

Estudo químico de alguns pontos do solo superficial do aterro controlado do Botuquara

Chemistry study of some points of soil surface the Botuquara controlled garbage

Daniele Nascimento Matias¹

Wilson Costa^{2(*)}

Resumo

Atualmente, a produção e armazenamento de resíduos sólidos urbanos (RSU), têm gerado uma gama de discussões acerca de aspectos ligados à veiculação de doenças e danos ambientais, principalmente, se sua disposição for realizada de maneira inadequada, pois isto pode acarretar a infiltração do lixiviado no solo, causando a sua contaminação e, possivelmente, do lençol freático e cursos d'água. Na cidade de Ponta Grossa (PR), a coleta dos RSU teve início em 1969 e a disposição final desses resíduos era em um lixão, que foi transformado em aterro controlado no ano de 2001. Este estudo tem por objetivo, avaliar as características de alguns pontos da camada superficial do solo localizado na base do agora aterro controlado do Botuquara, para verificar possíveis tendências à contaminação da área. Foram determinados pH, carbono orgânico, matéria orgânica, nitrogênio total, relação C:N, capacidade de troca catiônica, saturação de bases e teores de areia, argila e silte, além da verificação das concentrações de Ag, Cr, Cd, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn na forma de metais biodisponíveis e pseudototais. Os resultados mostraram que o solo apresenta altas concentrações de Cr e Pb biodisponíveis e Pb, Cu e Ag pseudototais. Já a saturação dos colóides, indica que o solo atingiu sua capacidade máxima de retenção.

Palavras- chave: resíduos sólidos; espécies metálicas; lixiviado.

Abstract

Currently, the production and storage of urban solid residues (USR) have generated a discussion range about aspects close to the diseases propagation and environment

1 Mestre; Química; Professora do Colégio Estadual Professor João Ricardo Von Borell Du Vernay e Colégio Sagrada Família; Endereço: Avenida Anita Garibaldi, 2229, CEP: 84015-050, Ponta Grossa, Paraná, Brasil; E-mail: d.nascimento@hotmail.com

2 Dr.; Químico; Professor do Departamento de Química da Universidade Estadual de Ponta Grossa, UEPG; Endereço: Avenida Carlos Cavalcanti, 4748, Campus Uvaranas, Ponta Grossa, Paraná, Brasil E-mail: wcosta@uepg.br (*) Autor para Correspondência.

damage especially in the boundaries in which it is done improperly. Since, this may lead to the leached into the soil, causing its contamination as well as the groundwater contamination going deep in the groundwater. In Ponta Grossa, a city in the state of Paraná the final disposition place of the USSR started out in 1969 and the final disposition of such waste was in a big dump, which become into a controlled landfill in 2001. The aim in this paper was to evaluate the characteristics of some earth points of the surface soil layer at the base of the now Botuquara's controlled landfill earthwork. It was checked in this area the possible trends of its contamination. It were accomplishing analyses of pH, organic carbon, organic matter, total nitrogen, C:N relation, cation exchange capacity, bases saturation and sand contents, clay and silt to the earth. It was also checked the concentration of Ag, Cr, Cd, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb and Zn biodegradable metals and pseudo-total into the land. As a result it was show high concentration of Cr and Pb biodegradable and Pb, Cu and Ag pseudo-total. Already saturation of colloids, indicates that the soil has reached its maximum capacity of retentions.

Key words: solid residues; species metallic; lixiviante.

Introdução

De acordo com a Norma Brasileira (NBR) 10.004:2004 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), os resíduos sólidos são todos os resíduos nos estados sólido e semissólido, que resultam das atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola e de serviço de varrição. Eles são classificados em resíduos classe I (perigosos) e classe II (não perigosos), sendo os resíduos não perigosos subdivididos em não inertes (II A) e inertes (II B).

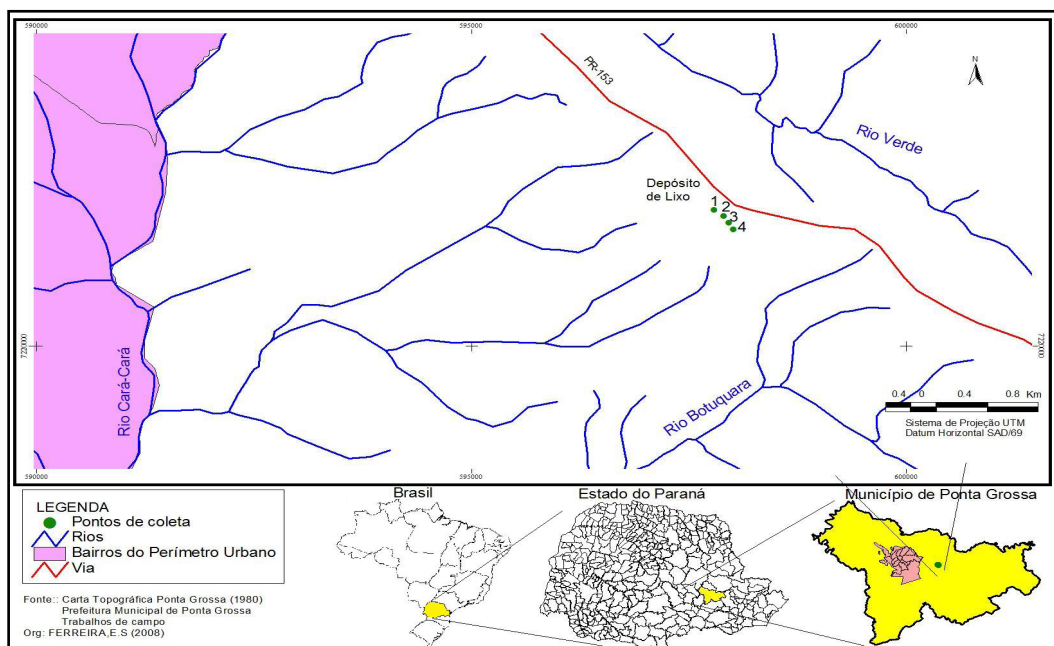
Os resíduos sólidos urbanos (RSU) podem ser considerados como pertencentes à classe II A. Em muitos países eles são incinerados, o que gera energia e reduz o volume (BAIRD, 2002), mas o material resultante terá que ser disposto em aterros sanitários, pois contém metais pesados (HO et al., 2008; CHOW et al., 2008) ou outras substâncias perigosas (DUDZINSKA, 2007).

