

## Características dos sedimentos das lagoas de estabilização do aterro controlado do Botuquara, Ponta Grossa –PR, que levam à retenção de metais

Joelma A. Wiesinieski<sup>1</sup>  
Wilson Costa<sup>1</sup>

### Resumo

Os resíduos sólidos urbanos (RSU) liberam um lixiviado, que muitas vezes são dispostos em lagoas de estabilização, para posterior liberação em cursos d'água. Este trabalho tem por objetivo, o estudo dos sedimentos das três lagoas de estabilização do aterro controlado do Botuquara (Ponta Grossa – PR) e do solo que recebe o lixiviado da terceira lagoa, a fim de avaliar a retenção de metais, através da determinação do pH, carbono orgânico, matéria orgânica (MO), grau de humificação, capacidade de troca catiônica (CTC), nitrogênio total Kjeldahl, relação carbono/nitrogênio, teor de argila, areia e silte, e as concentrações de alguns metais. Nos sedimentos das lagoas, observou-se em termos de média, pH igual a 8,69; 1,34 % de MO geralmente bem humificada, 1,56 % de argila e valores de CTC entre 12,85 e 22,53 cmol<sub>c</sub>/kg, mas essas condições, não foram suficientes para uma retenção completa dos metais, já que no solo que recebe o lixiviado da terceira lagoa, as concentrações de Ag e Pb estão acima daquelas encontradas nos sedimentos das lagoas. Palavras-chave: resíduos sólidos, espécies metálicas, lagoas de decantação, sedimento.

### Abstract

CHARACTERISTICS OF SEDIMENTS FROM THE STABILIZATION PONDS OF THE LANDFILL BOTUQUARA IN PONTA GROSSA-PR THAT LEAD TO METAL RETENTION. Municipal Solid waste (MSW ) release a leachate, which are often arranged in stabilization ponds for later release in watercourses. This work aims at the study of the sediments of the three stabilization ponds Botuquara the controlled landfill ( Ponta Grossa - PR) and soil leachate receiving the third pond, in order to assess the retention of metals by determining the pH, organic carbon, organic matter (OM ), degree of humification, cation exchange capacity (CEC ), total Kjeldahl nitrogen, carbon / nitrogen ratio, content of clay, sand and silt, and the concentrations of some metals. In sediment ponds, it was observed in terms of average pH 8.69 , 1.34 % of generally well humified OM, 1.56 % clay and CEC values between 12.85 and 22.53 cmol<sub>c</sub>/kg but that conditions were not sufficient for a complete retention of metals, as soil that receives the third leachate pond, concentrations of Ag and Pb are higher than those found in sediment ponds .

Word-key: solid residues, metallic species, lagoons of decantation, sediments.

### Introdução

Em muitos países os resíduos sólidos urbanos são incinerados, gerando energia e reduzindo o seu volume (Baird, 2002), mas o material resultante tem que ser disposto em aterros sanitários, pois contém metais pesados (Ho et al., 2008, Chow et al., 2008) ou outras substâncias perigosas (Dudzinska et al., 2007).

No Brasil a disposição final, nem sempre é adequada, pois segundo o 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.

Quando dispostos, a estabilização dos RSU ocorre em duas etapas biológicas principais: a fase de degradação aeróbica e a anaeróbica e, a passagem de uma fase para outra pode ocorrer rapidamente, em alguns casos, em questões de horas, ou a fase aeróbica pode ainda persistir por um tempo maior, por exemplo, na região próxima à superfície do aterro (Lu et al., 1985).

Na degradação, segundo Williams (2002), a fase I (aeróbica) gera CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O e as anaeróbicas fases II (fermentação e hidrólise) produzem ácidos orgânicos, H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> e NH<sub>3</sub>. Na fase III (acetogênica), ocorre a formação de ácido acético, H<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub>, e a fase IV (metanogênica), que resulta na produção de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub>.

Pelo exposto, se observa que ocorre a geração de H<sub>2</sub>O que, associada àquela resultante do processo da infiltração através da cobertura do solo (água da chuva), e também, a umidade natural dos resíduos e a de constituição dos diferentes materiais que sobram durante o processo de decomposição, forma o lixiviado (Bidone, 1999; Castilho, 2003).

Este líquido pode conter altas concentrações de metais pesados, sólidos suspensos e compostos orgânicos originados da degradação de substâncias que são metabolizadas como carboidratos, proteínas e gorduras (Celere et al., 2007)

<sup>1</sup>Universidade Estadual de Ponta Grossa – UEPG, Setor de Ciências Exatas e Naturais, Departamento de Química, Avenida Carlos Cavalcanti, 4748 - Campus de Uvaranas, Bloco L, Ponta Grossa – PR, CEP 84030-900 - Fone (42) 3220-3062, E-mail, wcosta@uepg.br.

