ -----	Na	C
Cambissolo ⁽¹⁾									
0-5	6,5	72	204	5,3	2,0	0,1	2,3	0,06	30
5-10	6,6	92	138	6,1	2,0	0,1	2,5	0,07	26
10-20	6,7	104	88	6,2	2,0	0,1	2,2	0,08	17
20-30	6,7	56	55	5,7	1,9	0,0	2,8	0,08	16
Cambissolo ⁽²⁾									
0-5	6,4	315	360	5,3	1,9	0,1	2,9	0,06	46
5-10	6,4	112	184	4,3	1,4	0,1	2,2	0,05	26
10-20	6,3	46	113	3,6	1,3	0,1	2,6	0,05	18
20-30	6,0	8	69	3,4	1,5	0,1	2,5	0,07	16

⁽¹⁾Cambissolo com adição de torta de filtro; ⁽²⁾Cambissolo da área controle; ⁽³⁾-Ca₄(Oac)₂ pH 7,0

subáreas, retirando-se 30 amostras simples para compor uma amostra composta por subárea, constituindo três repetições por área. Em cada ponto foram coletadas amostras de terra nas profundidades: 0 a 5; 5 a 10; 10 a 20 e 20 a 30cm para verificar a distribuição dos metais pesados ao longo do perfil.

As amostras coletadas foram acondicionadas em sacos de polietileno devidamente lavados em solução de ácido nítrico a 2% para descontaminação. Após secas ao ar, as amostras foram destorroadas e moídas em almofariz de ágata.

A digestão das amostras de solo para análise dos teores totais de metais pesados foi feita conforme método de TESSIER et al. (1979).

As amostras de terra do tratamento que recebeu torta de filtro, devido aos teores mais elevados de metais pesados, foram submetidas à extração

seqüencial, utilizando-se o método descrito por KELLER & VÉDY (1994), determinando-se os teores de metais pesados nas seguintes formas químicas: hidrossolúvel; trocável; ligada a óxido de Mn; ligada a óxido de Fe; orgânica e residual. A fração residual foi calculada por diferença entre a concentração total menos o somatório das concentrações das demais frações (NÚÑEZ et al, 1999).

Os teores Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb e Zn foram analisados por espectrofotometria de absorção atômica empregando-se chama ar-acetileno.

As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do Programa Estatístico SAEG 5.0. Os resultados foram submetidos à análise de variância, e as médias foram comparadas pelo teste Tukey a 5%.

Tabela 3. Teores totais de metais pesados, em profundidade, das amostras de terra de um solo gley pouco húmico e de um cambissolo tratados com vinhaça e suas respectivas áreas controle (média de 3 repetições).

Prof. -cm-	Zn		Cd		Mn		METAIS PESADOS Pb				Co	
							mg kg ⁻¹					
	Vinhaça	AC	Vinhaça	AC	Vinhaça	AC	gley pouco húmico ⁽¹⁾		cambissolo ⁽²⁾		Vinhaça	AC
0-5	108a ⁺ A ⁺	98,4bcB	1,83aA	1,83aA	368,5aA	354,7aA	51,6aA	46,1aB	36,2aA	39,5aA	27,5bA	
5-10	106,4bA	95,8cB	1,83aA	1,50bA	354,7aA	352,0aA	51,0aA	43,0aB	37,1aA	34,2bA	26,0bA	
10-20	106,5bA	109,4abA	1,91aA	1,75abA	357,5aB	539,0bA	51,0aA	47,7aA	36,9aA	35,1bA	26,0bA	
20-30	118,5aA	114,0aA	1,83aA	1,75abA	313,5aB	547,2bA	47,7aA	47,0aA	37,0aA	35,2bA	32,0aA	
0-5	125,9aA	104,8aA	2,0aA	2,0aA	1322aA	1210aA	49,5aA	53,2aA	47,4aA	32,2aB	25,0aB	
5-10	123,0aA	102,9aA	1,83aA	1,75aA	1452aA	1031abB	51,3aA	46,2aA	45,0aA	30,7aB	27,2aA	
10-20	112,8aA	106,6aA	1,66aA	1,91aA	1413aA	1196aB	50,2aA	49,6aA	42,4aA	37,4aA	26,2aA	
20-30	102,2aA	102,5aA	1,83aA	1,83aA	1190aA	899bB	49,4aA	48,7aA	42,7aA	35,9aA	27,5aA	

