

USO AGRÍCOLA DE COMPOSTO DE LIXO: EFEITO DO TEMPO DE INCUBAÇÃO SOLO/RESÍDUO NA DISPONIBILIDADE DE MICRONUTRIENTES¹

Fábio César da Silva², Carlos Alberto Silva³, Alessandra Fabíola Bergamasco⁴, André Luiz Ramalho⁵

1. Resumo

Visando dar uma solução para o problema do lixo urbano que foram coletados, analisados e interpretados teores dos micronutrientes Cu, Fe, Mg e Zn, em cinco tipos de solos, duas profundidades, utilizando-se quatro doses de composto de lixo (CL) e quatro períodos de incubação. Concluiu-se que o CL pode ser uma importante fonte de micronutrientes ao solo necessitando, no entanto, de legislação que regulamente seu uso adequado. Quanto a dinâmica dos micronutrientes no tempo foi dependente do tipo de solo, a profundidade só afetou os teores disponíveis, sendo os maiores valores observados nos solos Brunizem (B) e Terra Roxa Estruturada (TR).

Termos para indexação: Composto orgânico; Nutriente; Microelemento.
Index terms: Organic compounds; Organic nutriente; Trace elements.

2. Introdução

Existem várias opções para a destinação de resíduos urbanos sólidos, destacando-se a simples deposição em aterros, a incineração, o bombeamento para os oceanos e a descarga em rios. Entretanto, nenhuma dessas alternativas é indicada sob a ótica ambiental (Melo et al., 1997). Uma alternativa de solução para esse problema poderá ser a compostagem do lixo domiciliar, do qual origina-se o composto de lixo (CL), e seu posterior uso na agricultura, como fertilizante e/ou condicionador das propriedades físicas do solo (Egreja Filho, 1993).

Quase toda a parte orgânica é reaproveitada quando o lixo é compostado. Trata-se de uma forma de reciclagem (Cravo, 1995) que ainda pode fornecer nitrogênio (N) às plantas em quantidades suficientes, além de outros elementos não totalmente disponíveis no primeiro ano, como o Ca, Mg, Fe, Zn e Cu (Berton & Valadares, 1991; Berton, 1995 e Berton, 1992). Em solos ácidos e com elevados teores de Al, além de elevar o pH, o composto de lixo forma complexos estáveis com esse íon, diminuindo sua disponibilidade para as plantas (Berton, 1989 e Berton, 1992).

Nos países desenvolvidos, como os Estados Unidos e alguns países da Europa, já existe legislação definindo, ainda de maneira relativamente grosseira, as características de um composto de lixo urbano para fins de comercialização. Dispõem ainda de legislação regulamentando suas formas de aplicação no solo. No Brasil, e em outros países em desenvolvimento ainda não há legislação a respeito da qualidade do CL para fins de comercialização, e tampouco normas que orientem sua taxa de aplicação como fertilizante do solo.

Além disso, existem dificuldades para o estabelecimento de estratégias de controle de resíduos urbanos no Brasil, decorrentes entre outros motivos, da escassez de estudos técnicos sobre o assunto, que se encontram muito dispersos e pouco divulgados, dificultando a obtenção de novas soluções para esse assunto. Na prática para o Estado de São Paulo,

¹Projeto financiado pela Fapesp com os processos nº 98/06439-2 e 99/07431-9.

²Eng. Agr., Dr., Pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Caixa Postal 6041, Barão Geraldo - 13083-970 - Campinas, SP.

³Eng. Agr., Dr., Pesquisador da Embrapa Solos, Rua Jardim Botânico 1024- 22460-000 - Rio de Janeiro, RJ.

⁴Zootecnista, Bolsista Fapesp, Embrapa Informática Agropecuária.