O tratamento deste lixiviado de forma a atender padrões para emissão de efluentes, ainda não dispõe de uma metodologia normatizada que cumpra os requisitos básicos de aplicabilidade e otimização técnico-econômicas (Rocha, 2005).

No Brasil, a forma de tratamento mais comum é de natureza biológica (Morais et al., 2006). O sistema de tratamento do lixiviado (chorume) gerado no aterro controlado do Botuquara, Ponta Grossa - PR consiste de três lagoas de estabilização em série, onde o percolado é submetido à degradação microbiológica e, após passar pela terceira lagoa é lançado no solo, atingindo a seguir um córrego que é afluente do rio Cará-cará.

Nessas lagoas, o lixiviado deve ser retido por um período de tempo longo o suficiente para que os processos naturais de estabilização da matéria orgânica se desenvolvam. As principais vantagens e desvantagens das lagoas estão associadas, portanto, à predominância dos fenômenos naturais que, via de regra são confiáveis mas, a natureza é lenta, necessitando de longo tempo de detenção para que as reações se completem (Von Sperling, 1996).

Na parte inferior dos corpos d'água se encontram os sedimentos, que são camadas de partículas minerais e orgânicas, com frequência finamente granuladas. São de grande importância ambiental porque são o local onde se depositam muitos produtos químicos, especialmente metais pesados e compostos orgânicos (Baird, 2002).

A matéria orgânica presente nos solos, turfas e sedimentos consiste de uma mistura de produtos, em vários estágios de decomposição, resultantes da degradação química e biológica de resíduos vegetais/animais e da atividade de síntese de microrganismos. Essa matéria é chamada de húmus, substâncias húmicas e substâncias não húmicas (Rocha et al., 2004).

A elevada capacidade de complexação frente aos metais é um dos aspectos ambientais mais importantes das substâncias húmicas e se deve, em grande parte, à presença em sua estrutura de um elevado número de grupamentos carboxílicos e fenólicos (Grassi, 2001).

A fixação de metais pesados em solos e sedimentos também pode ocorrer por adsorção sobre as superfícies das partículas minerais e por reações de precipitação através da formação de sulfeto e hidróxidos (Baird, 2002). Em relação a matéria orgânica, se as condições forem adequadas, ela sofre decomposição pelos microrganismos, necessitando de C e N para continuar seu desempenho (Mello et al., 1988).

Se o quociente C:N for demasiadamente elevado, haverá abundância de C, porém,

insuficiência de N, 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 a quantidade de N for grande em relação à quantidade de C, pode se observar uma excessiva solubilidade do N e sua conseqüente perda na forma de  $\text{NH}_3$  (Mello et al, 1988).

Cátions retidos (adsorvidos) nos colóides podem ser substituídos por outros em quantidades equivalentes, isto em termos práticos, significa que eles são trocáveis; A CTC representa a capacidade de retenção de cátions, ou seja, a quantidade de cargas ou de cátions retidos por unidade de massa ou de volume (Kataoka et al., 2003). A CTC da matéria orgânica tem magnitude muito grande em comparação com a fração mineral (Raij, 2011).

O local de estudo foi o aterro controlado do Botuquara em Ponta Grossa-PR, e o objetivo foi de indicar algumas características dos sedimentos das três lagoas de estabilização e do solo que recebe o lixiviado da terceira lagoa, a fim de avaliar a possibilidade de retenção de certos metais, através da determinação do pH, carbono orgânico, matéria orgânica (MO), grau de humificação, capacidade de troca catiônica (CTC), nitrogênio total Kjeldahl, relação carbono/nitrogênio, análise textural (teor de argila, areia e silte), e as concentrações de Cu, Cr, Ni, Ag, Pb e Zn.

## **Materiais e Métodos**

### **Coleta e preparo das amostras do sedimento**

As amostras do sedimento foram coletadas manualmente, em cada lagoa de estabilização e no solo onde o percolado é finalmente liberado, obtendo-se então os 4 pontos de amostragem, que são: lagoas 1, 2, 3 e solo. Como estas lagoas não são impermeabilizadas, o material coletado é uma mistura de sedimento e solo. Após a coleta, o material recolhido foi disposto em frascos de polietileno, seco à temperatura ambiente (próximo a 25°C) em capela com exaustor ligado e, após a secagem, as quatro amostras foram trituradas e homogeneizadas com o auxílio de almofariz de porcelana e pistilo. Posteriormente, as amostras foram peneiradas em malha de 0,297 mm, reservadas e secas em estufa à temperatura de 40 °C, até atingirem massa constante. As análises foram realizadas em triplicata.