Vinhaça=Solo tratado com vinhaça; AC=Área controle (área próxima, pertencente a mesma classe de solo e que não recebeu vinhaça). ⁽¹⁾Antiga lagoa de decantação de vinhaça; ⁽²⁾Vinhaça aplicada por irrigação. Médias com mesmas letras minúsculas, nas colunas, e maiúsculas, nas linhas, para cada solo e elemento, não diferem estatisticamente entre si a 5% pelo teste Tukey. Média de três repetições.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As concentrações totais de Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb e Zn dos tratamentos que receberam vinhaça e torta de filtro e suas respectivas áreas controle encontram-se nas Tabelas 3 e 4. Pode-se observar que as concentrações de tais elementos, nos solos amos-trados, não atingiram os níveis críticos, correspondentes à faixa de concentração acima da qual a toxicidade é considerada possível segundo KABATA-PENDIAS & PENDIAS (1984) e ALLOWAY (1995). A exceção foi da concentração de Zn que, independentemente dos tratamentos, ficou dentro dos níveis considerados críticos, tanto no solo cambissolo como no gley pouco húmico. Entretanto, quando comparados com os padrões de concentrações de metais pesados em solos poluídos estabelecidos para a Holanda e o Reino Unido (ALLOWAY, 1995), ficaram dentro dos níveis aceitáveis de concentração no solo.

O emprego da vinhaça tanto na forma de inundação e decantação (antiga lagoa de decantação) aplicada no solo gley pouco húmico, quanto na forma de fertirrigação com volumes de 300 m³ha⁻¹ano⁻¹, durante mais de 10 anos, em um cambissolo, não modificou significativamente as concentrações totais da maioria dos metais pesados analisados quando comparados com as áreas controle (Tabela 3). As exceções foram os aumentos significativos nas concentrações totais de Zn e Pb, nas profundidades de 0 a 5 e 5 a 10 cm no solo gley pouco húmico, e de Mn nas profundidades de 5 a 10, 10 a 20 e 20 a 30 cm e de Co nas camadas de 0 a 5 e 5 a 10 cm no solo cambissolo das áreas tratadas em relação às áreas controle.

Bolsanello & Vieira (1980), avaliando a composição química de vinhaças (mosto de caldo, mosto misto e mosto de melaço) da região de Campos dos Goitacazes-RJ, inclusive a produzida na Usina Santa Cruz, onde foi realizado esse

Tabela 4. Teores totais de metais pesados, em profundidade, das amostras de terra de um cambissolo tratado com torta de filtro durante 20 anos e sua respectiva área controle (média de 3 repetições).

Prof. -cm-	Zn		Cd		Mn		METAIS PESADOS				
	Torta	AC	Torta	AC	Torta	AC	Pb	Co	Torta	AC	Torta
0-5	122,4aA	101,4aA	1,66aA	0,75bB	1091aA	902aA	63,0aA	35,9abB	34,5bA	25,5bB	30,2a
5-10	128,5aA	100,4aA	1,58aA	1,16aB	1215aA	871aA	49,5bA	35,0bB	38,2abA	26,6bB	31,7a
10-20	134,1aA	103,3aA	1,50aA	1,08abB	1116aA	915aA	56,5abA	37,0abB	39,2abA	31,5aB	30,5a
20-30	118,0aA	96,9aA	1,66aA	1,25aB	1179aA	794aA	57,5abA	46,0aA	40,4aA	35,5aB	32,0a

Torta=cambissolo tratado com torta de filtro; AC=Área controle(área próxima, pertencente a mesma classe de solo que não recebeu torta de filtro).