⁵Bolsista Iniciação Científica CNPq, Embrapa Solos.

a CETESB na Norma Técnica P 4.230 baseou-se nos valores limites adotados pela regulamentação CFR 503 imposta pela EPA (1983), por que esta conta com metodologia bem desenvolvida e com mais de 30 anos para aplicação em bio-sólidos. Todavia, deve-se frisar que é usada em bio-sólidos e não para o composto de lixo e esses valores limites para o acúmulo controlado dos metais pesados. Tais valores foram baseados em ensaios com plantas cultivadas em solos de clima temperado o que é distinto de nossos solos com predomínio de carga variável onde a CTC depende dos teores de matéria orgânica e do pH. Assim, as taxas de decomposição dessa matéria orgânica é acelerada em condições tropicais e que deve refletir na dinâmica dos metais pesados. Essa situação torna oportuno este estudo, cujo objetivo principal é encontrar soluções para disposição de CL em solos sob clima tropical, construindo uma base mais segura de conhecimentos para o seu melhor aproveitamento agrícola, sem causar riscos ambientais.

3. Experimento: instalação, condução e análises

O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Embrapa Solos, no Rio de Janeiro, RJ, empregando-se amostras de cinco tipos de solos (Latosolo Vermelho-Amarelo-LV, Podzólico Vermelho-Amarelo-PV, Brunizem-B, Planossolo-PL e Terra Roxa Estruturada-TR), com diferentes características químicas e físicas, e incubadas com quatro diferentes doses de CL (0, 25, 50 e 100 t/ha em base úmida), em cinco períodos de incubação (0, 16, 32, 64 e 100 dias). O composto de lixo foi proveniente da Estação de Vila Leopoldina.

Todos esses solos foram coletados em duas profundidades diferentes, 0-20 e 20-40cm, e 0-30 e 30-60cm para a Terra Roxa Estruturada. O objetivo básico de se empregar duas profundidades foi checar o efeito da matéria orgânica nativa de cada um dos solos, que é mais concentrada no horizonte superficial. Essa observação é importante pois existem metais que possuem uma maior afinidade por essa fração do solo.

Como recipientes de incubação foram utilizados copos de plástico com amostras de 100g divididas nos cinco períodos de incubação previamente. Tanto os solos quanto o CL foram passados previamente por uma peneira de 2mm. A montagem do experimento se deu a uma temperatura média de 23°C, com os copos tampados para evitar contaminação pelo meio exterior. Com cada tratamento já preparado e enumerado, iniciou-se o experimento adicionando-se uma certa quantidade de água a cada parcela, tomando o devido cuidado para não encharcar o solo, cujo cálculo é baseado no valor total de poros (VTP) de cada solo pela expressão:

$$VTP = 100 (dp - ds / dp); \text{ onde:}$$

dp = densidade das partículas e ds = densidade do solo

3.1 Análises laboratoriais das amostras de solos e de CL

Para a comparação química de cada tratamento foram realizadas as seguintes determinações laboratoriais (Embrapa, 1979):

- pH em CaCl₂ (0,01 mol.L⁻¹);
- teor disponível de nutrientes (Cu, Fe, Mn e Zn), usando-se o extrator Mehlich-1 e determinação feita por espectrometria de plasma de emissão atômica ICP;
- teor total de nutrientes (Cu, Fe, Mn e Zn), pelo uso de extrator "água régia" (Nieuwenhuize et al., 1991) e determinação feita em ICP.

3.2. Análise matemática dos resultados

Os dados obtidos com os experimentos foram submetidos a análises estatísticas com o suporte do software SAS (Statistical Analysis System), empregando-se:

- teste de Tukey para as variáveis qualitativas, isto é, tipo de solo e profundidade, feitas para cada nutriente para teores disponíveis e teores totais separadamente, com significância ao nível de 5%;
- análise de regressão para as características quantitativas. Para dosagem de composto de lixo, para cada nutriente, cada tipo de solo e para cada profundidade, separadamente, (variáveis fixas) e depois para tempo de incubação do CL no solo, fixando solo, profundidade e dosagem de CL, de cujas análises resultaram modelos de regressão (somente para teores disponíveis);
- estudo de simulação, por modelos de regressão definidos pela interferência do tempo de incubação sobre a disponibilidade, para se chegar ao tempo de meia vida do nutriente (tempo de decaimento), importante na determinação do tempo mínimo necessário para nova aplicação do CL.