No Brasil, impera a disposição final, que nem sempre é adequada, pois, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

(IBGE), 63,6% dos municípios brasileiros possuem lixões como sistemas de disposição final dos resíduos, 18,4 % aterros controlados e apenas 13,8 % fazem a disposição em aterros sanitários.

Em Ponta Grossa (PR), o início das atividades de limpeza ocorreu em 1969, e os RSU coletados começaram a ser depositados na forma de um "lixão" no único local que o município dispunha, com as justificativas de estar razoavelmente distante, já que se situa a 11 km da sede do município e por apresentar topografia e tamanho adequado (DEMARIO et al., 1992; MROSK et al., 1992). Um agravante é estar num divisor das bacias dos rios Cará - Cará, Botuquara e Verde (Figura 1), o que aumenta o risco ambiental de contaminação e também a sua distribuição, já que estes rios são afluentes ou subafluentes do rio Tibagi.

No ano de 2001, o "lixão" foi transformado em aterro controlado, a partir da cobertura dos resíduos com solo, colocação de dutos, objetivando a eliminação dos gases gerados para a atmosfera, instalação de rede



Fonte: Carta Topográfica Ponta Grossa (1980). Prefeitura Municipal de Ponta Grossa. O mapeamento foi organizado por Everaldo Skalinski Ferreira.

Figura I. Localização do Aterro Controlado Botuquara, com os pontos de coleta (1, 2, 3, 4) e a presença das bacias hidrográficas dos rios Verde, Cará-Cará e Botuquara

para drenagem do lixiviado em direção a lagoas de estabilização e construção de poços de monitoramento, mas os resíduos continuam em contato com o solo.

A disposição de RSU em locais sem infraestrutura de proteção ambiental, pode ser responsável pela contaminação de recursos naturais e de seres humanos e animais por meio da emissão de efluentes líquidos e gasosos (SCHUELER; MAHLER, 2007), sendo a geração de lixiviados, a principal preocupação quanto à degradação ambiental das áreas localizadas próximas ao local da sua disposição (AMARAL et al., 2007), pela alta concentração de matéria orgânica, bem como, quantidades consideráveis de metais pesados, que contaminam solo, águas superficiais e, principalmente, subterrâneas (LINS, 2003).

O potencial Hidrogeniônico (pH) influencia a mobilidade e disponibilidade

dos metais (UMOREM et al., 2007) e o seu aumento ocasiona uma redução da disponibilidade (SANTOS et al., 2002), enquanto que a quantidade e qualidade da matéria orgânica (MO) são as principais propriedades que determinam a sua retenção (LAIR et al., 2006), que também ocorre, pelas partículas de argila (SANTOS et al., 2002).

A MO, que é a principal responsável pela retenção de metais no solo (ROSS et al., 2008, SANTOS et al., 2002), sofre decomposição pelos microrganismos, caso as condições o permitiram, necessitando de C e N para continuar seu desempenho, pois o carbono representa a fonte de energia necessária para ativação do processo de síntese celular e para oxidação e o nitrogênio, é o material básico para a constituição da matéria celular sintética (MONTEIRO, 2003; MELLO et al., 1988).

Se o quociente C:N for demasiadamente elevado, haverá abundância de C porém, insuficiência de N, portanto, os microrganismos não terão esses elementos em proporção adequada para sintetizar estruturas básicas da própria célula, e o processo de decomposição tende a ser lento. Por outro lado, se o quociente C:N for baixo, o excesso de nitrogênio será perdido na forma de NH_3 (MELLO et al., 1988).

Partículas sólidas do solo, tais como minerais, MO, argila, absorvem os íons da fase aquosa e, ao mesmo tempo, liberam quantidades equivalentes de outros íons de mesma carga, estabelecendo o equilíbrio entre as fases, através de processos reversíveis ou temporariamente reversíveis que é chamado de troca iônica (LUCHESE et al., 2001).

Cátions retidos (adsorvidos) nos colóides podem ser substituídos por outros em quantidades equivalentes, o que em termos práticos, significa que eles são trocáveis; a quantidade total que pode ser retida em um solo é conhecida como capacidade de troca catiônica (CTC) e, quanto maior a CTC do solo, maior o número de cátions que este solo pode reter (COTTA et al., 2006). Então, solos com teores elevados de argila e matéria orgânica, apresentam maior capacidade de retenção de metais, isto é, maior CTC.