### **Espécies metálicas**

Foram determinadas por espectroscopia de absorção atômica utilizando o aparelho Varian

Spectra AA 240FS (atomização pela chama  $C_2H_2/ar$ ) do laboratório multiusuário da Universidade Estadual de Ponta Grossa. Para esta determinação, tomou-se 1,0000 g de cada amostra em cadinho de platina que foram digeridas em  $HClO_4$  e HF segundo procedimento descrito por Tessier e colaboradores (1979). Para a obtenção das curvas de calibração (Vogel, 1992), utilizou-se padrões multielementares certificados nas concentrações de 1, 2, 3, 4 e 5  $mg L^{-1}$ .

### Nitrogênio total Kjeldahl e relação C:N

Para a determinação do nitrogênio total Kjeldahl utilizou-se a técnica descrita por Jordão e colaboradores (2000). A relação C:N foi calculada, dividindo-se o valor de carbono orgânico pelo valor de nitrogênio total Kjeldahl (Mello et al., 1988).

### Carbono orgânico/MO

O carbono orgânico foi determinado pelo método de Walkley & Black descrita por Luchese e colaboradores (2001). Segundo este autor, a MO é estimada, pois geralmente é constituída em média de 52 a 58% de carbono.

### Grau de humificação

Foi determinado utilizando fluorescência induzida por laser (FIL) (Milori et al., 2006).

### pH

Realizada potenciometricamente em suspensão solo-solução  $CaCl_2$  0,01 mols  $L^{-1}$  (Lana et al., 2010).

### CTC efetiva

Foi calculada pela soma dos cátions metálicos totais trocáveis, que são  $Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^+, Na^+$  (bases), com a acidez trocável ( $H + Al$ ), segundo procedimento descrito por Cotta e colaboradores (2006).

### Análise textural

Esta análise diz respeito à distribuição das partículas do solo quanto ao seu tamanho.

Tradicionalmente, as partículas do solo são divididas em três frações de tamanho, chamadas frações texturais que são areia, silte e argila (Reichardt, 1985, Ruiz, 2005). Foi determinada conforme procedimento descrito pela EMBRAPA (1997).

## Resultados e Discussão

### Concentração de metais totais

A tabela 1 traz as concentrações das espécies metálicas totais avaliadas nos sedimentos das lagoas de decantação e no solo que recebe o percolado da terceira lagoa.

Para os mesmos metais avaliados neste trabalho, Nagashima e colaboradores (2009) encontraram concentrações médias no chorume entre 0,373 e 1,734  $mg L^{-1}$ . Para Sisino e Moreira (1996), considerando os mesmos metais, a maior concentração média no chorume foi encontrada para o Zn (0,68  $mg L^{-1}$ ). O destino final dos metais pesados é sua deposição em solos e sedimentos (Baird, 2002).

Pelos dados presentes na tabela 1, pode-se observar, que as concentrações dos metais atingiram valores bem acima daqueles encontrados no chorume dos trabalhos citados, o que pode indicar, que no sedimento das lagoas está ocorrendo a retenção das espécies metálicas, mas de maneira variável, sendo as concentrações de Cr, Cu, Ni e Pb maiores no sedimento da lagoa 3, indicando haver uma certa dificuldade de retenção destes metais nas lagoas 1 e 2.

Para Pb e principalmente Ag, a dificuldade de retenção também está presente na lagoa 3, já que as concentrações destes metais no solo que recebe o lixiviado são maiores que as concentrações existentes no sedimento destas lagoas. Se Considerarmos a concentração total, fica mais evidente que o sedimento da lagoa 3, é aquele que consegue reter uma maior quantidade de metais.

Tabela 1 : Valores de metais totais encontrados nas frações das amostras em  $mg kg^{-1}$ .

Pontos	Cr	Ag	Cu	Ni	Pb	Zn	Total
Lagoa 1	47,30	13,73	20,85	37,41	13,77	50,24	183,30
Lagoa 2	28,95	14,41	16,71	32,65	6,42	28,02	127,16
Lagoa 3	177,58	13,98	43,50	154,62	15,80	45,19	450,67
Solo	45,40	21,42	16,72	34,68	15,93	42,69	176,84

LD < 0,5  $mg kg^{-1}$

### Análises químicas e textural dos sedimentos e do solo que recebe o lixiviado da terceira lagoa.

O sedimento estudado é uma mistura de solo, percolado e produtos resultantes da degrada-

ção do percolado, as comparações serão com os dados existentes para solo.