4. Resultados

4.1 Efeito do tipo de solo

Os resultados do teste de Tukey de comparação de médias estão apresentados na Tabela 1, em forma decrescente, expresso em mg/kg.

TABELA 1. Comparação dos teores de metais pesados, totais e disponíveis entre os solos.

Metal	0-20cm					Profundidade 20-40cm ²				
	LV	PV	B	PL	TR	LV	PV	B	PL	TR
	Teores totais ³									
Cu	9cd	10,12c	22,02b	6,07d	42,37*	7,78d	10,75c	23,85b	6,87d	52,57a
Fe	21706c	11601d	38929a	2088e	24984b	23824c	13889d	47554a	1640e	31492b
Mn	68,16c	237,9b	970,2a	42,12c	1028*	44,27d	242,8c	502,2b	36,75d	1069a
Zn	19,15c	21,06c	61,63a	11,19d	54,28b	12,367d	26,408c	55,63a	8,06d	49,55b
	Teores disponíveis ⁴									
Cu	2,14c	3ab	3,26a	3,11ab	2,41bc	2,03c	2,9b	2,54bc	3,24b	6,3a
Fe	113,69b	51,65c	60,612c	172,47a	16,38d	103,81b	43,675c	55,210c	128,19a	40,178c
Mn	17,12c	101,06a	109,9a	4,968c	81,49b	19,899c	95,278a	41,992b	4,02c	101,51a
Zn	6,69c	11,98a	13,11a	9,19b	5,18c	5,89c	10,66a	7,15bc	8,4ab	5,89c

¹ Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha (dentro da mesma profundidade), são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

² Exceto para o solo TR, com 0-30 e 30-60cm.

³ Extraído por água régia (Nieuwenhuize et al., 1991) e determinados em ICP.

⁴ Extraídos por Mehlich-1 e determinados por ICP.

Pode-se verificar que os teores de nutrientes totais e disponíveis foram dependentes do tipo de solo, mas a influência da profundidade não foi observada no teor de nutrientes totais, apenas no disponível. As maiores concentrações totais dos nutrientes foram encontradas nos solos Brunizem (B) e Terra Roxa Estruturada (TR). Quando se observa os teores de nutrientes disponíveis, esses dois solos demonstram baixa disponibilidade para o Zn e Fe. Para o Cu e Mn, o solo B apresentou o maior teor disponível na camada de solo 0-20cm e sua disponibilidade diminuiu na camada mais profunda (20-40cm), onde seu teor de argila é maior (46%), e de óxido de ferro e alumínio também (10,0% e 12,8% respectivamente). O solo PV apresentou maior disponibilidade dos nutrientes Cu, Mn e Zn, e o solo PL, o fez para o Fe, em ambas as profundidades.

Comparando-se os teores totais médios dos nutrientes extraídos dos experimentos após aplicação de CL com os teores totais máximos de elementos considerados admissíveis no solo estabelecidos pela Environmental Protection Agency (1983), verificou-se que os teores de Mn e Zn estão acima dos níveis recomendados, destacando-se maiores riscos para uso de maiores dosagens de CL nos solos B e TR. Apesar desses elementos limitarem o uso do CL no solo, segundo Berton (1995), existem várias formas de diminuir a concentração de elementos no composto de lixo urbano. Dentre as mais usadas destaca-se a adoção de uma coleta seletiva eficiente. Na Holanda, além de haver uma lei que limita as quantidades máximas de elementos presentes no CL, há também uma legislação que impede a continuação de aplicação do composto de lixo no solo agrícola se a concentração de um determinado metal ultrapassar um valor preestabelecido. No Brasil ainda não existe nenhuma legislação que controla a aplicação de resíduos urbanos na agricultura.

Para demonstrar a interferência da argila, óxidos e pH na disponibilidade de nutrientes, os solos foram agrupados em duas classes, A e B. De acordo com seus teores de argila, óxidos e pH presentes, foi determinado o comportamento dos nutrientes Cu, Fe, Mn e Zn nas duas classes e nas duas profundidades (Fig. 1). Pôde-se concluir que a interferência destes fatores são menores para o Zn, que possui comportamento bem semelhante nas duas classes, mas sofre grande interferência do fator profundidade (maiores teores na camada de 20-40cm), assim como o Cu e Mn.