Já, a soma dos teores de cátions presentes na forma trocável de um solo é denominada como soma das bases trocáveis que, por sua vez, indica o número de cargas negativas dos colóides que está ocupado por cátions. A soma destes, em comparação com a CTC efetiva, permite calcular a porcentagem de saturação de bases (MELLO et al., 1988).

Considerando que a disposição dos resíduos sólidos no Aterro Controlado do Botuquara foi realizada de maneira inadequada

e que existe a possibilidade da presença de muitos contaminantes, principalmente metais, já que o controle do que era ali depositado inexistia, realizou-se este trabalho, com o objetivo de avaliar as características de alguns pontos da camada superficial do solo localizado na base deste aterro, a finalidade é verificar possíveis tendências à contaminação da área por produtos liberados pela degradação dos resíduos sólidos ali dispostos, através da determinação do pH, MO, CTC, saturação de bases, nitrogênio total, carbono orgânico, relação C:N, teor de argila, areia e silte do solo (análise textural) e metais biodisponíveis e totais (Ag, Cu, Cr, Cd, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn).

Materiais e Métodos

As amostras do solo foram coletadas no dia 25 de setembro de 2006, sendo realizadas manualmente em quatro pontos diferentes em torno da base do aterro, tomados de maneira aleatória, a uma profundidade média de 30 cm em cada ponto.

As amostras recolhidas foram dispostas em frascos de polietileno e levadas ao laboratório onde, manualmente, foram removidos contaminantes macroscópicos como raízes, folhas e fragmentos de plásticos e metais. A seguir, foram secadas à temperatura ambiente (próximo a 25°C), trituradas e homogeneizadas com o auxílio de almofariz de porcelana e pistilo e, então, peneiradas em malha de 0,297 mm, para serem secadas em estufa à temperatura de 40°C , até atingir massa constante. As análises foram feitas em triplicata.

A figura 1 demonstra a localização do Aterro controlado do Botuquara (depósito de lixo), determinada com o auxílio do Global Positioning System (GPS), com os pontos de coleta do solo (1, 2, 3, 4) e a presença das

bacias hidrográficas dos rios Verde, Cará-Cará e Botuquara.

pH

Realizada potenciométricamente em suspensão solo-solução. Na amostra de solo, foi adicionada solução de CaCl_2 $0,01\text{mol L}^{-1}$, agitada e, após repouso, foi realizada a leitura do pH utilizando pH-metro Quimis – 400A (SODRÉ et al., 2001; COSTA et al., 2002).

Carbono orgânico/MO

O carbono orgânico foi determinado pelo método de Walkley & Black, que consiste na adição de solução padrão de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 1mol L^{-1} e H_2SO_4 , concentrado a uma amostra de solo, que a seguir foi agitada e, após repouso, recebem adição de água deionizada, H_3PO_4 concentrado e solução indicadora de difenilamina sulfúrica a 1% (m/v). A mistura foi titulada com solução padrão de $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 1mol L^{-1} . A MO, foi calculada, por ser constituída em média de 52 a 58% de carbono (LUCHESE et al., 2001). Valores menores que 0,6% para o carbono orgânico é um teor baixo, entre 0,6%, 1,2% é médio e acima de 1,2% o teor é alto (MELLO et al., 1988).

Nitrogênio NKT e relação C/N

Para a determinação do nitrogênio (orgânico e amoniacal) foi utilizada a técnica de Kjeldahl, que consiste na digestão da amostra de solo com K_2SO_4 , CuSO_4 , Selênio metálico e H_2SO_4 a 95-97%, seguida da adição de solução de NaOH 1mol L^{-1} e titulação com solução padrão de HCl $0,02\text{mol L}^{-1}$ (JORDÃO et al., 2000).

Já a relação C:N foi calculada, dividindo-se o valor de carbono orgânico

pelo valor de nitrogênio total (MELLO et al., 1988). Nessa relação, quanto maior o valor, maior será o tempo de decomposição (GONZALEZ-PÉREZ, 2004).

CTC efetiva

Foi calculada pela soma dos cátions metálicos totais trocáveis, que são Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ (bases), determinados através da variação que o pH de uma solução de CH_3COOH 1mol L^{-1} sofre após mistura com uma amostra de solo, com a acidez trocável (H + Al), liberada através da reação do solo, com solução não tamponada de KCl Solos com valores de CTC maiores que $5\text{cmol}_c\text{ kg}^{-1}$ possuem uma alta capacidade de troca (COTTA et al., 2006).

Porcentagem de saturação de bases

A porcentagem de saturação de bases é calculada dividindo-se o valor da soma dos cátions trocáveis pelo valor da CTC. Quando o resultado obtido fica acima de 80 %, significa que existe uma alta quantidade de cátions saturando as cargas negativas dos colóides do solo (MELLO et al., 1988).

Análise textural

A análise textural diz respeito à distribuição das partículas do solo quanto ao seu tamanho. Tradicionalmente, as partículas do solo são divididas em três frações texturais que são areia, silte e argila (REICHARDT, 1985; RUIZ, 2005).

Primeiramente, foi determinada a densidade das partículas de cada amostra pelo método do picnômetro (EMBRAPA, 1997). Posteriormente, a amostra de solo foi pesada em Erlenmeyer, adicionou-se NaOH 1mol L^{-1} , água destilada e, após

repouso, as amostras foram colocadas no aparelho de ultra-som VCx750 para quebra das partículas. Após peneiramento em malha de 20 μm , as partículas que permaneceram, foram transferidas para uma placa de Petri e levadas à estufa a 50°C até atingir peso constante, sendo esta, a fração areia da amostra.