Os resultados obtidos para estes parâmetros são mostrados na tabela 2.

TABELA 2: Teores de nitrogênio total Kjeldahl, carbono orgânico, relação C: N, MO, grau de humificação, pH, CTC, argila, areia, das amostras de sedimentos analisadas.

Análises	Amostras	Lagoa	Lagoa	Lagoa	Solo
		1	2	3	
Nitrogênio Total Kjeldahl (%)		0,15	0,11	0,12	0,15
Carbono Orgânico (%)		1,04	0,61	0,69	1,00
Relação C: N		6,93	5,57	5,75	6,65
Matéria Orgânica (%)		1,79	1,05	1,19	1,71
Grau de humificação		24,38	80,48	64,93	46,00
pH		8,84	8,65	8,57	8,69
CTC (cmol <sub>c</sub> /kg)		22,53	12,85	16,15	17,91
Argila (%)		1,45	1,07	2,12	1,56
Areia (%)		60,98	62,86	52,05	63,35
Silte (%)		37,55	35,45	45,85	35,1

### Retenção de metais e sua relação com CTC, MO e argila.

No trabalho de Sisunno e Moreira (1996), as concentrações de nitrogênio, carbono e consequentemente matéria orgânica encontrados no sedimento do percolado da vala do aterro são menores que os encontrados nas amostras de solo por eles analisadas. Comparando estes dados do sedimento do percolado da vala com aqueles encontrados em sedimento de rio impactado por percolado de aterro (Siqueira, Aprile 2013) e com os encontrados neste trabalho, onde no sedimento das lagoas também se encontra solo, se observa concentrações menores para estes parâmetros no sedimento do percolado da vala do aterro, o que pode indicar, que o sedimento de lodo pode ter uma menor influência em parâmetros como relação C:N e CTC.

Valores de CTC acima de 5 cmol<sub>c</sub> /kg, evidenciam uma alta capacidade de troca de cátions do solo, sedimento com o meio (Raij, 1996), trocando íons efetivamente e retendo uma maior quantidade de metais. Todas as amostras analisadas apresentam tais condições e isto é

evidenciado pelos dados presentes na tabela 2.

A amostra de sedimento da lagoa 2, é aquela, que apresenta o menor valor de CTC em relação aos demais pontos, refletindo os baixos valores de matéria orgânica que está bem humificada e argila e retendo uma menor quantidade de metais (tabela 1). Já o sedimento da lagoa 3, possui um teor de MO, que supera em quantidade apenas o sedimento da lagoa 2, mas apresenta o maior teor de argila entre os demais pontos, o que lhe confere um valor de CTC inferior ao sedimento da lagoa 1, muito próximo ao valor encontrado para o solo, mas retém uma maior quantidade de metais (tabela 1), possivelmente pelo maior teor de argila e devido a MO estar mais humificada.

Os valores de argila da lagoa 1 e solo, pelo desvio médio de 0,29, são considerados iguais, sendo respectivamente de 1,45% (lagoa 1) e 1,56% (solo), o mesmo foi verificado para MO, com valor de 1,79% (lagoa 1) e 1,71% (solo), mas a CTC do sedimento da lagoa 1 é maior, possivelmente pelo maior teor de silte (tabela 2), o que permite uma retenção de uma maior quantidade de metais. A figura 1 demonstra a relação entre a CTC, MO e argila dos pontos em estudo.

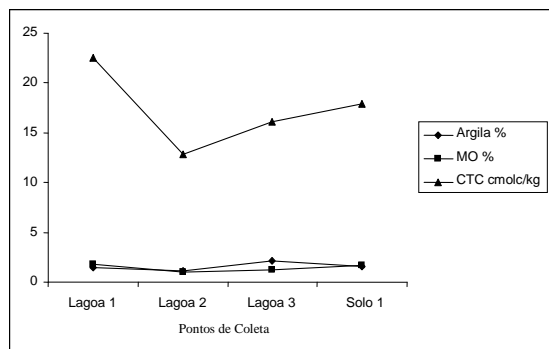


FIGURA 1: Relação entre os valores de CTC (cmolc/Kg), argila(%) e MO(%).

### Retenção de metais e sua relação entre pH, MO, CTC e grau de humificação.

Na determinação do pH dos sedimentos, encontrou-se valores de 8,57 para lagoa 3 e 8,84 da lagoa 1. Para a lagoa 2 e o solo, os valores foram de 8,65 e 8,69 respectivamente, o que permite, considerá-los como valores iguais, já que estão dentro do desvio médio de 0,07. O pH tem grande influência na retenção de metais pesados, pois valores elevados, reduzem a sua solubilidade pela possibilidade de formação de hidróxidos, favorecendo a imobilidade.