4.2. Comportamento dos micronutrientes nos solos após incubação de CL

Ferro

Foram observados maiores teores de Fe total no solo Brunizem (B), sendo que esse solo já possui uma taxa elevada desse elemento (na dosagem zero), e depois no solo Terra Roxa Estruturada, que apresenta um comportamento crescente

em relação a dosagem de CL. Todos os solos demonstraram diferença significativa pelo teste de Tukey (Tabela 1), sendo que o solo B merece atenção especial devido ao seu alto teor total.

Quanto ao efeito das doses de CL, os aumentos de concentrações de ferro disponíveis nos diferentes solos estudados em relação a adição de diferentes doses de CL (em t.ha⁻¹), foram observados e mensurados através de modelos ajustados por regressão (Tabela 2).

TABELA 2. Efeito da dose de CL no teor de Fe disponível no solo.

Solo	Profundidade	Modelo ajustado	R ²
Geral	Geral	$Y = 72,6 + 0,325.X$	65,20*
LV	Geral	$Y = 112,3 - 0,083.X$	78,17*
PV	Geral	$Y = 43,6 + 0,092.X$	60,82*
PL	Geral	$Y = 171,2 - 0,478.X$	65,93**
TR	Geral	$Y = 1,6 + 0,689.X$	89,61**

* e **Significativo a 1 e 5% de probabilidade no teste F.

Observou-se que a disponibilidade de Fe nos solos foi influenciada pela mineralogia, em especial os teores de óxido de ferro. Existe uma interação entre os teores originais de ferro e a matéria orgânica existente para definir o comportamento da disponibilidade de Fe face a adição de CL. Isto é, na camada superficial do solo, que já possui matéria orgânica, a adição de CL promoveu um aumento inicial de disponibilidade de Fe e, a partir da terceira dose de CL, já ocorreu uma redução de seu teor.

Através das equações de regressão ajustadas aos solos para a variável dosagem de CL, nota-se um comportamento linear em todos eles, sendo que para os solos LV e PL, essa reta é decrescente com o aumento da dosagem e para os solos PV e TR esse comportamento é crescente.

Realizou-se algumas simulações, utilizando-se modelos de regressão para a variável tempo de incubação, fornecendo assim o tempo de redução da disponibilidade do Fe. Na Tabela 3 são encontradas algumas simulações utilizando-se apenas os modelos que foram significativos, que podem fornecer dados importantes como o tempo necessário para reaplicação do CL em cada tipo de solo e para cada dosagem utilizada.

TABELA 3. Estimativa de decaimento da disponibilidade do Pb em alguns solos específicos, de uma forma geral para dosagem de CL e profundidade.

Tipo de Solo	Y quando X=0	Y* (50% de Y qdo X=0)	Modelo ajustado ¹ (X = tempo de incubação)	T. Inc. para Y* (aproximado)
LV	136,574	68,287	$Y = 116,2 - 0,141.X$	340 dias
PV	62,458	31,229	$Y = 50,5 - 0,056.X$	344 dias
PL	174,058	87,029	$Y = 152,3 - 0,037.X$	1.764 dias

¹Valor de R² > 0,68 e significativo a 5% de probabilidade no teste F.

Como pode ser observado na Tabela 3, a reaplicação do CL nos solos LV e PV pode ser feita em torno de um ano, quando o Fe atinge a meia-vida. Mas, no solo PL, esse tempo de meia-vida é muito elevado, chegando a quase cinco anos. Para não causar danos ambientais com acumulação de ferro no solo e danos às plantas, o uso de CL neste solo fica inviabilizado, mesmo tendo este o solo apresentado o menor teor total de ferro quando comparado aos demais.

Manganês

Foram observados maiores concentrações de Mn nos solos B e TR, tendo como máximo a dosagem zero, isto é, o solo já era rico em Mn. Com as outras aplicações houve diluição desse teor, diminuindo a quantidade total desse nutriente no solo.