Na porção resultante que foi transferida para uma proveta, através da Lei de Stokes, que utiliza a densidade já determinada (EMBRAPA 1997), obteve-se o tempo de espera para sedimentação das partículas. Decorrido o tempo calculado, o fluido a 2,7 cm de altura foi coletado, correspondendo à fração argila, que foi transferida para uma placa de petri e seca a 45°C até atingir uma massa constante. A fração de silte foi obtida pela diferença entre as porções de areia e argila (EMBRAPA, 1997).

A quantidade de argila presente no solo influencia na sua CTC e, conseqüentemente, no seu poder de retenção de cátions. Estudos realizados demonstram que solos com maior teor de argila e menor teor de areia tende a apresentar maior quantidade de metais (FADIGAS et al., 2002). Um teor de argila inferior a 15% indica um solo de textura arenosa (MEDEIROS et al., 2008).

Espécies metálicas

Foram determinadas, na forma biodisponíveis (ou fracamente adsorvidos) e pseudo-totais (ou fortemente adsorvidos). Como metais biodisponíveis, o ataque da amostra foi realizada com solução de HCl 0,1 mol L^{-1} (CHEN, 1992). Para os metais pseudototais, as amostras foram submetidas ao ataque com uma mistura de ácido fluorídrico e ácido perclórico ($\text{HF}:\text{HClO}_4$) na proporção 5:1 (TESSIER, et al., 1979; RIBEIRO

FILHO et al., 2001; NIEUWENHUIZE, et al., 1991).

Nos extratos, os metais, Cu, Cr, Ni, Zn, Cd, Pb, Ag, Fe e Mn, foram determinados por espectroscopia de absorção atômica, utilizando o aparelho Varian Spectra AAS-220 da UNICENTRO - PR. Os valores utilizados como referência na avaliação de metais no solo, serão aqueles descritos pela CETESB (2005).

Resultados e Discussão

Concentração de metais biodisponíveis e pseudo-totais no solo

As tabelas 1 e 2 trazem as concentrações, no solo, das espécies metálicas avaliadas nos quatro pontos de coleta.

Segundo a CETESB (2005), "O valor de referência de qualidade estabelecido para solos é a concentração de determinada substância que define um solo como limpo. Já o valor de prevenção é a concentração de determinada substância, acima da qual podem ocorrer alterações prejudiciais à qualidade do solo. Para os valores de intervenção temos a concentração de determinada substância no solo acima da qual existem riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana".

Para as amostras que foram analisadas, observou-se, que na forma de metais biodisponíveis, Pb (todos os pontos de coleta), Cr (ponto 3) e na forma pseudo-totais, Pb, Cu e Ag (todos os pontos de coleta), estão com valores acima daqueles estabelecidos como referência. Na forma biodisponível, Pb (todos os pontos), Cu e Ag como pseudototal (todos os pontos), estão acima dos valores definidos como de prevenção. Nenhum dos metais está

Tabela 1. Valores dos metais biodisponíveis encontrados nas amostras de solo

Concentração (mg kg ⁻¹)	Amostras			
	Ponto	Ponto	Ponto	Ponto
	1	2	3	4
Fe	717,0	1234,5	986,5	195,0
Cr	19,0	28,0	51,5*	13,0
Mn	27,0	45,5	32,5	22,5
Pb	95,0*+	90,0*+	150,0*+	110,0*+
Zn	11,0	9,0	10,5	15,0
Cu	10,0	14,5	11,5	6,0
Cd	< LD	< LD	< LD	< LD
Ni	< LD	< LD	< LD	< LD
Ag	< LD	< LD	< LD	< LD

Nota: * valores acima daqueles de referência de qualidade estabelecido pela CETESB.

+ valores acima daqueles de prevenção estabelecido pela CETESB.

LD < 0,5 mg kg⁻¹

Tabela 2. Valores dos metais pseudototais encontrados nas amostras de solo

Concentração (mg kg ⁻¹)	Amostras			
	Ponto	Ponto	Ponto	Ponto
	1	2	3	4
Fe	33.750,0	28.100,0	35.750,0	35.300,0
Cr	25,0	15,5	25,5	18,0
Mn	80,5	82,0	101,5	128,5
Pb	22,5*	19,0*	29,5*	19,5*
Zn	36,0	33,0	29,5	21,5
Cu	63,0*+	57,0*+	61,0*+	40,5*+
Cd	< LD	< LD	< LD	< LD
Ni	3,0	< LD	< LD	< LD
Ag	3,0*+	4,0*+	3,0*+	4,0*+

Nota: * valores acima daqueles de referência de qualidade estabelecido pela CETESB.

+ valores acima daqueles de prevenção estabelecido pela CETESB.

LD < 0,5 mg Kg⁻¹

em concentração acima dos valores de intervenção.

Análises químicas e textural do solo

Na tabela 3, estão os resultados das análises química e textural das amostras de solo dos quatro pontos de coleta.