Sisino e Moreira (1996) encontraram pH igual a 8,0 no sedimento da vala do aterro por eles estudado. Outros autores (Sisino, Moreira, 1996; Moravia et al., 2011, Martins et al., 2010; Pacheco, Peralta-Zamora, 2004) relataram valores de pH acima de 8,0 para chorume, sendo então este material gerado a partir da degradação dos resíduos fundamental para a redução da solubilidade dos metais pesados via formação de hidróxidos.

Vários destes autores justificam que esses valores elevados para o pH se devem a um resíduo em avançado estado de decomposição, onde os ácidos produzidos numa das fases iniciais foram consumidos gerando finalmente metano (CHERNICHARO, 1997) mas, em aterros onde o aporte de resíduos é constante, o que se tem provavelmente é a predominância de resíduos que estão em estágio de decomposição avançado.

Como já citado, os sedimentos destas lagoas são formados por uma mistura de solo, percolado e produtos oriundos da degradação da matéria orgânica do percolado. Nos solos, existe uma resistência à variação nos valores de pH devido a sua capacidade de tamponamento, que se dá, principalmente, pela quantidade de material

coloidal, orgânico e inorgânico, que nesse caso, pode ser do solo original ou da mistura gerada pelo contato do solo com o percolado. Portanto, quanto maior for a CTC, maior será o tamponamento (Mello et al., 1988).

Pelas análises realizadas, a amostra de sedimento da lagoa 1, é a que apresenta maior pH, e também, maior capacidade de tamponamento, já que apresenta a maior CTC, cujo valor, pode ser associado ao maior teor de matéria orgânica encontrada, mas que está pouco humificada. Na situação atual, se esta lagoa receber alguma carga ácida, a diminuição do pH deverá ser pequena, reduzindo a lixiviação de metais para a lagoa 2.

Para as amostras da lagoa 2 e solo, os valores de pH se equivalem mas, a capacidade de tamponamento atual é maior para o solo, já que apresenta uma maior CTC, cuja maior responsabilidade se deve a um teor mais elevado de matéria orgânica que está menos humificada que aquela da lagoa 2. Fazendo a relação entre o solo e o sedimento da lagoa 1 e considerando o desvio, os teores de matéria orgânica se equivalem, mas o tamponamento será maior (maior CTC) no sedimento menos humificado, e como vimos, com teor de argila equivalente, mas com maior teor de silte que a lagoa 1. Aqui, a presença de ácidos, tende a causar uma maior lixiviação de metais da lagoa 2 em relação ao solo e lagoa 1.

Comparando os sedimentos das lagoas que apresentam os menores valores de CTC (lagoas 2 e 3), o sedimento da lagoa 3, apesar de apresentar o menor pH, é aquele que atualmente, apresenta maior capacidade de tamponamento (maior CTC), devido ao maior teor de matéria orgânica, mas que está menos humificada, que o sedimento da lagoa 2, apresentando então uma maior resistência à liberação de metais para o solo, caso ocorra uma acidificação. Na figura 2, está demonstrada as relações existentes entre pH, MO e CTC.

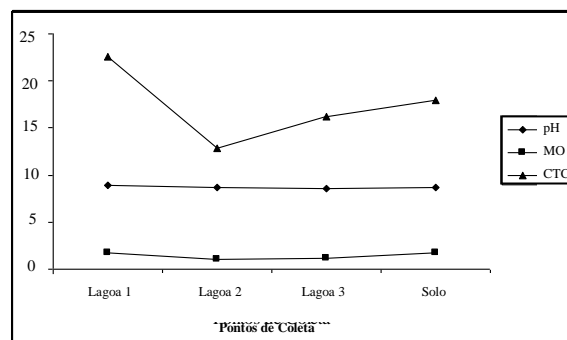


FIGURA 2: Relação entre pH, MO (%) e CTC (cmolc/Kg).

## Retenção de metais e sua relação entre CTC, Argila e Silte.

Sedimentos com teores de argila inferiores a 15% são considerados de textura arenosa (Medeiros et al., 2008). Todas as amostras demonstram ser predominantemente arenosas, porém a amostra de solo, é aquela que apresenta o maior teor de areia (63,35 %).

A lagoa 1 apresenta o maior valor de MO (1,79%), em relação ao seu teor de argila (1,45%), tendo portanto uma maior influência da MO em relação a argila para a CTC. O valor de silte é de 37,55%, valor entre os maiores para silte, estando apenas abaixo da lagoa 3. O conjunto desses teores leva a lagoa 1 a apresentar a maior CTC entre os pontos e portanto, maior capacidade de retenção de cátions e trocas com o meio.