Para o estudo do efeito da dose de CL na disponibilidade de manganês, foram ajustados modelos de regressão, descritos na Tabela 4.

TABELA 4. Efeito da dose de CL no teor de Mn disponível no solo.

Solo	Profundidade	Modelo Ajustado	R ²
Geral	Geral	$Y = 64,9 - 0,165.X$	67,99**
Geral	0-20cm	$Y = 73,9 - 0,251.X$	84,47**
Geral	20-40cm	$Y = 56,0 - 0,079.X$	80,00**
PV	Geral	$Y = 106,2 - 0,183.X$	95,31**
B	Geral	$Y = 132,1 - 1,284.X$	90,62**
TR	Geral	$Y = 68,3 - 1,529.X$	99,60**

* e **Significativo a 1 e 5% de probabilidade no teste F.

Verifica-se que o teor inicial de Mn disponível é maior na camada 0-20cm, sendo que o efeito da adição de CL na redução de sua disponibilidade em geral é maior também no horizonte superficial (-0,251 mg de metal por dm³ de solo por tonelada de CL adicionado contra 0,079 da camada 20-40cm). Foi concluído que o comportamento desse metal, face à adição de crescentes dosagens de CL, é linear, ocorrendo decaimento constante de Mn com o aumento da dosagem de CL quando estudado a média dos solos, e nos solos PV, B e TR, os quais demonstraram modelos significativos.

Foram também ajustados modelos de regressão para estudo da interferência do tempo de incubação, fornecendo assim o tempo de decaimento da disponibilidade do Mn, descritos na Tabela 5.

TABELA 5. Estimativa de decaimento da disponibilidade do Mn em alguns solos e dosagens específicos, de uma forma geral para profundidade.

Tipo Solo	Dose (T/ha)	Y quando X = 0	Y* (50% de Y qdo X = 0)	Modelo ajustado ¹ (X = tempo de incubação)	T. Inc. para Y* (aproximado)
Geral	Geral	71,878	35,939	$Y = 67,5 - 0,187.X$	169 dias
Geral	00	88,620	44,310	$Y = 85,4 - 0,292.X$	141 dias
Geral	25	71,110	35,555	$Y = 67,6 - 0,138.X$	232 dias
Geral	50	70,660	35,330	$Y = 65,9 - 0,195.X$	157 dias
Geral	100	57,120	28,560	$Y = 57,1 - 0,126.X$	227 dias
LV	Geral	18,063	9,030	$Y = 23,72 - 0,10.X$	147 dias
PV	Geral	138,238	69,119	$Y = 118,5 - 0,39.X$	127 dias
B	Geral	99,688	49,844	$Y = 94,5 - 0,354.X$	126 dias
TR	Geral	97,675	48,838	$Y = 95,9 - 0,084.X$	560 dias

¹Valor de R² > 0,80 e significativo a 1% de probabilidade no teste F.

Pode-se concluir que o solo TR necessita de um grande período para reaplicação do CL, aproximadamente um ano e meio, o que pode inviabilizar seu uso. Além disso, esse solo demonstrou valores totais no momento da aplicação maiores do que o limite da EPA (1983), podendo causar danos às plantas e ao solo.

Zinco

Foi observado uma maior concentração de Zn total nos solos B e TR, onde seus teores ultrapassaram o limite máximo estipulado pela Environmental Protection Agency (1983), e menor concentração de Zn nos solos PL e LV. Nesses últimos o comportamento dos teores totais é crescente com o aumento da dosagem, isto é, a presença desse metal no solo antes da aplicação de CL é baixa, sendo este um metal importante ao crescimento das plantas quando em doses adequadas.

Para o estudo do efeito da dose de composto de lixo na disponibilidade de Zn, foram ajustados modelos de regressão, descritos na Tabela 6.

TABELA 6. Efeito da dose de CL no teor de Zn disponível no solo.