Relação entre MO, CTC, Argila

Como já citado, valores de CTC acima de 5 cmol_c kg⁻¹ evidenciam uma alta capacidade de troca de cátions do solo com o meio, ou seja, maior será o número de cátions que este solo pode reter (COTTA et al., 2006). Assim, a amostra do ponto 3, é

Tabela 3. Teores de nitrogênio total, carbono orgânico, relação C:N, M.O, pH, CTC, saturação de bases, argila, areia e silte dos pontos analisados do solo

Amostras	Ponto	Ponto	Ponto	Ponto
Análises	1	2	3	4
Nitrogênio Total (%)	0,08	0,09	0,11	0,04
Carbono Orgânico (%)	1,0	1,2	1,2	0,5
Relação C:N	12,2	13,4	11,6	13,3
Matéria Orgânica (%)	1,7	2,1	2,1	0,9
pH	5,4	5,5	6,3	5,8
CTC (cmol _c kg ⁻¹)	3,3	4,7	6,0	3,0
Saturação de Bases (%)	92,2	92,8	97,1	94,3
Argila (%)	2,3	1,3	1,2	1,0
Areia (%)	57,3	62,7	59,9	81,1
Silte (%)	40,5	36,1	38,9	17,9

a única que se apresenta em tais condições, possuindo uma alta capacidade de trocar íons, efetivamente, e retendo uma maior quantidade de cátions.

A CTC é diretamente afetada pelo teor de matéria orgânica e em menor intensidade pelo teor de argila presente no solo. Comparando as amostras dos pontos 2 e 3 (Figura 2), elas apresentam o mesmo teor de matéria orgânica e, praticamente, o mesmo teor de argila, mas a CTC da amostra do ponto 2 é menor, possivelmente porque a matéria orgânica da amostra 2 está menos humificada.

Já para as amostras dos pontos 1 e 4, na figura 2, observam-se os menores valores de CTC. A amostra do ponto 1 tem quase o dobro do teor de matéria orgânica que foi encontrado na amostra do ponto 4, mas a CTC é apenas 10% maior, o que indica novamente, que o grau de humificação da matéria orgânica da amostra do ponto 1 é baixo. Das 4 amostras, o teor de argila do ponto 1 é o mais elevado e a CTC é uma das mais baixas pois, como já relatado, o teor de matéria orgânica tem maior influência na CTC que a argila.

A dependência que a CTC apresenta da matéria orgânica pode ser um problema, já que ela sofre degradação, liberando os metais que estão retidos. Os danos causados dependem então da velocidade de degradação, que pode ser avaliada pela relação C:N que, nesse caso, é elevada (Tabela 3), resultando num processo lento de degradação.

Relações entre pH, MO, CTC

Como pode ser observado na tabela 2, as amostras analisadas apresentam pH ácido, e essa acidez pode ter várias origens como, grupos ácidos presentes na matéria orgânica, teor de alumínio, acidificação via mineralização da matéria orgânica (gera CO₂), chuva ácida (LUCHESE et al., 2001). Neste caso, dependendo do estágio de degradação do resíduo, pode-se ter, ainda, uma acidez adicional via percolado, cujos valores de pH podem oscilar entre 4 e 7 (CASTILHO JUNIOR, 2003; MONTEIRO, 2003).

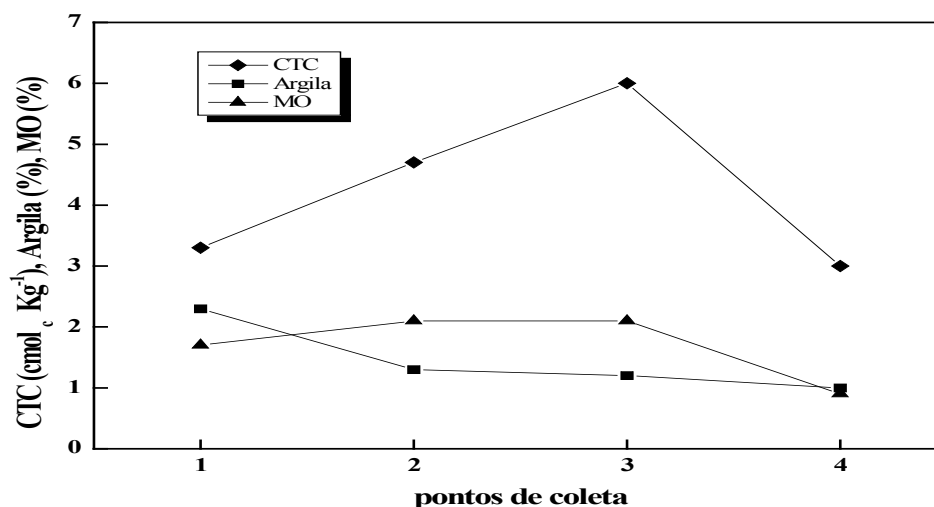


Figura 2. Relação entre os valores de CTC, argila e MO

Segundo Santos e colaboradores (2002), um aumento na acidez dos solos causa danos adicionais via solubilização de metais. Nesse caso, isso é preocupante, pois alguns metais estão acima dos valores definidos como de referência e, algumas vezes, também dos de prevenção (Tabela 1). Um fator que impede alterações acentuadas do pH é a capacidade de tamponamento, que nos solos, se dá principalmente pela quantidade de material coloidal orgânico ou inorgânico presente, portanto, a CTC. (MELLO et al., 1988).

Pelas análises realizadas, a amostra de solo do ponto 3 é a que apresenta maior pH, e também maior capacidade de tamponamento, por apresentar a maior CTC, cujo valor pode ser associado ao maior teor de matéria orgânica encontrado. Para a amostra do ponto 2, o pH é mais ácido e a capacidade de tamponamento é menor (menor CTC), apesar do teor da matéria orgânica ser o mesmo da amostra do ponto 3. Possivelmente, como já citado, essa matéria

orgânica deve estar pouco humificada. Os pontos 1 e 4 são os mais preocupantes, já que as amostras apresentam pH ácido, isto é, acompanhado da menor capacidade tamponante (menores CTC), explicável pelos menores teores de matéria orgânica. Estas considerações podem ser visualizadas na figura 3.