A lagoa 3, apesar de apresentar um maior teor de argila (2,12%) e silte (45,85%), apresenta um menor teor de MO (1,19%), assim a contribuição para a CTC da lagoa 3 se dá por maior influência dos dois primeiros. Na tabela 1, podemos observar que este sedimento retém maior quantidade de cátions que aquele da lagoa 1, e isto ocorre possivelmente, porque os metais estariam ligados de maneira mais intensa, na argila e silte, e também, porque a MO está mais humificada, liberando metais com maior dificuldade na determinação da CTC, onde se utilizam como reagentes, ácido acético e KCl.

A lagoa 2 é a que apresenta os menores teores para a MO (bem humificada) e argila e um valor para silte que supera apenas a aquele encontrado no solo, apesar de estar muito próximo. Este conjunto, lhe confere o menor valor para a CTC e conseqüentemente, menor retenção de metais (tabela 1).

Para o solo, a maior influência está no teor de MO com 1,71% (grau de humificação (46,00%) uma vez que apresentou teores de argila de 1,56%. A fração silte influencia no total do resultado, porém menos do que a fração argila. Os dados de silte e areia em relação à CTC são apresentados na figura 3.

### Teores de C, N, MO e a relação C: N.

Os teores de nitrogênio encontrados nas amostras de sedimento analisados, comparados com aqueles encontrados na camada arável do solo, estão dentro dos valores considerados normais (0,02 a 0,4%) (Mello, 1988), o que permite que os microrganismos tenham o bom desempenho na degradação da MO existente. Isto fica claro, ao verificar a relação C: N, pois quanto

menor o valor desta razão, mais fácil é a degradação de material, pois haverá uma quantidade de nutrientes em concentração satisfatória para a proliferação ou no mínimo manutenção, dos organismos decompositores.

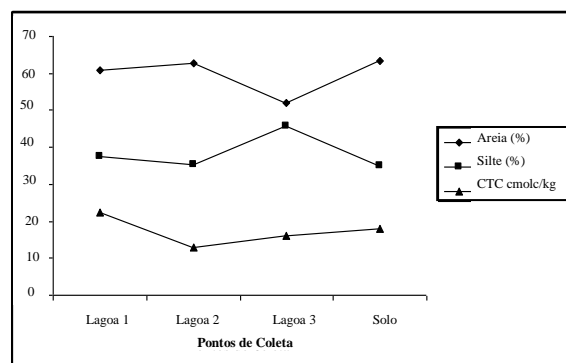


FIGURA 3: Relação dos teores de areia (%) e silte (%) em relação à CTC (cmol<sub>c</sub>/Kg).

No trabalho de Sisinho e Moreira (1996), o teor de nitrogênio encontrado no solo é 31,4 a 52,6 vezes maiores que o encontrado no sedimento da vala do aterro (0,07%), o que indica, que o chorume não é uma fonte essencial de nitrogênio para a decomposição da matéria orgânica, que é tão importante para a retenção dos metais.

As amostras de todos os pontos analisados apresentam uma relação C:N, que indica um material orgânico de fácil decomposição. Aparentemente, ela é mais efetiva para o sedimento da lagoa 2, que está retendo a menor quantidade de metais, talvez porque tenha liberado através da degradação da MO, já que o teor de argila e silte são baixos.

Para a lagoa 3, a relação C:N é superior apenas à lagoa 2, mas continua retendo uma quantidade grande de metais, talvez pelos elevados valores de argila e silte, então uma degradação da MO que talvez esteja ocorrendo, não está ocasionando grandes perdas de metais, já que a retenção está elevada (tabela 1).

Os maiores valores para a relação C:N, são encontrados para os sedimentos da lagoa 1 e solo, o que é positivo principalmente em relação solo pois, uma maior dificuldade de degradação da MO, permitirá a retenção de metais por um tempo maior, retardando a sua liberação para pontos adiantes via lixiviação. Os dados de carbono, nitrogênio, MO e relação C:N são apresentados na figura 4.

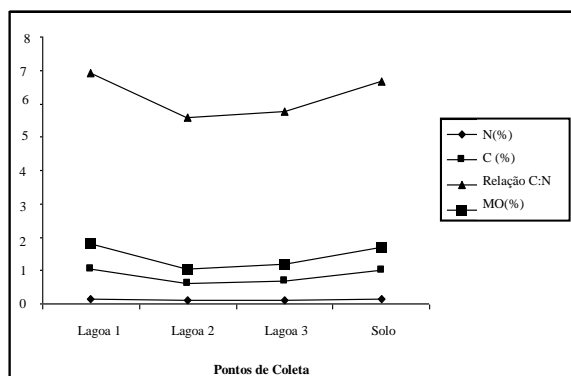


FIGURA 4: Relação entre os teores de C (%), N (%), MO (%) e C: N.