Solo	Profundidade	Modelo ajustado	R ²
Geral	Geral	$Y = 7,21 + 0,028.X$	69,48**
Geral	0-20cm	$Y = 8,27 + 0,022.X$	79,19**
Geral	20-40cm	$Y = 11,03 - 0,369.X + 0,004.X^2$	99,28**
LV	Geral	$Y = 4,41 + 0,043.X$	86,57**
LV	0-20cm	$Y = 1,121 + 0,352.X - 0,003.X^2$	78,11**
LV	20-40cm	$Y = 7,89 + 0,283.X - 0,0032.X^2$	96,83**
PV	Geral	$Y = 9,56 + 0,041.X$	81,49**
PV	0-20cm	$Y = 6,11 + 0,401.X - 0,0035.X^2$	81,50**
PV	20-40cm	$Y = 13,77 - 0,381.X + 0,0041.X^2$	97,96**
PL	Geral	$Y = 5,887 + 0,067.X$	90,35**
PL	0-20cm	$Y = 2,10 + 0,422.X - 0,0035.X^2$	87,56**
PL	20-40cm	$Y = 11,03 - 0,401.X + 0,0046.X^2$	97,36**
B	Geral	$Y = 13,57 - 0,079.X$	72,60**
B	0-20cm	$Y = 11,34 + 0,371.X - 0,0044.X^2$	88,67**
B	20-40cm	$Y = 16,89 - 0,618.X + 0,0053.X^2$	95,67**
TR	Geral	$Y = 2,66 + 0,067.X$	88,06**
TR	0-20cm	$Y = 2,65 + 0,058.X$	78,65**
TR	20-40cm	$Y = 2,67 + 0,076.X$	61,61**

* e ** Significativo a 1 e 5% de probabilidade no teste F.

Houve um efeito marcante da disponibilidade de Zn à medida que se aplicou o CL, destacando-se a maior resposta nos solos PV e PL, onde o fator matéria orgânica foi muito importante para diferenciar o comportamento distinto de resposta da camada superficial (linear positiva) e da subsuperficial (quadrática). Tais solos possuem em comum uma textura mais para franco-arenosa, semelhante ao observado por Costa et al. (1995). Pode-se observar nos modelos de regressão para o Zn que nos solos onde foi estudada a média das profundidades, houve uma resposta linear com comportamento crescente do teor de Zn disponível em todos eles com exceção do solo B. Este apresentou uma reta decrescente com o aumento da dose de CL. Entretanto, não se pode esquecer que o fator profundidade mostrou uma interferência significativa no teor de Zn disponível.

Na Tabela 7 são descritas simulações realizadas a partir de modelos ajustados para a variável tempo de incubação, fornecendo assim a meia-vida do Zn. Esse valor é muito importante, pois esse metal apresentou teores acima do limite estipulado pelo Environmental Protection Agency (1983), podendo trazer prejuízos às culturas e ao solo.

TABELA 7. Estimativa de decaimento da disponibilidade do Zn em algumas dosagens e profundidades específicas, de uma forma geral para tipo de solo.

Prof. (cm)	Dose (T/ha)	Y quando X=0	Y* (50% de Y qdo X=0)	Modelo ajustado ¹ (X = tempo de incubação)	T. Inc. para Y* (aproximado)
Geral	Geral	10,544	5,272	$Y = 9,32 - 0,017.X$	238 dias
0-20	00	6,9868	3,4934	$Y = 5,92 - 0,008.X$	303 dias
0-20	25	10,314	5,157	$Y = 9,39 - 0,021.X$	202 dias
0-20	50	20,3346	10,1673	$Y = 17,94 - 0,043.X$	181 dias
20-40	00	13,8874	6,9437	$Y = 12,0 - 0,024.X$	211 dias
20-40	100	16,1514	8,0757	$Y = 14,6 - 0,031.X$	210 dias

¹Valor de $R^2 > 0,72$ e significativo a 1% de probabilidade no teste F.

Através da Tabela 7 foi concluído que a dosagem com maior tempo de decaimento é justamente a dosagem zero, isto é, o próprio solo sem CL demora mais tempo para a disponibilidade do Zn chegar à metade, enquanto que nos outros casos estudados, estes apresentaram períodos de decaimento muito próximos, ficando todos em torno de 200 dias para que possa fazer a replicação de CL.