Relação entre CTC e soma dos metais biodisponíveis

A quantidade de metais retidas pelo solo está diretamente relacionada à CTC, e, conseqüentemente, aos teores de MO e, em menor intensidade, ao de argila, devido às características já discutidas. Pela figura 4, é possível observar, que as amostras dos pontos 2 e 3 (maiores valores de CTC), são aquelas que apresentam as maiores concentrações de metais na forma biodisponível, justamente nos locais, onde a contribuição para a CTC pela MO degradável é mais intensa que a argila. Um dado preocupante adicional é a

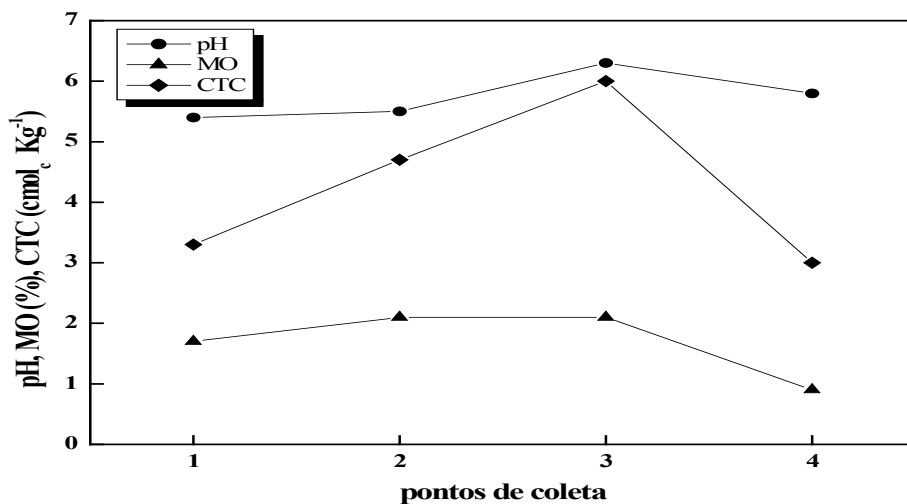


Figura 3. Relação entre pH, MO e CTC

saturação de bases (Tabela 3), que demonstra que a quantidade de cátions saturando as cargas negativas é alta, então, se tiver um aporte adicional de metais via percolado, haverá certa dificuldade de retenção.

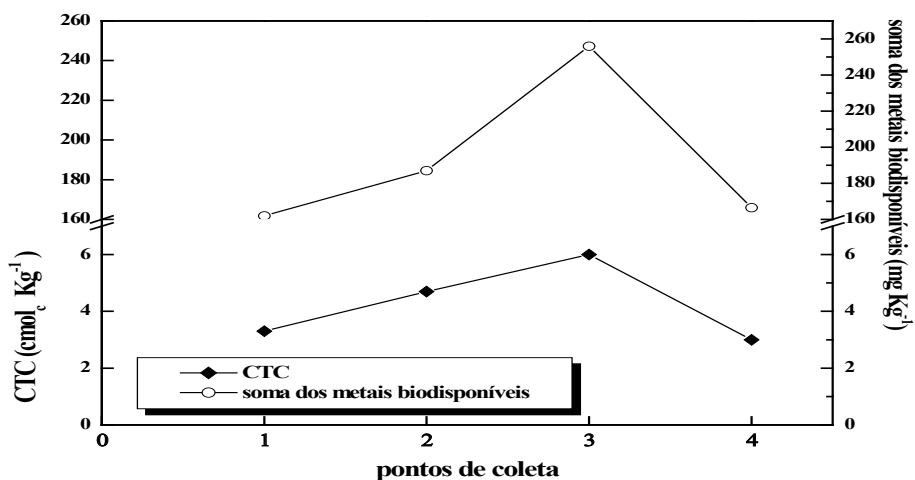
Relação entre CTC e soma dos metais pseudototais

Conforme pode ser observado na figura 5, a amostra que apresenta a maior concentração de metais pseudototais é a do ponto 3 que, coincidentemente, é a que apresenta o maior valor para a CTC. Para os demais pontos, tal relação não foi observada, pois, para CTC, os valores encontrados estão na ordem crescente dos pontos 4, 1, 2 e para os metais pseudototais a ordem crescente de valores é dos pontos 2, 1, 4. A não observação de uma relação entre CTC e as concentrações de metais pseudototais se deve, possivelmente

aos reagentes utilizados nas extrações, pois, para a determinação de metais pseudototais, realiza-se uma digestão total com HF e HCO₄, enquanto que, para a determinação da CTC, as extrações são realizadas com ácido acético 1 mol L⁻¹ e uma solução tamponada de KCl. Conforme já discutido, quando a extração de metais foi realizada com HCl 0,1 mol L⁻¹ (biodisponíveis), o estabelecimento de uma relação entre a soma de metais e a CTC foi possível.