## Conclusões

Os valores de CTC estão diretamente relacionados com o teor de argila e MO, estando esta última promovendo uma maior influência no resultado final. Os pontos analisados apresentam alta capacidade de troca e retenção de cátions com o meio, consequentemente retendo uma grande quantidade de metais. A relação C: N mostra um meio propício à degradação dos resíduos, o que levará a uma possível decomposição do material orgânico presente no sedimento com o decorrer do tempo, e este fato, será fundamental para a redução da CTC dos pontos analisados. Um ponto positivo é a MO estar bem humificada o que torna a fração orgânica mais estável e resistente à degradação. Nas análises realizadas foi verificado um pH básico, o que favorece a imobilidade dos metais via formação de hidróxidos e que a capacidade de tamponamento é elevada, já que a CTC atinge valores bem acima daqueles considerados como normais. As lagoas 1 e 2 apresentam uma certa dificuldade na retenção de Cr, Cu, Ni e Pb e a lagoa 3 para Pb e principalmente Ag demonstrando então que as lagoas, não são totalmente eficientes na retenção dos metais presentes no lixiviado do aterro, do modo que com o tempo, a liberação do lixiviado no solo, irá inicialmente contaminá-lo e, a seguir, estes metais serão distribuídos no meio ambiente através dos rios existentes na região.

## Referências

- BAIRD, C. 2002. Química ambiental. 2 ed. Porto Alegre: Bookman.
- BIDONE, F.R.A. 1999, Conceitos básicos de resíduos sólidos. São Paulo: EESC/USP.
- CASTILHOS JÚNIOR A.B. 2003. Resíduos sólidos urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte. Rio de Janeiro: ABES RIMA.
- CELERE, M.S., OLIVEIRA, A.S., TREVILATO, T.M.B., MUÑOZ-SEGURA, S.J. 2007. Metais presentes no chorume coletado no aterro sanitário de Ribeirão Preto, Brasil e sua relevância em saúde pública. Cad. Saúde Pública, 23 (4): 939-947.
- CHERNICHARO, C. A. L. 1997. Reatores Anaeróbios. Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias. Belo Horizonte: DESA/UFMG.
- CHOW, J.D., CHAI, W.L., YEH, C.M., CHUANG, F. S. 2008. Recycling and applications characteristics of Fly Ash from Municipal Solid Waste Incinerator Blended with Polyurethane Foam. Environmental Engineering Science, 25 (4): 461-473.
- COTTA, J.A.O., REZENDE, M.O., PIOVANI, M.R. 2006. 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, 29 (1): 40-45
- DUDZINSKA, R.M., CZERWINSKI J, RUT, B. 2008. PCDD/F/T in Leachates from young and old Municipal Landfills, Environmental Engineering Science, 25 (7): 989-997.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solo (1997). Manual de métodos de análise de solo, 2 ed. Rio de Janeiro.
- GRASSI, M.T. 2001. As águas do planeta Terra. Cadernos temáticos de Química Nova na Escola. Edição especial: 31-40.
- KATAOKA, A.N., GUERRA, R.C., ANGELIS, D.F. 2003. Caracterização do resíduo proveniente do “Lago Azul”, Rio Claro, SP, Brasil. HOLOS Environment, 3 (1): 46-58.
- LANA, M. do C., FEY, R., FRANDOLOSO, J.F., RICHART, A. FONTANIVA, S. 2010. Análise química do solo e tecido vegetal: práticas de laboratório. Cacavel: Edunioeste.
- HO, H.C., CHOW, J.D., GAU, S.H. 2008. Thermal mobility of heavy metals in Municipal Waste Incinerator Fly Ash (MSWIFA). Environmental Engineering Science, 25 (5): 649-656.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Pesquisa Estatística. Pesquisa nacional de saneamento básico: publicação completa. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb/pnsb.pdf> >. Acesso em : 22 jan. 2007.