Médias com mesmas letras minúsculas; nas colunas, e maiúsculas, nas linhas, para cada elemento,não diferem estatisticamente entre si a 5% pelo teste Tukey Média de três repetições.

trabalho, encontraram teores de Mn variando de 9-11 mg kg⁻¹; Zn de 2-50 mg kg⁻¹ e Cu de 9-17mg kg⁻¹. Nesse trabalho os autores concluíram que esses elementos estavam sendo adicionados à vinhaça no decorrer do processo produtivo, provavelmente pelo desgaste das tubulações, dornas, etc. Teores de Zn, Mn e Cu próximos aos aqui encontrados, também foram observados por RODELLA et al.(1980), VASCONCELLOS & OLIVEIRA (1983), MEDEIROS (1980) e CERRI et al. (1988). As concentrações de Zn, Mn, e Cu apresentadas pelos autores justificam os aumentos observados nos dois solos analisados, entretanto não foram suficientes para elevar a valores considerados críticos nos dois solos tratados com vinhaça, indicando que a vinhaça, resíduo anteriormente despejado nos rios como poluente (POLO et al.,1988), e hoje utilizado para substituir total ou parcialmente a adubação mineral da cana-soca (ORLANDO FILHO et al., 1983), apresentaria um pequeno potencial poluidor do solo, podendo ser utilizado normalmente no manejo da cana-de-açúcar.

Quanto à torta de filtro, os resultados obtidos no cambissolo mostraram aumentos estatisticamente significativos nos teores de Cd, Co, Cr, Cu, Ni e Pb, em todas as profundidades, quando

comparados com a área controle (Tabela 4). Esse resultado, diferente do obtido com a vinhaça, poderia ser explicado pelas maiores concentrações de elementos traço presentes na torta de filtro em relação à vinhaça (Cerri et al.,1988, GLÓRIA et al., 1974 e IAA-PLANALSUCAR, 1980).

O comportamento no ambiente e a toxicidade de cada elemento químico podem ser entendido, com base no conhecimento das formas químicas predominantes envolvidas num determinado processo ambiental (PETRUZZELLI et al., 1994). Em função dos resultados observados nas amostras do cambissolo tratado com torta de filtro realizou-se, nessas amostras, extração sequencial para avaliar a presença de metais pesados nas seguintes frações: hidrossolúvel; trocável; ligada a óxido de Mn; ligada a óxido de Fe; orgânica e residual. Os teores de Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb e Zn distribuídos pelas diversas frações encontram-se na Tabela 5. Verifica-se que mais de 65% da concentração total de Zn, Cd, Pb, Cr, Co, Cu e Ni encontram-se na fração residual, ou seja, fração não biodisponível do solo, o que reduziria a absorção desses elementos pela cana-de-açúcar e os riscos de contaminação do lençol freático .

Cerca de 10% da concentração total de Zn, Cu

e Cr encontram-se na fração orgânica. A adição de metais pesados através de resíduos orgânicos, como é o caso da torta de filtro, pode diminuir a atividade desses elementos na solução do solo, pela tendência desses cátions metálicos de transição formarem complexos muito estáveis (complexos de esfera interna) com ligantes solúveis e/ou grupos funcionais de colóides orgânicos, reduzindo sua disponibilidade para as plantas (HOODA & ALLOWAY, 1994; OLIVEIRA, 1998)

No caso do cambissolo tratado com torta de filtro, onde Mn, Pb e Co apresentavam mais de 20% da sua concentração total nas frações óxido de Mn e óxido de Fe.

Na Tabela 5 observa-se que dos metais analisados, somente Mn estava presente nas frações hidrossolúvel e trocável e Zn na fração trocável, que determinam maior mobilidade no solo, entretanto, ambos os elementos em concentrações inferiores a 1% da concentração total do solo.

Os resultados obtidos demonstram a necessidade de se monitorar as áreas onde se vem aplicando torta de filtro para evitar o crescimento a níveis tóxicos desses metais pesados no solo. O manejo desse resíduo deverá ser feito na forma de rodízio de sua aplicação nas áreas das usinas, o que seria viável em função da quantidade de torta de filtro produzida anualmente por unidade industrial, para evitar o acúmulo desses metais no solo.