Conclusões

As amostras de solo dos pontos analisados a uma profundidade, de aproximadamente, 30 cm demonstram uma tendência à lixiviação de materiais nele depositados devido à aparente saturação de seus colóides. As condições de nutrientes do solo demonstram certa tendência na

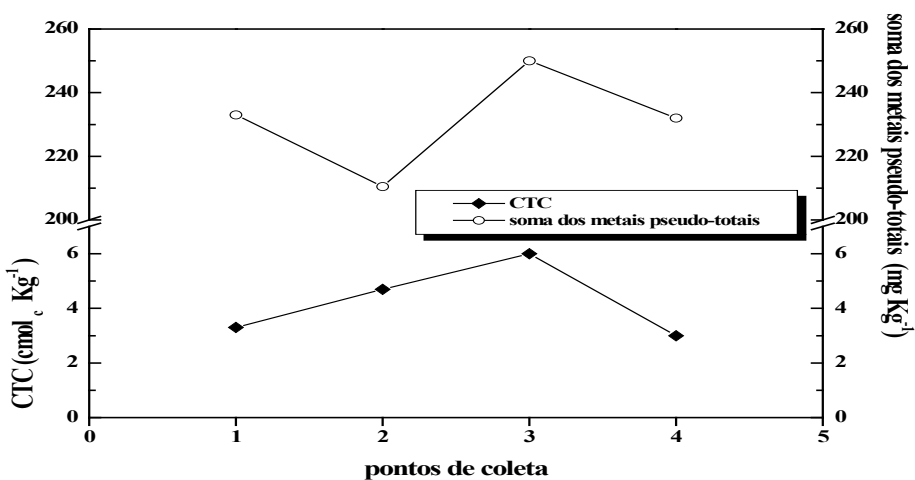


*Observe-se que os valores de CTC variam entre 2 e 6 cmol_c Kg⁻¹, enquanto os valores da soma dos metais biodisponíveis encontram-se no intervalo 160-260 mg Kg⁻¹.

Figura 4. Relação entre a CTC e a soma dos metais biodisponíveis

decomposição do material orgânico nele depositado. Esse fato influencia na CTC dos pontos devido à possível decomposição da MO presente no decorrer do tempo. A CTC dos pontos revela, geralmente, uma baixa capacidade de adsorção de

cátions, confirmando a saturação do solo. O decréscimo da MO levaria a um agravamento dessa situação, diminuindo a CTC dependente do material orgânico e liberando, para o meio, contaminantes a ela aderidos. O pH ácido do solo também contribui para a



*Observe-se que os valores de CTC variam entre 2 e 6 cmol_c Kg⁻¹, enquanto os valores da soma dos metais pseudo-totais encontram-se no intervalo 200-260 mg Kg⁻¹.

Figura 5. Gráfico da relação entre a CTC e a soma dos metais pseudo-totais

solubilização de compostos inorgânicos. A elevada concentração de metais, presentes no solo, pode estar influenciando na saturação de seus colóides. A infiltração de novos contaminantes, somada a possíveis adições devido a mudanças nas condições do meio, leva a uma preocupação com as condições do lixiviado.

Referências

AMARAL, M. C. S.; FERREIRA, C. S. A.; LANGE, L. C.; AQUINO, S. F. de. Avaliação da biodegradabilidade anaeróbica de lixiviados de aterros sanitários. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [online], v. 13, n. 1, 38-45, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 1004 Resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

BAIRD, C. **Química Ambiental**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.

CASTILHOS JÚNIOR, A. B. de (Coord.). **Resíduos sólidos urbanos**: aterro sustentável para municípios de pequeno porte. Rio de Janeiro: ABES, RIMA, 2003. 294p.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB. Decisão de diretoria nº 195-2005 - e, de 23 de novembro de 2005. Dispõe sobre a aprovação dos Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo – 2005, em substituição aos Valores Orientadores de 2001, e dá outras providências, São Paulo, 2005.

CHEN, Z. S. Metal contamination of foods, soils, rice plants and surface waters in Asia. In: **Biogeochemistry of trace metals**. ADRIANO, D. C (Ed.). Lewis Publishers, 1992. p. 85-108.

CHOW, J. D.; CHAI, W. H.; YEH, C. M.; CHUNG, F. S. Recycling and applications characteristics of Fly Ash from Municipal Solid Waste Incinerator Blended with Polyurethane Foam. **Environmental Engineering Science**, v.25, n.4, [S.I.], 2008.

COSTA, A. C. S.; ALMEIDA, V. C.; LENZI, E.; NOZAKI, J. Determinação de cobre, alumínio e ferro em solos derivados do basalto através de extrações sequenciais. **Química Nova**, São Paulo, v.25, n.4, p. 548-552, 2002.

COTTA, J. A. O.; REZENDE, M. O.; PIOVANI, M. R. Avaliação do teor de metais em sedimento do rio Betari no Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira: PETAR, São Paulo, Brasil. **Química Nova**, São Paulo, v.29, n. 1, p. 40-45, 2006.

DEMARIO, E. F.; GRZYBOWSKI, É. J.; NOTRE, F. T. F.; NEPPEL, G.; BAIL, J. L.; ASSIS, L. M.; ANDRADE, M. G.; SILVA, R. G.; REBELATTO, R. A.; CERRATO, S. J.; Estudo relativo ao destino do lixo hospitalar da cidade de Ponta Grossa. 1992. [S.I.],

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, UEPG, Ponta Grossa, 1992.

DUDZINSKA, M.; CZERWINSKI, J.; RUT, B. PCDD/F/T in Leachates from young and old Municipal Landfills. **Environmental Engineering Science**, v.25, n.7, p. 989-998, 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOLO. **Manual de métodos de análise de solo**. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997. 212p.