- JORDÃO, C.P., ALVES, N.M., PEREIRA, J.L., BELLATO, C.R., ALVAREZ, V.H.V. 2000. Adsorção de íons  $\text{Cu}^{2+}$  em latossolo vermelho – amarelo húmico. *Química Nova*, 23 (1): 6-11.
- LU, J.C.S., EICHENBERGER B., STEARNS R.J. 1985, *Leachate from Municipal Landfills*, New Jersey: Noyes publications.
- LUCHESE, E.B., FAVERO, L.O.B., LENZI, E. 2001. *Fundamentos da química do solo, Teórica e Prática*. Rio de Janeiro: Frutas Bastos.
- MARTINS, C.L., CASTILHO JR., A.B., COSTA, R.H.R.da. 2010. Desempenho de sistema de tratamento de lixiviado de aterro sanitário com recirculação de efluente. *Engenharia Sanitária Ambiental*, 15 (4): 401-410.
- MELLO, F. A. F. de, BRASIL SOBRINHO, M.O C., ARZOLLA, S., SILVEIRA, R.I., COBRA NETTO, A., KIEL, J.C. 1988. *Fertilidade do solo* 3ed. Piracicaba: Nobel.
- MENDHAM, J.; DENNEY, R.C.; BARNES, J.D.; THOMAS, M. 1992. *Vogel: Análise Química Quantitativa* 5ª ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara.
- MILORI, D.M.B.P, GALETI, H.V.A., MARTINETO, L., DIECKOW, J., GONZÁLEZ-PÉREZ, M., BAYER, C., SALTON, J. 2006. Organic matter study of whole soil samples using laser-induced fluorescence spectroscopy. *Soil Science Society of America Journal*, 70: 57-63.
- MONTEIRO, V.E.D. 2003. *Análises físicas, químicas e biológicas no estudo do comportamento do aterro da Muribeca*. Tese Doutorado. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 232p.
- MORAIS, L.D., SIRTORI, C., PERALTA-ZAMORA, P.G. 2006. Tratamento de chorume sanitário por fotocatalise integrada a processo biológico. *Quím. Nova*, São Paulo, 29 (2): 20-23.
- MORAVIA, W.G., LANGE, L.C., AMARAL, M.S. 2011. Avaliação de processo oxidativo avançado pelo reagente Fenton em condições otimizadas no tratamento de lixiviado de aterro sanitário com ênfase em parâmetros coltiivos e caracterização do lodo gerado. *Quím. Nova*, 34 (8): 1370-1377.
- NAGASHIMA, L.A., BARROS JUNIOR, C., SILVA, C.A., FUJIMURA, A. S. 2009. Avaliação dos níveis de metais pesados em efluente líquido percolado do aterro sanitário de Paranavaí, Estado do Paraná. *Acta Scientiarum. Health Sciences* 31(1): 1-8
- PACHECO, J.R., PERALTA-ZAMORA, P.G. 2004. Integração de processos físico-químicos e oxidativos avançados para remediação de percolado de aterro sanitário (chorume). *Engenharia Sanitária Ambiental*, 9 (4): 306-311.
- RAIJ, B.V. 2011. *Fertilidade do solo e manejo de nutrientes*. Piracicaba: ESALQ/USP.
- RAIJ, B.V. 1996. *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo – Boletim técnico n° 1*. Campinas: Fundação IAC.
- REICHARDT, K. 1985. *Processos de transferência no sistema solo- planta – atmosfera*. Campinas: Fundação Cargill.
- ROCHA, E.M.R. 2005. *Desempenho de um Sistema de Lagoas de Estabilização na Redução da Carga Orgânica do Percolado Gerado no Aterro da Muribeca (PE)*. Dissertação de Mestrado. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 151p.
- ROCHA, J.C., ROSA, A.H., CARDOSO, A.A. 2004. *Introdução à química ambiental*. Porto Alegre: Bookman.
- RUIZ, H.A. 2005. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte + argila). *R.Bras.Ci.Solo*, Viçosa, 29: 297-300.
- SIQUEIRA, G.W., APRILE, F. 2013. Avaliação de risco ambiental por contaminação metálica e material orgânico em sedimento do rio Aurá, Região Metropolitana de Belém – PA. *Acta Amazonica*, 43 (1): 51-62.
- SISINNO, C.L.S., MOREIRA, J.C. 1996. Avaliação da contaminação e poluição ambiental na área de influência do aterro controlado do Morro do Céu, Niteroi, Brasil. *Cadernos de Saúde Pública*, 12(4): 515-523.
- TESSIER, A., CAMPBELL, P.G.C., BISSON, M. 1979. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. *Anal.chem.*, 51: 844-851.
- VON SPERLING, M. 1996. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. Belo Horizontes: Editora SEGRAC.
- WILLIAMS, P.T. 2002. *Emissions from Solid Waste Management Activities*. In: *Environmental and Health Impact of Solid Waste Management Activities*. Leeds: Hester R.E. and Harrison R.M. (eds.), Royal Society of Chemistry.