Cobre

Foi observado uma maior concentração de cobre total nos solos B e TR, onde seus teores ultrapassaram o limite máximo estipulado pelo Environmental Protection Agency (1983), e menor concentração de Cu nos solos PL e LV. Nesses o comportamento dos teores totais é crescente com o aumento da dosagem, isto é, a presença desse metal no solo antes da aplicação de CL é baixa, sendo este um metal importante para o crescimento das plantas, quando em doses adequadas.

Para o estudo do efeito da dose de composto de lixo na disponibilidade de cobre, foram ajustados modelos de regressão, descritos na Tabela 8.

TABELA 8. Efeito da dose de CL no teor de Cu disponível no solo.

Solo	Profundidade	Modelo Ajustado	R ²
Geral	Geral	$Y = 1,74 + 0,031.X$	99,48**
Geral	0-20cm	$Y = 1,42 + 0,0313.X$	82,66**
Geral	20-40cm	$Y = 2,07 + 0,031.X$	74,40**
LV	Geral	$Y = 1,306 + 0,018.X$	93,85**
LV	0-20cm	$Y = 0,32 + 0,106.X - 0,0009.X^2$	85,00**
LV	20-40cm	$Y = 2,53 - 0,09.X - 0,0011.X^2$	97,63**
PV	Geral	$Y = 2,16 + 0,018.X$	93,95**
PV	0-20cm	$Y = 1,08 + 0,115.X - 0,0009.X^2$	85,04*
PV	20-40cm	$Y = 3,30 - 0,0084.X + 0,001.X^2$	96,14*
PL	Geral	$Y = 1,87 + 0,03.X$	96,56**
PL	0-20cm	$Y = 0,052 + 0,172.X - 0,0014.X^2$	84,82*
PL	20-40cm	$Y = 4,10 - 0,147 + 0,0002.X^2$	92,83**
B	Geral	$Y = 2,81 + 0,002.X$	56,10**
B	0-20cm	$Y = 2,07 + 0,094.X - 0,0009.X^2$	99,98**
B	20-40cm	$Y = 3,57 - 0,093.X + 0,0009.X^2$	83,76**
TR	Geral	$Y = 0,58 + 0,087.X$	95,35**
TR	0-20cm	$Y = 0,37 - 0,066.X + 0,0015.X^2$	99,10**
TR	20-40cm	$Y = 0,92 + 0,228.X - 0,0014.X^2$	91,46**

* e ** Significativo a 1 e 5% de probabilidade no teste F.

Observou-se que os teores de Cu disponíveis nos solos variaram em função da sua concentração original nas camadas superficial (0-20cm) e subsuperficial (20-40cm) dos diferentes solos e do composto de lixo adicionado. O valor de "b" das equações mostrou uma variação considerável (0,002 a 0,031), isto é, existe um potencial de aumento de disponibilidade de Cu no solo restrita para adição de doses de CL, o que depende do poder tampão do solo associado a matéria orgânica presente.

Para o estudo do efeito do tempo de incubação na disponibilidade de Cu foram ajustados modelos de regressão (Tabela 9). Entretanto os modelos encontrados não podem ser usados no cálculo do tempo de decaimento do Cu no solo, pois não possuem respostas reais.

TABELA 9. Efeito do tempo de incubação no teor de Cu disponível.

Tipo Solo	Prof. (cm)	Dose CL	I. Modelo ajustado ($Y = a + b.X + c.X^2$)	R ² %	Valores observados				
					00	16	32	64	150
Geral	0-20	50	$Y = 5,12 - 0,043.X + 0,00024.X^2$	62,72*	5,48	4,45	3,70	4,01	3,36
Geral	0-20	100	$Y = 4,48 - 0,026.X + 0,00016.X^2$	60,53*	4,66	4,14	3,70	3,44	4,16
Geral	20-40	100	$Y = 6,43 - 0,036.X + 0,00022.X^2$	51,55*	6,83	6,16	4,92	4,96	6,00

* e ** Significativo a 1 e 5% de probabilidade no teste F.