CONCLUSÕES

A utilização da vinhaça em larga escala, não alterou significativamente os teores de metais pesados nos solos gley pouco húmico e cambissolo, trazendo baixos riscos de contaminação das áreas.

O uso da torta de filtro no solo cambissolo, durante 20 anos, acarretou aumentos significativos dos teores totais de Cd, Pb, Co, Cr, Cu e Ni, estando entretanto, esses metais em formas químicas pouco móveis e disponíveis para absorção pelas plantas.

LITERATURA CITADA

- AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; VELLOSO, A.C.X & COSTA, L.M. Lixiviação de Pb, Zn, Cd, e Ni em solo Podzólico Vermelho Amarelo Tratado com Resíduos Siderúrgicos. *Revista Floresta e Ambiente*, Seropédica, v.3, n.1, p.65-75, 1999.
- ALLOWAY, B.J. Cadmium. In: ed. Heavy metals in soils. Glasgow: Blackie and Son, 1995. p.107-108.
- BOLSANELLO, J.& VIEIRA, J.R. Caracterização da composição química dos diferentes tipos de vinhaça da região de Campos-RJ. *Brasil Açucareiro*, Rio de Janeiro, v.96, p.45-59, 1980.
- CERRI, C.C.; POLO, A.; ANDREAUX, F.& LOBO, M.C.; EDUARDO, B.P. Resíduos orgânicos da agroindústria canaveieira: 1. Características físicas e químicas. *STAB, Açúcar, Álcool e Subprodutos*, Piracicaba, v.6, n.3, p.34-37, 1988.
- GLORIA, N.A.; JACINTHO, A.D., GROSS, J.M.M & SANTOS, R.F. Composição mineral das tortas de filtro rotativo. *Brasil Açucareiro*, Rio de Janeiro, v.84, n.3, p.37-44, 1974.
- HOODA, P.S.& ALLOWAY, B.J. Sorption of Cd and Pb by selected temperate and semi-arid soils. Effects of sludge application and ageing of sludge soils. *Water, Air and Soil Pollution*, v.74, p.235-250, 1994.
- IAA-PLANALSUCAR, Piracicaba. 1º *Relatório técnico do aproveitamento dos resíduos industriais das destilarias de álcool*. Piracicaba, 1980. 267p. (mimeografado).
- KABATA-PENDIAS, A.& PENDIAS, H. Trace elements in soils and plants. Boca Raton, Flórida: CRC Press, 1984. 315 p.