FADIGAS, F. S.; AMARAL-SOBRINHO, M. N. B.; MAZUR, N.; ANJOS, L. H. C.; FREIXO, A. A. Concentrações naturais de metais pesados em algumas classes de solos brasileiros. **Bragantia**, Campinas, v.61, n.2, p. 151-159, 2002.

GONZÁLEZ-PÉREZ, M.; MARTIN-NETO, L.; SAAB, S. C.; NOVOTNY, E. H.; MILORI, D. M. B. P.; BAGNATO, V. S.; COLNAGO, L. A.; MELO, W. J.; KNICKER, H. Characterization of humic acids from a Brazilian Oxisol under different tillage systems by EPR, ¹³C NMR, FTIR and Fluorescence spectroscopy. **Geoderma**, Amsterdam, v.118, n.3-4, p.181-190, 2004.

HO, H. C.; CHOW, J. D.; GAU, S. H. Thermal mobility of heavy metals in Municipal Waste Incinerator Fly Ash (MSWIFA). **Environmental Engineering Science**, v.25, n.5, p. 649-656, 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE PESQUISA ESTATÍSTICA - IBGE. **Pesquisa nacional de saneamento básico 2000**: publicação completa. 2000. Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaoodevida/pnsb/pnsb.pdf> >. Acesso em : 22 jan. 2007.

JORDÃO, C. P.; ALVES, N. M.; PEREIRA, J. L.; BELATTO, C. R. Adsorção de íons Cu 2+ em latossolo vermelho – amarelo húmico. **Química Nova**, Rio de Janeiro, v.23, n.1, p.6-11, 2000.

LAIR, G. J.; GERZABEK, M. H.; HABERHAUER, G. Sorption of heavy metals on organic and inorganic soil constituents, **Environmental Chemistry Letters**, v.5, n.1, p.23-27, 2006

LINS, E. A. M. **A utilização da capacidade de campo na estimativa do percolado gerado no Aterro da Muribeca**. 2003. 124f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, UFPE, Recife, 2003.

LUCHESE, E. B.; FAVERO, L. O. B.; LENZI, E. **Fundamentos da química do solo**. Teórica e Prática. Rio de Janeiro: Frutas Bastos, 2001. 182p.

MELLO, F. A. F.; BRASIL SOBRINHO, M. O. C.; ARZOLLA, E.; SILVEIRA, R. I.; COBRA NETO, A.; KIENL, J. C. **Fertilidade do Solo**. 3. ed. São Paulo: Nobel, 1988. 400p.

MEDEIROS, J. C.; CARVALHO, M. C. S.; FERRERA, G. B. **Cultivo de algodão irrigado**. Embrapa algodão. set. 2006. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Algodao/AlgodaoIrigado_2ed/solos.html>. Acesso em: 10 nov. 2008.

MONTEIRO, V. E. D. **Análises físicas, químicas e biológicas no estudo do comportamento do aterro da Muribeca**. 2003. 232f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2003.

MROSK JÚNIOR, E. C.; SILTRE, F. de B.; PERTINES, I.; PUPO, M.; GASPRE, M. S.; PERSIANI, M. A. G.; PAULA, M. A. de; GODOI, M.; SADE, M. C. Diagnóstico e projeto de recuperação da área de lixo de Ponta Grossa, Paraná. 1992. [S.I.], Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, UEPG, Ponta Grossa, 1992.

NIEUWENHUIZE, J.; POLEY-VOS, C. H.; AKKER, A. H. van den; DELFT, W. van. Comparison of microwave and conventional extraction techniques for the determination of metals in soil, sediment and sludge samples by atomic spectrometry. **Analyst**, London, v.116, n.4, p.347-351, 1991.

REICHARDT, K. **Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera**. 4 ed. Campinas: Fundação Cargill, 1985. 466p.

RIBEIRO FILHO, M. R.; SIQUEIRA, L. O.; CURI, N.; SIMÃO, J. B. P. Fracionamento e biodisponibilidade de metais pesados em solo contaminado, incubado com materiais orgânicos e inorgânicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 495-507, 2001.

ROSS, D. S.; MATSCHONAT, G.; SKYLLBERG, U. Cation exchange in forest soils: the need for new perspective. **European Journal of Soil Science**, v.59, n.6, p.1141-1159, 2008.

RUIZ, H. A. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte + argila). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p. 297-300, 2005.

SANTOS, G. C. G.; ABREU, C. A.; CAMARGO, O. A.; ABREU, M. F. Pó de aciaria como fonte de zinco para o milho e seu efeito na disponibilidade de metais pesados. **Bragantia**, Campinas, v.61, n.3, p. 257-266, 2002.

SCHUELER, A. S.; MAHLER, C. F. Sistema de avaliação para classificar áreas de disposição de resíduos sólidos urbanos visando a remediação e a pós-ocupação. **Engenharia Sanitária Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 13, n. 3, 249-254, 2007.

SODRÉ, F. F.; LENZI, E.; COSTA, A. C. S. Utilização de modelos físico-químicos de adsorção no estudo do comportamento do cobre em solos argilosos. **Química Nova**, São Paulo, v.24, n.3, p.324-330, 2001.

TESSIER, A.; CAMPBELL, P. G. C.; BISSON, M. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. **Analytical Chemistry**, v. 51, n.7, p. 844-851, 1979.

UMOREM, I. U.; UDOH, A. P.; UDOSORO, I. I. Concentration and chemical speciation for the determination of Cu, Zn, Ni, Pb and Cd refuse dump soils using the optimized BCR sequential extraction procedure. **The Environmentalist**, v.27, n. 2, p.241-252, 2007.