5. Conclusões

- As maiores concentrações dos nutrientes estudados, de uma forma geral foram encontrados nos solos Brunizem e Terra Roxa Estruturada.
- CL empregado no estudo de incubação estava dentro dos valores aceitos para o uso agrícola. Entretanto os elementos Mn e Zn ultrapassaram os limites totais estipulados pela Environmental Protection Agency (1983), destacando-se um risco à cadeia trófica vegetal o uso de maior dosagem de CL nos solos Brunizem e Terra Roxa Estruturada.
- Houve interferência dos fatores óxidos de ferro e alumínio, teor de argila e pH do solo quanto à disponibilidade dos nutrientes Fe, Mn e Cu, e grande interferência do fator profundidade em todos os nutrientes estudados.
- Quanto ao tempo necessário para haver nova aplicação de CL como adubo ao solo, o ferro mostrou-se um elemento limitante por apresentar meia-vida superior a um ano, chegando a cinco anos no solo PL.
- A maior concentração total do nutriente Mn está no solo TR na dosagem zero, isto é, esse solo já é rico neste elemento e o CL apenas dilui esse teor no solo original.

6. Referências bibliográficas

- BERTON, R.S. Especificação iônica da solução do solo: metodologia e aplicações. In: SIMPÓSIO AVANÇADOS DE SOLOS E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 2., 1989, Piracicaba. *Anais*. Campinas: Fundação Cargill, 1989. p.17-41.
- BERTON, R.S. Fertilizantes e poluição. In: Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, 20., 1992, Piracicaba. *Anais*. Campinas: Fundação Cargill, 1992. CD-ROM.
- BERTON, R.S.; VALADARES, J.M.A.S. Potencial agrícola do composto de lixo urbano no Estado de São Paulo. *O Agrônomo*, Campinas, v.43, n.2/3, p.87-93, 1991.
- BERTON, R.S. *Utilização Agrícola do composto de lixo urbano*: relatório final. São Paulo: Secretaria de Ciência, Tecnologia e Desenvolvimento Econômico, 1995. 76p.
- COSTA, C.A. da; CASALTI, V.W.D.; LOURDES, E.G.; CECON, P.R.; JORDÃO, C.P. Teores de metais pesados e de sódio em três solos incubados com composto orgânico de lixo urbano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., 1995, Viçosa. *Resumos expandidos*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1995. p.2312-2314.
- CRAVO, M.S. *Composto de lixo urbano como fonte de nutrientes e metais pesados para alfafa*. 1995. 135p. Tese (Doutorado em Solos e nutrição de plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- EGREJA FILHO, F.B. *Avaliação da ocorrência de distribuição química de metais pesados na compostagem de lixo domiciliar urbano*. 1993. 176p. Dissertação (Mestrado em Solos) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. *Manual de Métodos de Análises de Solo*. Rio de Janeiro, 1979. 227p.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (Estados Unidos). *Land Application of Municipal Sludge*. Cincinnati, 1983. 432p.

MELO, W.J.; SILVA, F.C.; MARQUES, M.O.; BOARETO, A.E. Critérios para o uso de resíduos sólidos urbanos na agricultura e impactos ambientais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., 1997, Rio de Janeiro. *Anais*. Rio de Janeiro: SBCS, 1997. CD-ROM.

NIEUWENHUIZE, J.; POLEY-VOS, C.H.; AKKER, van den A. Comparison of microwave and convention extraction techniques for the determination of metals in soil, sediment and sludge samples by atomic spectrometry. *Analyst*, Cambridge, v.116, p.347-351, 1991.

IMPRESSO

Embrapa

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro Nacional de Pesquisa Tecnológica em Informática para a Agricultura
Ministério da Agricultura e do Abastecimento
Rua Dr. André Tosello, s/n° Caixa Postal 6041 - Barão Geraldo
13083-970 - Campinas, SP
Fone (19) 3289-9800 Fax (19) 3289-9594
E-mail: sac@cnptia.embrapa.br
<http://www.cnptia.embrapa.br>*

**MINISTÉRIO DA AGRICULTURA
E DO ABASTECIMENTO**

**GOVERNO
FEDERAL**
Trabalhando em todo o Brasil