- KELLER, C.& VÉDY, J.C. Distribution of copper and cadmium fractions in two forest soils. *J. Environ. Qual.*, v.23, n.5, p.987-999, 1994.
- MAZUR, N. Biossignificância de níquel, chumbo, zinco e cobre em solos que receberam composto de resíduo sólido urbano. Viçosa (MG): Universidade Federal de Viçosa, 1997. 135p. (Tese de doutorado).
- MEDEIROS, A.P. Composição química dos diferentes tipos de vinhaça nos Estados de Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte. *Saccharum STAB*, São Paulo, v.4, n.12, p.36-40, 1980.
- NÚÑEZ, J.E.V.; AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; PALMIERI, F.& MESQUITA, A.A. Conseqüências de diferentes sistemas de preparo do solo sobre a contaminação do solo, sedimentos e água por metais pesados. *R. Bras. Ci. Solo*, v.23, p.981-990, 1999.
- OLIVEIRA, C. Avaliação do potencial de contaminação de dois solos agrícolas com lodo de esgoto enriquecido com Cd, Pb, e Zn. Seropédica, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 1998. 191p. (Tese de Doutorado)
- ORLANDO FILHO, J.; SILVA, G.M.A.& LEME, E.J.A. Utilização agrícola dos resíduos da agroindústria canieira. In: coord. Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil. Piracicaba:IAA/PLANALSUCAR, 1983. p.229-264.
- PETRUZZELLI, G.; OTTAVIANI, M.; LUBRANO, L & VESCHETTI, E. Characterization of heavy metal mobile species in sewage sludge for agricultural utilization. *Agrochimica*, v.38, n.4, p.23-34, 1994.
- POLO, A.; ANDREAUX, F.; CERRI, C.C.& LOBO, M.C. Resíduos orgânicos da agroindústria canieira: 2. Decomposição biológica sob condições controladas. *STAB, Açúcar, Alcool e Subprodutos*, Piracicaba, v.6, n.3, p.53-56, 1988.
- PRASAD, M. The effect of filter press mud on the availability of macro and micronutrients. In: *CONGRESS OF THE ISSCT*, 15, Durban, 1974. Proceedings... v.2, p.568-575, 1974.
- PRASAD, M. Response of sugarcane to filter press mud and N, P and K fertilizers. II. Effects of plant composition and soil chemical properties. *Agronomy Journal*, v.68, p.543-547, 1976.
- RAMALHO, J.F.G. Metais Pesados em solos com diferentes usos agrícolas no Estado do Rio de Janeiro. Seropédica, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 1996. 160p. (Tese de Doutorado).
- RAMALHO, J.F.G.; AMARAL SOBRINHO, N.M.B.& VELLOSO, A.C.X.. Acúmulo de metais pesados em solos cultivados com cana-de-açúcar pelo uso contínuo de adubação fosfatada e água de irrigação. *Rev. Bras. Ci. Solo*, v. 23, p.971-979, 1999.
- RODELLA, A.A.& FERRARI, S.E. A composição da vinhaça e efeitos de sua aplicação como fertilizante na cana-de-açúcar. *Brasil Açucareiro*, Rio de Janeiro, v.90, n.1, p.380-389, 1977.
- RODELLA, A.A.; PARAZZI, C.& CARDOSO, A.C. Composição química de vinhaça. In: SIMPÓSIO DE TECNOLOGIA DO AÇÚCAR E ÁLCOOL STAB-SUL, 3, Águas de São Pedro, 1980. *Anais...* p.243-256.

- ROSSETTO, A.J.; RESENDE, L.C.L & ALONSO, J.C.; BUSSIOLIFILHO, S. MARGUERON, L.N.; SILVA, J.A.; MILLER, L.C. Sistemas de distribuição de vinhaça na Usina São João-SP. *Saccharum STAB*, São Paulo, v.1, n.3, p.37-47, 1978.
- TESSIER, A.; CAMPBELL, P.G.C.& BISSON, M. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. *Anal. Chem.*, Washington, v.51, n.7, p.844-851, 1979.
- VARGAS, C.R. História da cana-de-açúcar (II). *Brasil Açucareiro*, Rio de Janeiro, v.80, n.4, p.82-87, 1972.
- VASCONCELLOS, J.N.& OLIVEIRA, C.G. Composição química dos diferentes tipos de vinhaça das destilarias de álcool de Alagoas. *Saccharum STAB*, São Paulo, v.4, n.14, p.32-36, 1983.

Tabela 5. Teores de metais pesados nas frações químicas de um solo cambissolo com adição de torta de filtro (média de três repetições).

Metal Pesado	Profundidade -----cm-----	Hidrossolúvel	Trocável	Óx. Mn -----mg kg ⁻¹ -----
Zn	0-5	<0,001	0,62	30,18
	5-10	<0,001	0,43	30,56
	10-20	<0,001	0,56	21,5
	20-30	<0,001	0,37	17,5
Cd	0-5	<0,002	<0,002	0,15
	5-10	<0,002	<0,002	0,15
	10-20	<0,002	<0,002	0,15
	20-30	<0,002	<0,002	0,15
Mn	0-5	3,36	23,50	746,12
	5-10	2,50	15,86	784,95
	10-20	3,65	20,12	707,62
	20-30	3,36	21,50	605,25
Pb	0-5	<0,001	<0,001	4,37
	5-10	<0,001	<0,001	3,12
	10-20	<0,001	<0,001	3,12
	20-30	<0,001	<0,001	3,75
Co	0-5	<0,007	<0,007	7,50
	5-10	<0,007	<0,007	8,12
	10-20	<0,007	<0,007	6,25
	20-30	<0,007	<0,007	7,81
Cr	0-5	<0,001	<0,001	<0,001